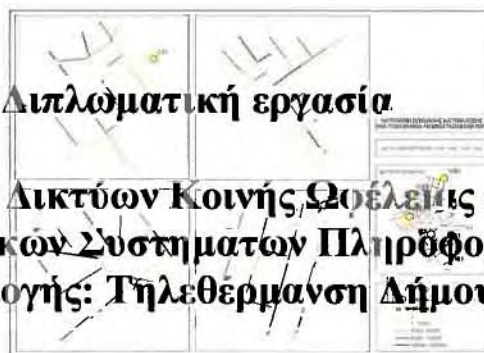
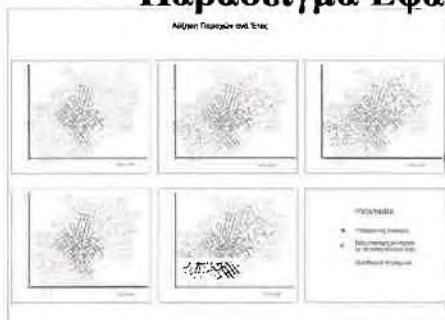


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής
Ανάπτυξης**

**Φοιτητής: Τασκάρης Συμεών
Επιβλέπων καθηγητής: Φώτης Γεώργιος**

Διπλωματική εργασία

**Χωρική Ανάλυση Δικτύων Κοινής Φοέλις με τη Χρήση
Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.
Παράδειγμα Εφαρμογής: Τηλεθέρμανση Δήμου Πτολεμαΐδας.**



Βόλος, Ιούλιος 2004



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 4024/1
Ημερ. Εισ.: 15-10-2004
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΧΠΠΑ
2004
ΤΑΣ

“The application of GIS is only limited by the imagination of those who use it.”

Jack Dangermond

*“Οι εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών περιορίζονται μόνο
από την φαντασία αυτών που τα χρησιμοποιούν.”*

Jack Dangermond

Περιεχόμενα:

Ευχαριστίες	6
1. Εισαγωγή	7
2. Ανάλυση Χώρου	10
2.1 Σημειακές κατανομές	12
2.1.1 Δείκτες Χωρικής Κεντρικότητας	14
2.1.1.1 Χωρικός Μέσος.....	14
2.1.1.2 Χωρικός Διάμεσος.....	16
2.1.1.3 Χωρική Κορυφή.....	17
2.1.2 Δείκτες Χωρικής Διασποράς	18
2.1.2.1 Τυπική απόσταση.....	18
2.2 Γραμμικές κατανομές	21
2.2.1 Το δίκτυο ως γράφημα	21
2.2.2 Αξιολόγηση Δομής Δικτύων: Συνδετικότητα	22
2.2.2.1 Ο Δείκτης Γάμμα (Gamma).....	23
2.2.2.2 Ο Δείκτης Άλφα (Alfa).....	23
2.2.2.3 Διάμετρος Δικτύου.....	25
2.2.3 Κατηγορίες Δικτύων	25
2.2.3.1 Ελάχιστα Συνδεδεμένα δίκτυα.....	25
2.2.3.2 Μέγιστα Συνδεδεμένα δίκτυα.....	26
2.3 Πάλινδρόμηση	27
2.3.1 Απλή γραμμική παλινδρόμηση	28
2.3.1.1 Υπολογισμός των συντελεστών της απλής παλινδρόμησης.....	29
2.3.2 Πολλαπλή παλινδρόμηση	30
2.3.2.1 Υπολογισμός των συντελεστών της πολλαπλής παλινδρόμησης.....	30
2.3.3 Αξιολόγηση της συνάρτησης παλινδρόμησης	31
2.3.4 Πηγές διακύμανσης στη παλινδρόμηση	31
2.3.5 Ο συντελεστής προσδιορισμού	32
3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Χωρική Ανάλυση	33
3.1 Ορισμός – Διαχρονική εξέλιξη	33
3.1 Βασικές διαδικασίες και τμήματα ενός Γ.Σ.Π.	36
3.1 Κατηγορίες γεωγραφικών εφαρμογών	37
3.2 Χωρική Ανάλυση Δικτύων με τη χρήση Γ.Σ.Π.	38
3.3 Βασικά στοιχεία δικτύων	39
3.3.1 Τοπολογία δικτύων.....	41
3.4 Δυνατότητες ενός Γ.Σ.Π.	44
3.5 Γεωκωδικοποίηση (Geocoding)	45
3.6 Μελλοντική χρήση εργαλείων χωρικής ανάλυσης σε σχέση με τα Γ.Σ.Π.	46
3.7 Ο ρόλος της χωρικής ανάλυσης και των Γ.Σ.Π. στην διαδικασία λήψεων αποφάσεων.	48

<i>Εφαρμογή: Χωρική ανάλυση δικτύου κοινής ωφέλειας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών</i>	50
4. Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας	50
4.1 Εισαγωγή – Γενικά	50
4.2 Σύντομη περιγραφή τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας	51
4.2.1 Αντλιοστάσια.....	51
4.2.2 Αγωγός μεταφοράς.....	54
4.2.3 Δίκτυο διανομής.....	55
4.2.4 Καταναλωτές.....	56
4.3 Οικονομικά στοιχεία – επιπτώσεις	58
5. Χωρική ανάλυση τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας	61
5.1 Περιγραφή	61
5.1.1 Στοιχεία πάνω στα οποία βασίστηκε η ανάλυση.....	61
5.1.2 Το Γ.Σ.Π. πάνω στο οποίο βασίστηκε η χωρική ανάλυση.....	62
5.1.3 Περιγραφή βάσεων δεδομένων του Γ.Σ.Π.....	63
5.2 Ανάλυση	71
5.2.1 Ανάλυση των κατανομών πληθυσμού, παροχών και καταναλώσεων σε οδικούς άξονες	71
5.2.1.1 Κατανομή πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα.....	71
5.2.1.2 Κατανομή πληθυσμού και πυκνότητας σε οδικούς άξονες.....	73
5.2.1.3 Κατανομή παροχών σε οδικούς άξονες.....	77
5.2.1.4 Κατανομή κατανάλωσης σε οδικούς άξονες.....	80
5.2.1.5 Διαχρονική εξέλιξη των καταναλώσεων.....	82
5.2.2 Ανάλυση των κατανομών παροχών και καταναλώσεων σε αγωγούς	86
5.2.2.1 Κατανομή παροχών σε αγωγούς.....	86
5.2.2.2 Κατανομή κατανάλωσης σε αγωγούς.....	88
5.2.3 Ανάλυση της κατανάλωσης και του πληθυσμού που εξυπηρετούν οι υποσταθμοί – αντλιοστάσια του δευτερεύοντος δικτύου	90
5.2.4 Ανάλυση σημειακών κατανομών (παροχές)	95
5.2.5 Αξιολόγηση της δομής του συνολικού και δευτερεύοντος δικτύου διανομής (συνδετικότητα: δείκτης Γάμμα, δείκτης Αλφα)	101
5.2.5.1 Συνολικό δίκτυο (net).....	101
5.2.5.2 Πρωτεύον (άμεσο) δίκτυο (net1).....	102
5.2.5.3 Δευτερεύον (έμμεσο) δίκτυο (net2).....	103
5.2.5.4 Επιμέρους τμήματα του δευτερεύοντος δικτύου.....	103
5.5 Πρόβλεψη	108
5.5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση	108
5.5.2 Εξίσωση παλινδρόμησης κατανάλωσης	110
5.5.2.1 Πρόβλεψη κατανάλωσης ως συνάρτηση του πληθυσμού και της απόστασης.....	110
5.5.2.2 Πρόβλεψη κατανάλωσης ως συνάρτηση των παροχών.....	113
5.5.2.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τρόπων πρόβλεψης.....	117
5.5.2.4 Χάρτες πρόβλεψης κατανάλωσης.....	119
6. Συμπεράσματα	123
Βιβλιογραφία	126

Κατάλογος Σχημάτων – Πινάκων – Διαγραμμάτων – Χαρτών:*Σχήμα 2.1: Σημειακές, Γραμμικές και Χωρικές Κατανομές**Σχήμα 3.1: Δίκτυο πέντε κόμβων**Σχήμα 3.2: Δενδρικό δίκτυο**Σχήμα 3.3: Δίκτυο με κλειστές διαδρομές ή βρόγχους**Σχήμα 5.1: Συνδέσεις βάσεων***Κατάλογος Πινάκων:***Πίνακας 2.1: Τιμές Δεικτών για τις Κατηγορίες Δικτύων**Πίνακας 3.1: Μητρώο συνδετικότητας του δικτύου**Πίνακας 3.2: Τεχνικές χωρικής ανάλυσης**Πίνακας 4.1: Ανάλυση κόστους επένδυσης**Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες σταθμισμένων χωρικών μέσων**Πίνακας 5.2: Δείκτες Γάμμα και Άλφα – net, net1 και net2**Πίνακας 5.3: Δείκτες Γάμμα και Άλφα – Δευτερευόντων δικτύων**Πίνακας 5.4: Εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές**Πίνακας 5.5: Συντελεστής προσδιορισμού**Πίνακας 5.6: ANOVA**Πίνακας 5.7: Συντελεστές εξίσωσης**Πίνακας 5.8: Εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές**Πίνακας 5.9: Συντελεστής προσδιορισμού**Πίνακας 5.10: ANOVA**Πίνακας 5.11: Συντελεστές εξίσωσης**Πίνακας 5.12: Εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές**Πίνακας 5.13: Συντελεστής προσδιορισμού**Πίνακας 5.14: ANOVA**Πίνακας 5.15: Συντελεστές εξίσωσης***Κατάλογος Διαγραμμάτων:***Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα διασποράς**Διάγραμμα 5.1: Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις**Διάγραμμα 5.2: Συνολικές καταναλώσεις ανά υποσταθμό**Διάγραμμα 5.2: Συνολική κατανάλωση**Διάγραμμα 5.4: Πληθυσμός ανά υποσταθμό***Κατάλογος Χαρτών:***Χάρτης 4.1: Δίκτυο τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας**Χάρτης 5.1: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης οικοδομικών τετραγώνων.**Χάρτης 5.2: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης οδικού δικτύου.**Χάρτης 5.3: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου.**Χάρτης 5.4: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης υποσταθμών – αντλιοστασίων.**Χάρτης 5.5: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης παροχών.**Χάρτης 5.6: Κατανομή πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα*

- Χάρτης 5.7: Κατανομή πληθυσμού σε οδικούς άξονες
Χάρτης 5.8: Κατανομή πυκνότητας πληθυσμού σε οδικούς άξονες
Χάρτης 5.9: Κατανομή παροχών σε οδικούς άξονες
Χάρτης 5.10: Κατανομή πυκνότητας παροχών σε οδικούς άξονες
Χάρτης 5.11: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης σε οδικούς άξονες
Χάρτης 5.12: Διαχρονική εξέλιξη καταναλώσεων 1999 – 2003
Χάρτης 5.13: Κατανομή παροχών σε αγωγούς
Χάρτης 5.14: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης σε αγωγούς
Χάρτης 5.15: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης ανά υποσταθμό – αντλιοστάσιο 1999 – 2003
Χάρτης 5.15: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης ανά υποσταθμό – αντλιοστάσιο 1999 – 2003
Χάρτης 5.16: Σταθμισμένοι χωρικοί μέσοι ανά λογαριασμό
Χάρτης 5.17: Σταθμισμένοι χωρικοί μέσοι ανά λογαριασμό
Χάρτης 5.18: Σταθμισμένοι χωρικοί μέσοι ανά λογαριασμό
Χάρτης 5.19: Αύξηση παροχών ανά έτος
Χάρτης 5.20: Πρόβλεψη κατανάλωσης με τον 1ο τρόπο
Χάρτης 5.21: Πρόβλεψη παροχών
Χάρτης 5.22: Πρόβλεψη κατανάλωσης με τον 2ο τρόπο

Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία αυτή αποτελεί μια προσπάθεια αναδείξεως του ρολου που μπορούν να διαδραματίσουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών σε συνάρτηση με την Χωρική Ανάλυση σε θέματα ανάλυσης δικτύων κοινής ωφελείας. Η ολοκλήρωσή της απαιτήσε σημαντικό χρόνο και επίμονη προσωπική εργασία. Επίσης, σημαντική ήταν η συμβολή όλων εκείνων όσων χρειάστηκε να βοηθήσουν με την εμπειρία, τη καθοδήγησή τους ή με την επαγγελματική τους θέση. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς με τον δικό τους τρόπο συνέβαλαν στην όλη προσπάθεια.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω για την σημαντική βοήθεια που προσέφερε στην ολοκλήρωσή της τον υπεύθυνο επιβλέπον της διπλωματικής εργασίας καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Γεώργιο Φώτη, χωρίς την βοήθεια και την καθοδήγηση του οποίου θα ήταν πολύ δύσκολη έως ανέφικτη η ολοκλήρωσή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας για την άριστη συνεργασία και τη χορήγηση όλων των στοιχείων και των πληροφοριών που απαιτήθηκαν. Ιδιαίτερα, τον κ. Κωνσταντίνο Λάζογλου προϊστάμενο του τμήματος λειτουργίας και συντήρησης της επιχείρησης και τον κ. Ιωαννίδη Θεμιστοκλή υπάλληλο της δημοτικής επιχείρησης για την άριστη συνεργασία και τον χρόνο που αφιέρωσε σε προσωπικές συνεντεύξεις για ενημέρωση και συλλογή στοιχείων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Χωρικής Ανάλυσης, G.I.S. και Θεματικής Χαρτογραφίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την βοήθειά του σε τεχνικά προβλήματα που συναντήθηκαν κατά την διάρκεια ολοκλήρωσή της.

1. Εισαγωγή

Τα δίκτυα κοινής ωφέλειας αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι στην σημερινή κοινωνία. Μόνο αν αναλογιστεί κανείς τον αριθμό τους και τη χρήση τους θα καταλάβει την τεράστια σημασία τους στην σύγχρονη κοινωνία. Τα δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης, ενέργειας, τηλεπικοινωνιών και μεταφορών είναι μερικά από τα οποία η καθημερινή τους χρήση κρίνεται απαραίτητη. Η περίοδος που διανύουμε αποτελεί για τους Οργανισμούς Κοινής Ωφέλειας περίοδος αλλαγών. Η ιδιωτικοποίηση, η απελευθέρωση της αγοράς και η όλο αναπτυσσόμενη τεχνολογία ασκούν σημαντική επίδραση στους Οργανισμούς Κοινής Ωφέλειας. Η καλύτερη ανάλυση των χωρικών δεδομένων ενός δικτύου είναι ένας από τους πρωταρχικούς τομείς στον οποίο πολλοί οργανισμοί θα πρέπει να επικεντρώσουν την προσοχή τους. Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η χωρική ανάλυση δικτύων κοινής ωφέλειας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Ο καλύτερος σχεδιασμός, η αποτελεσματικότερη οργάνωση και διαχείριση των δικτύων κοινής ωφέλειας αποτελούν βασική προϋπόθεση για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητάς τους και διασφάλιση της ποιότητας των παροχών τους προς τους κατοίκους. Βασικοί στόχοι κάθε οργανισμού είναι τόσο ο σχεδιασμός όσο και η όσο πιο ορθά γίνεται διαχείριση των εγκαταστάσεων και των συστημάτων για τη μεταφορά των αγαθών τους.

Όπως σε κάθε μελέτη, ανεξάρτητα από το πεδίο αναφοράς της, η ανάλυση προηγείται του σχεδιασμού, έτσι και στον σχεδιασμό ενός δικτύου κοινής ωφέλειας ο χωρικός προσδιορισμός και η ανάλυση των υπαρχόντων δεδομένων κρίνονται πλέον επιτακτικοί. Με τις ολοένα αυξανόμενες δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην επεξεργασία μεγάλου αριθμού δεδομένων, η χωρική ανάλυση γίνεται ακόμα ευκολότερη από ποτέ. Ανάλυση, που πλέον διευκολύνεται από τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Αν και στην αρχή τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αναπτύχθηκαν ως συστήματα αποθήκευσης, ανάκτησης και παρουσίασης χωρικών δεδομένων χωρίς καμία δυνατότητα χωρικής ανάλυσης, σήμερα αποτελούν ένα δυναμικό εργαλείο στον τομέα της χωρικής ανάλυσης. Μια εξέλιξη η οποία ήταν αναπόφευκτη και εξακολουθεί να αναπτύσσεται, αυξάνοντας συνεχώς τις δυνατότητες ανάλυσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο την εκλογή προτεινόμενης μεθοδολογίας για τη χωρική ανάλυση δικτύων κοινής ωφέλειας με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η διαδικασία χωρικής ανάλυσης ενός δικτύου κοινής ωφέλειας πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλες τις παραμέτρους του δικτύου και να αναλύει όλα τα δεδομένα που μπορεί να έχουν σχέση με αυτό. Η εργασία αυτή μέσα από το παράδειγμα εφαρμογής έχει ως στόχο να προτείνει τα στάδια μεθοδολογίας χωρικής ανάλυσης δικτύων κοινής ωφέλειας (καταγραφή προβλήματος, ανάλυση, πρόβλεψη, σχεδιασμός επέκτασης). Τέλος, μέσω του παραδείγματος εφαρμογής γίνεται μια παρουσίαση των βασικών μεθόδων ανάλυσης δικτύων.

Πιο αναλυτικά η εργασία αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια:

Στο 1^ο γίνεται εισαγωγική αναφορά στο υπό εξέταση θέμα, θέτονται οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας και το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί.

Το 2^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Ασχολείται με συγκεκριμένες μεθόδους ανάλυσης του χώρου και με τη γραμμική παλινδρόμηση. Πιο συγκεκριμένα εστιάζεται στην εξέταση της χωρικής διασποράς ενός συνόλου σημείων που κατανέμονται στην περιοχή μελέτης σαν αποτέλεσμα χωρικής διαδικασίας (σημειακές κατανομές) και την χωρική ανάλυση των γραμμικών στοιχείων ενός δικτύου (γραμμικές κατανομές). Δεύτερον, ασχολείται με τον υπολογισμό και τον έλεγχο της απλής και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των δυνατοτήτων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της σχέσης τους με την Χωρική Ανάλυση, δίνεται ο ορισμός τους, παρουσιάζονται οι βασικές διαδικασίες, τα τμήματα ενός τέτοιου συστήματος και τα διάφορα πεδία εφαρμογής τους.

Στη συνέχεια στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται εν συντομία το σύστημα τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας. Αναλυτικότερα, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή, περιγράφονται τα μέρη από τα οποία σε γενικές γραμμές αποτελείται ένα τέτοιο δίκτυο κοινής ωφέλειας (αντλιοστάσια, αγωγοί μεταφοράς, δίκτυο διανομής)

Το 5^ο κεφάλαιο ασχολείται με το παράδειγμα της χωρικής ανάλυσης του δικτύου κοινής ωφέλειας της τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας. Παρουσιάζεται το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (βάσεις δεδομένων και χωρικά στοιχεία) πάνω στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση. Αναλύεται χωρικά το όλο δίκτυο διανομής, παρουσιάζονται τα

αποτελέσματα και τέλος γίνεται πρόβλεψη για την μελλοντική αύξηση της ζήτησης σε περιοχές μηδενικής χρησιμοποίησης του δικτύου.

Τέλος, η εργασία κλείνει με το κεφάλαιο των συμπερασμάτων που προέκυψαν μέσα από την χωρική ανάλυση του δικτύου τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας και γίνονται προτάσεις για την βελτίωση του τρόπου ανάλυσης των δικτύων κοινής ωφέλειας.

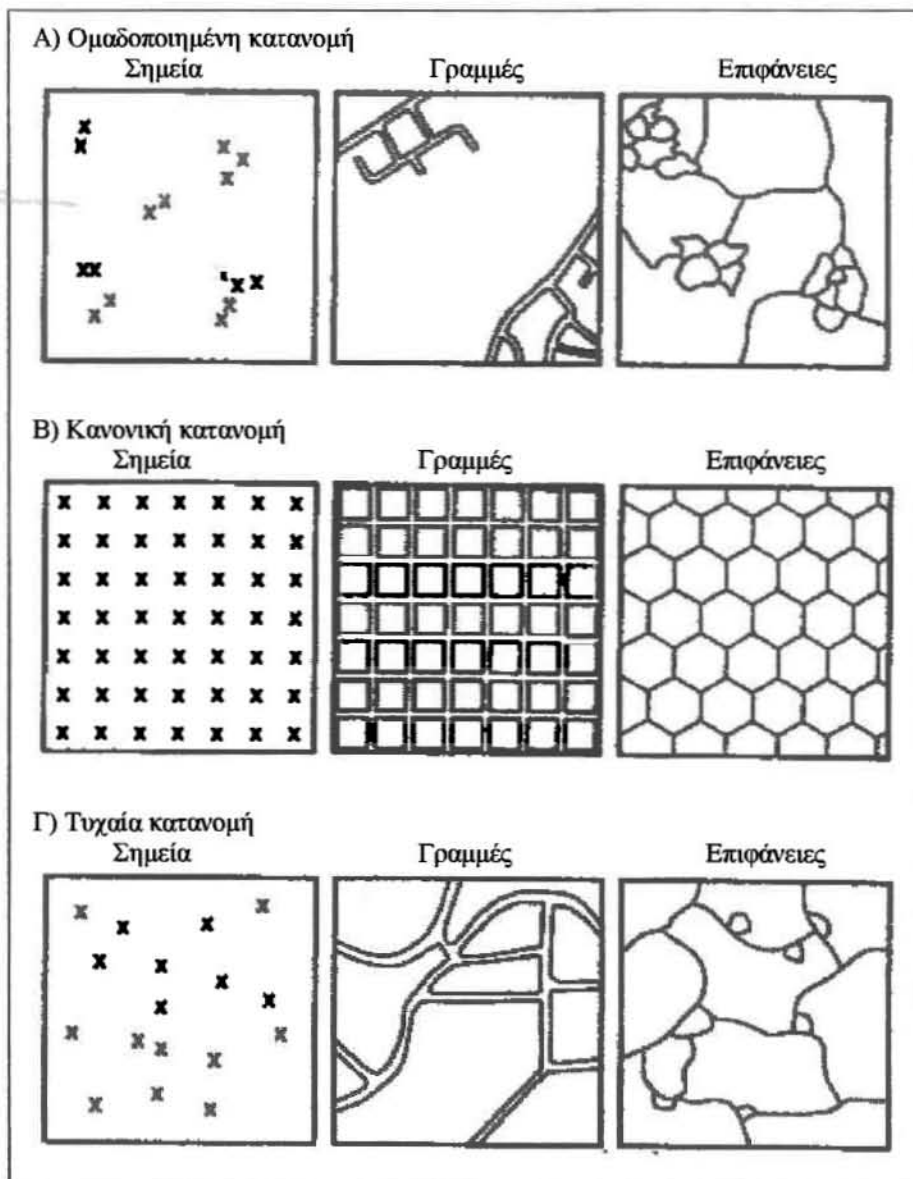
4. Ανάλυση Χώρου

Το ενδιαφέρον των επιστημόνων για την ανάλυση του βαθμού της αντιστοιχίας και συσχέτισης μεταξύ δύο ή περισσότερων χωρικών προτύπων είναι γνωστό. Παλαιότερα η ανάλυση αυτής της μορφής γίνονταν με την σύγκριση χαρτών ή με την εναπόθεση χαρτών που απεικόνιζαν τα διάφορα χωρικά πρότυπα. Σήμερα η ανάλυση συχνά προχωρά μέσα από υποθέσεις γύρω από τη μαθηματική σχέση ή τους μηχανισμούς που προξενούν την αντιστοιχία που μελετάται, ενώ σε άλλες περιπτώσεις, η ανάλυση είναι ανιχνευτική και αναζητά επαγωγικές γενικεύσεις για την συμμεταβλητότητα αυτών των χωρικών φαινομένων. Το σύνολο των παραπάνω ή και άλλων ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης φαινομένων στο χώρο είναι γνωστό ως Ανάλυσης Χώρου (Κουτσόπουλος, 2002).

Υπάρχουν τέσσερα είδη χωρικών φαινομένων (σχήμα 2.1):

- Σημειακές κατανομές, όπου κάθε μέτρηση αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο χώρο (σημειακές οντότητες).
- Γραμμικές κατανομές, όπου κάθε μέτρηση αντιπροσωπεύεται με μία γραμμή (ευθεία, τεθλασμένη ή οποιασδήποτε μορφής) και, επομένως, αναφέρεται στις γραμμικές οντότητες.
- Ασυνεχείς κατανομές επιφανειών, όπου κάθε μέτρηση αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια που στο πλαίσιο των Γ.Σ.Π. θεωρούνται πολυγωνικές οντότητες.
- Συνεχείς κατανομές επιφανειών, όπου κάθε μέτρηση σχετίζεται με όλα τα σημεία μιας επιφάνειας.

(Κουτσόπουλος, 2002)



Σχήμα 2.1: Σημειακές, Γραμμικές και Χωρικές Κατανομές (Walford, 1995)

Η υποδιαίρεση των γενικών στατιστικών τεχνικών σε περιγραφικούς και επαγωγικούς είναι επίσης εφαρμόσιμη και στην χωρική ανάλυση. Μερικές χωρικές τεχνικές παράγουν μια ποσότητα δεδομένων περιγράφοντας την μέση τάση ή διασπορά της θέσης ενός χωρικού φαινομένου, ενώ άλλες μας βοηθούν να συμπεράνουμε αν το φαινόμενο ακολουθεί ένα ορισμένο χωρικό πρότυπο (ομαδοποιημένη, κανονική κατανομή) ή είναι τυχαίο (τυχαία κατανομή). Οι πρώτες συνήθως πηγαίνουν σε μεγαλύτερο βάθος από τον τίτλο τους «centrographic», ενώ οι δεύτερες είναι γνωστές στην διεθνή βιβλιογραφία ως «pattern analysis». Και στις δύο κατηγορίες ο στόχος τους είναι να εστιάσουν την προσοχή τους στις χωρικές

διαστάσεις των φαινομένων και στις κατάλληλες τεχνικές χωρικής ανάλυσης για τα σημειακά, γραμμικά και χωρικά προτυπα.

2.1 Σημειακές κατανομές

Το σημείο αποτελεί την απλούστερη έννοια της παρουσίασης ενός χωρικού φαινομένου και απαιτεί ένα ζεύγος από συντεταγμένες. Ο βαθμός της ακρίβειας της θέσης του σημείου εξαρτάται σημαντικά από την κλίμακα και την ανάλυση με την οποία δουλεύουμε.

Η περιγραφή ή ανάλυση των χωρικών προτύπων αναφέρεται στην πυκνότητά τους στην δεδομένη περιοχή που συναντιούνται, στον προσδιορισμό ενός κεντρικού σημείου και τότε κλίνουν προς μία ομαδοποιημένη, κανονική ή τυχαία κατανομή. Η πυκνότητα των σημείων σε μια επιφάνεια είναι μάλλον ένας πολύ πρόχειρος στατιστικός δείκτης, αφού εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το πώς οριοθετήθηκαν τα όρια στην περιοχή μελέτης. Η πλέον χρήσιμη τεχνική χωρικής ανάλυσης ανάμεσα σε σημεία είναι ο προσδιορισμός της μεταξύ τους απόστασης.

Στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών το ενδιαφέρον εστιάζεται στα στοιχεία όπου η θέση τους είναι μεταβλητή. Όπως οι στατιστικολόγοι μπορούν να περιγράψουν τα μη – χωρικά στοιχεία, με ανάλογο τρόπο μπορούν να περιγραφούν και τα χωρικά στοιχεία. Η περιγραφή αυτή γίνεται με τους γεωστατιστικούς δείκτες.

Οι γεωστατιστικοί δείκτες αποτελούνται από έναν αριθμό μετρήσεων και δεικτών για την περιγραφή και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων, που ορίζονται σαν σημεία σε ένα χωρικό σύστημα. Οι δείκτες αυτοί είναι ισοδύναμοι ή παρόμοιοι με τους δείκτες σε άλλους τομείς της στατιστικής που αναφέρονται σε μη γεωγραφικά δεδομένα. Επομένως, οι γεωστατιστικοί δείκτες παρέχουν στον ερευνητή-μελετητή ισοδύναμα με μερικά από τα πιο βασικά εργαλεία της μη – χωρικής στατιστικής για την περιγραφή και ανάλυση των χωρικών δεδομένων (Φώτης, 2001).

Οι γεωγραφικές κατανομές, όμως, σε αντίθεση με τις μη-χωρικές, παρουσιάζουν μια ιδιαιτερότητα. Συγκεκριμένα, η δομή τους είναι πολλαπλών διαστάσεων (multi – variable). Στην πιο απλή μορφή της μια χωρική κατανομή αποτελείται από χωρικές πληροφορίες μόνο, που συνήθως παρουσιάζονται με τη μορφή ενός χάρτη, με πολλά σημεία. Για τις ανάγκες της στατιστικής ανάλυσης, όμως, αυτός ο απλός χάρτης είναι ήδη σύνθετος, αφού κάθε σημείο του έχει δυο διαστάσεις (X, Y) για την τετμημένη

και τεταγμένη του αντίστοιχα, έτσι ώστε στην πραγματικότητα υπάρχουν δυο υπο – κατανομές ή, όπως αποκαλείται, μια δι-μεταβλητή (bi – variate) κατανομή. Βέβαια, οι περισσότερες από τις χωρικές κατανομές ή χάρτες παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερες στατιστικές δυσκολίες, αφού επιπλέον μεγέθη ή ιδιότητες μπορούν να αποδοθούν σε καθένα από τα σημεία της κατανομής (π.χ. πληθυσμός ή κάποιο «βάρος»). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια τρι – μεταβλητή σειρά. Η κατανομή μπορεί να γίνει ακόμα πιο περίπλοκη, όταν για παράδειγμα το υψόμετρο για κάθε σημείο προστίθεται σαν μια τέταρτη διάσταση ή όταν κάποιο μέγεθος (π.χ. πληθυσμός) υπολογίζεται για πολλές χρονικές περιόδους, προσθέτοντας έτσι μια πέμπτη (χρονική) διάσταση στο πλαίσιο αυτό των χωρικών στοιχείων. Επομένως, τα γεωγραφικά δεδομένα απαιτούν, για λόγους στατιστικούς, τους δικούς τους δείκτες.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι, ανάλογοι των μη-χωρικών σειρών, για να παρουσιαστούν τα στοιχεία μιας χωρικής κατανομής. Κάθε μια από αυτές τις μεθόδους, όμως, έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Αν υπάρχουν πολλές τιμές για μια χωρική μεταβλητή, η απαρίθμηση ή η γραφική παράσταση συχνά δεν εξυπηρετούν. Αν η μαθηματική συνάρτηση που αντιστοιχεί στην κατανομή είναι περίπλοκη ή δεν μπορεί να βρεθεί καμιά συνάρτηση που να αντιπροσωπεύει την κατανομή, η χρήση της σχέσης που δίνει την κατανομή μπορεί να είναι αδύνατη. Ακόμη και αν αυτά τα μειονεκτήματα δεν αφορούν παρά συγκεκριμένες περιπτώσεις, είναι χρονοβόρο να παρασταθεί ολόκληρη η κατανομή που ενδιαφέρει. Επομένως, συχνά είναι ευκολότερο και πιο αποδοτικό να δίνεται έμφαση σε ορισμένα μόνο χαρακτηριστικά των κατανομών, που είναι δυνατόν να προσδιορίσουν την κατανομή σαν σύνολο. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορούν να συνοψισθούν σε μια ή περισσότερες αριθμητικές τιμές, οι οποίες περιλαμβάνουν ένα μέρος μόνο της πληροφορίας που περιέχει ολόκληρη η κατανομή.

Δύο τέτοια χαρακτηριστικά κάθε κατανομής είναι οι μετρήσεις της χωρικής κεντρικότητας και της χωρικής διασποράς (Κουτσόπουλος, 2002). Οι δείκτες της χωρικής κεντρικότητας είναι τρόποι που περιγράφουν την τυπική ή μέση τιμή μιας μεταβλητής. Οι δείκτες διασποράς περιγράφουν την έκταση των διαφορών ανάμεσα στις πιθανές τιμές της μεταβλητής.

2.1.1 Δείκτες Χωρικής Κεντρικότητας

Οι δείκτες χωρική κεντρικότητας που θα περιγραφούν είναι ο χωρικός μέσος, ο χωρικός διάμεσος και η χωρική κορυφή.

2.1.1.1 Χωρικός Μέσος

Η έννοια του χωρικού μέσου είναι αντίστοιχη με την έννοια του αριθμητικού μέσου ($\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$). Συγκεκριμένα, αν κάθε σημείο i στον χώρο περιγράφεται με τις δύο συντεταγμένες του (x_i, y_i) , τότε οι συντεταγμένες του χωρικού μέσου δίνονται από τους τύπους:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad [2.1],$$

όπου n είναι ο αριθμός των σημείων.

Αυτός ο χωρίς βάρος δι-μεταβλητός μέσος συνήθως αποκαλείται κεντροειδές. Στην περίπτωση που τα σημεία έχουν ένα συγκεκριμένο βάρος που τους αντιστοιχεί (π.χ. πληθυσμός), τότε ο χωρικός μέσος πρέπει να αντιστοιχίζεται με τον μέσο όρο αυτών των βαρών, οπότε:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i f_i, \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i f_i \quad [2.2],$$

$$f_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad [2.3],$$

όπου f_i είναι το σχετικό βάρος και P_i είναι το βάρος των σημείων i .

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα γεωγραφικά στοιχεία δεν αναφέρονται σε σημεία αλλά αφορούν περιφέρειες, οπότε για να υπολογιστεί ο χωρικός μέσος χρειάζεται να μετατραπούν οι περιφέρειες σε σημεία. Αυτό γίνεται με πολλές μεθόδους όπως, βρίσκοντας το γεωγραφικό κέντρο της περιφέρειας ή αντιστοιχίζοντας τα στοιχεία μας, στο μεγαλύτερο αστικό κέντρο, της περιφέρειας.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ορισμένα χαρακτηριστικά του χωρικού μέσου καθώς και την εφαρμογή και χρησιμότητα, που μπορεί αυτός να έχει στην

γεωγραφική έρευνα. Κατ' αρχήν ο χωρικός μέσος είναι εκείνη η Θέση, που πάνω σ' ένα χάρτη μπορεί να δώσει την κατανομή συγκεντρωμένη, αντιπροσωπεύει δηλαδή μια μέση θέση. Αυτή η μέση Θέση, παρουσιάζομενη με τη μορφή ενός σημείου, προμηθεύει τον ερευνητή με έναν δείκτη, που ουσιαστικά αντιπροσωπεύει μία εκτενή λίστα σημείων που αποτελούν την χωρική κατανομή. Επομένως, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του χωρικού μέσου είναι ότι δίνει την δυνατότητα να παρατηρηθεί μια χωρική κατανομή που μεταβάλλεται διαχρονικά. Για παράδειγμα, μπορεί να παρατηρηθεί στη διαχρονική της εξέλιξη η κατανομή του πληθυσμού της Ελλάδας ανάλογα με το, προς τα που τείνει κάθε φορά το «κέντρο βάρους» του πληθυσμού. Και το πιο σημαντικό είναι ότι αυτές οι μεταβολές του χωρικού μέσου μπορούν να συνδυαστούν και να ερμηνευθούν με τις κοινωνικές και οικονομικές εξελίξεις στον χώρο.

Μια δεύτερη σημαντική χρησιμότητα του χωρικού μέσου (Κουτσόπουλος, 2002), είναι η σύγκριση κατανομών διαφορετικών φαινομένων στην ίδια περιφέρεια (π.χ. σύγκριση του συνολικού πληθυσμού με υποδιαιρέσεις του, όπως τον γερασμένο και τον νεανικό πληθυσμό). Οι διαφορετικές θέσεις των χωρικών μέσων για τις κατανομές αυτές, είτε σε μια δοσμένη χρονική στιγμή, είτε διαχρονικά, δίνουν ενδείξεις για τις διαδικασίες που διαδραματίζονται στον χώρο. Επίσης ο χωρικός μέσος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαπιστωθούν διαφορές ανάμεσα σε περιφέρειες.

Από την άλλη πλευρά, όμως, ο χωρικός μέσος δεν έχει καμία έννοια, όταν παρουσιάζεται, σαν αριθμητική τιμή, με τις δυο συντεταγμένες του. Έχει νόημα μόνο όταν παρουσιάζεται γραφικά στον χάρτη σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία της γεωγραφικής του κατανομής. Η θέση του χωρικού μέσου είναι «συνθετική», με την έννοια ότι μπορεί να είναι χωροθετημένος στη Θάλασσα, για παράδειγμα, όταν μία σειρά από παράκτια σημεία μελετάται. Επομένως, τα χωρικά χαρακτηριστικά του, σε σχέση με την χωρική κατανομή που αντιπροσωπεύει, πρέπει να μελετώνται με προσοχή. Ένα άλλο αποτέλεσμα της συνθετικής φύσης του χωρικού μέσου είναι η πιθανότητα ότι δυο διαφορετικές γεωγραφικές κατανομές μπορεί να «δώσουν» τον ίδιο χωρικό μέσο.

Ο χωρικός μέσος, εκτός από τα χωρικά αυτά χαρακτηριστικά, παρουσιάζει και σημαντικές στατιστικές ιδιότητες. Πραγματικά, με το να είναι επέκταση του μη χωρικού μονομεταβλητού μέσου διατηρεί ειδικές σχέσεις με τις «ροπές» του, ή με

άλλα λόγια ελαχιστοποιεί την διασπορά των σημείων γύρω του. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη ροπή γύρω από τον χωρικό μέσο ισούται με μηδέν:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) = 0 \quad [2.3]$$

Επιπλέον, η δεύτερη ροπή γύρω από τον μέσο όρο είναι ελάχιστη, ή με άλλα λόγια το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων όλων των σημείων από το χωρικό μέσο είναι ελάχιστο (όταν ο χωρικός μέσος συγκρίνεται με οποιοδήποτε άλλο σημείο της χωρικής κατανομής -χάρτη). Αυτή η ιδιότητα του χωρικού μέσου συντελεί στο να αποδίδεται μεγαλύτερη σπουδαιότητα στα απομακρυσμένα σημεία για την εύρεση της θέσης του, αφού με τον τετραγωνισμό των αποστάσεων από τον χωρικό μέσο, τα απομακρυσμένα σημεία αποκτούν μεγαλύτερο «βάρος» από τα πλησιέστερα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον ορισμό της τυπικής απόστασης, όπως θα δούμε παρακάτω. Αντίθετα, όμως, αυτή η υπέρμετρη συμμετοχή των απομακρυσμένων σημείων πολλές φορές δεν δίνει έναν ικανοποιητικό δείκτη της χωρικής κεντρικότητας, όποτε η χρήση του χωρικού διαμέσου είναι επιβεβλημένη. Μια άλλη στατιστική ιδιότητα του χωρικού μέσου είναι η συνδιασπορά του, στην περίπτωση της περιστροφής/μετάθεσης του συστήματος των αξόνων. Στις περιπτώσεις αυτές η θέση του χωρικού μέσου δεν μεταβάλλεται, μολονότι οι αριθμητικές τιμές των συντεταγμένων του αλλάζουν.

2.1.1.2 Χωρικός Διάμεσος

Ο δείκτης αυτός είναι ανάλογος με τον διάμεσο, στις μονοδιάστατες (μη – χωρικές) σειρές στοιχείων. Ο απλός διάμεσος είναι το μεσαίο στοιχείο, όταν όλα τα στοιχεία έχουν μπει σε σειρά ανάλογα με την αριθμητική τιμή τους. Έτσι τα μισά στοιχεία είναι μεγαλύτερα από τον διάμεσο και τα άλλα μισά είναι μικρότερα.

Αν προσπαθήσουμε να μεταφέρουμε την έννοια του διαμέσου στον χώρο με τρόπο ανάλογο μ' εκείνον της αναγωγής μας, από τον αριθμητικό μέσο στον χωρικό μέσο, θα συναντήσουμε το εξής πρόβλημα: Αν υπολογίσουμε τον διάμεσο σε κάθε άξονα του συστήματος αναφοράς, προσδιορίζουμε ένα σημείο στον χώρο σαν χωρικό διάμεσο. Αν όμως περιστρέψουμε το σύστημα των συντεταγμένων, τότε προκύπτει ένας διαφορετικός χωρικός διάμεσος. Εδώ εντοπίζουμε μία βασική διαφορά από το χωρικό μέσο, που δεν επηρεάζεται από τυχόν περιστροφές του συστήματος

αναφοράς. Το μειονέκτημα αυτό του χωρικού διαμέσου περιορίζει την χρησιμότητά του στην χωρική ανάλυση.

Υπάρχει, όμως, τρόπος να βρεθεί ένας μοναδικός χωρικός διάμεσος, χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό ορισμό σε συνδυασμό με άλλες ουσιαστικές έννοιες όπως, την απόλυτη απόκλιση $|x_i - x_0|$. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, ο διάμεσος έχει το μικρότερο άθροισμα των απόλυτων αποκλίσεων, σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη θέση. Αυτή είναι μια ιδιότητα που έχει και ο μη χωρικός διάμεσος.

Έτσι, ο νέος ορισμός του διαμέσου είναι ότι αποτελεί την θέση όπου ελαχιστοποιείται το άθροισμα των απόλυτων αποκλίσεων.

$$\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| = \min \quad [2.4]$$

Εδώ εντοπίζουμε μια δεύτερη διαφορά, σε σχέση με τον χωρικό μέσο, που έχει την ιδιότητα να ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων. Ο χωρικός διάμεσος, όπως ορίστηκε παραπάνω, δεν επηρεάζεται από την περιστροφή του συστήματος αναφοράς, αλλά ο υπολογισμός του είναι σχετικά δύσκολος, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται βάρη για τα σημεία. Η εξίσωση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι:

$$\min \sum_{i=1}^n d_{im} = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2} \quad [2.5],$$

όπου d_{im} η απόσταση μεταξύ του χωρικού μέσου και του σημείου i .

2.1.1.3 Χωρική Κορυφή

Σαν κορυφή ορίζεται το υψηλότερο σημείο στο διάγραμμα των συχνοτήτων, όταν παρατηρούνται μονοδιάστατα φαινόμενα (Κουτσόπουλος, 2002). Στον χώρο, η χωρική κορυφή είναι το σημείο με την ψηλότερη συχνότητα και αποτελεί μια από τις ευκολότερες μετρήσεις της χωρικής κεντρικότητας.

2.1.2 Δείκτες Χωρικής Διασποράς

Ακριβώς όπως είναι ανώφελη η χρησιμοποίηση του αριθμητικού μέσου σε μια μη-χωρική σειρά δεδομένων, χωρίς την συμπληρωματική μέτρηση της διασποράς (διακύμανση, τυπική απόκλιση), έτσι και η χρήση της μέτρησης της χωρικής κεντρικότητας είναι περιορισμένη, όταν δεν συνοδεύεται από μια μέτρηση της διασποράς γύρω από αυτήν.

Ο βαθμός χωρικής διασποράς (ή συγκέντρωσης) μιας χωρικής κατανομής σημείων μπορεί να υπολογιστεί αναφορικά με ένα από τα παρακάτω κριτήρια:

- Διασπορά σε σχέση με τον χωρικό μέσο ή χωρικό διάμεσο.
- Διασπορά σε σχέση με ένα άλλο, ορισμένο, σημείο (π.χ. το κέντρο μιας πόλης)
- Διασπορά σημείων μεταξύ τους, δηλαδή, διασπορά κάθε σημείου σε σχέση με όλα τα άλλα.

2.1.2.1 Τυπική απόσταση

Η μέτρησή της χωρικής διασποράς σε σχέση με τον χωρικό μέσο, είναι η τυπική απόσταση που δίνεται από τον τύπο:

$$TA = \sqrt{\frac{\sum d_{im}^2}{n}} \quad [2.6],$$

όπου TA η τυπική απόσταση και d_{im} η απόσταση από το σημείο i στο χωρικό μέσο m .

Για την περίπτωση που χρησιμοποιούμε βάρη:

$$TA = \sqrt{\sum_i f_i d_{im}^2} \quad [2.7]$$

Εναλλακτικά, η τυπική απόσταση μπορεί να υπολογιστεί από τις δυο διασπορές (variances), που προκύπτουν χωριστά για κάθε έναν από τους άξονες συντεταγμένων του χάρτη (αφού προηγουμένως έχει βρεθεί ο διάμεσος σε κάθε άξονα) ως εξής:

$$TA = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad [2.8]$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ ο χωρικός μέσος έχει περισσότερο νόημα σαν παράσταση σ' ένα χάρτη παρά σαν απλή αριθμητική τιμή, με την τυπική απόσταση συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Γι' αυτό και οι έννοιες της χωρικής κεντρικότητας, ιδιαίτερα του χωρικού μέσου και της τυπικής απόστασης, είναι αλληλοσυμπληρούμενες. Η μέτρηση της διασποράς έχει διάφορες εφαρμογές στην γεωγραφία. Η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής της τυπικής απόστασης μπορεί να δώσει ενδείξεις για τις διαδικασίες που συνέβησαν στο χώρο (π.χ. μεγάλη χωρική διασπορά του πληθυσμού γύρω από τον μέσο υποδεικνύει πρώτα στάδια αστικοποίησης, ενώ η διαχρονική μείωσή της μπορεί να υποδηλώνει κάποιες τάσεις αστυφιλίας, μιλώντας πάντα για συγκεκριμένο τόπο). Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις όπου η τυπική απόσταση είναι πολύ πιο χρήσιμη από το χωρικό μέσο, όπως είναι η ανάλυση εμπορικών λειτουργιών μέσα στις πόλεις. Συγκεκριμένα, ορισμένες λειτουργίες έχουν πολύ διαφορετική κατανομή, άλλες είναι διεσπαρμένες (π.χ. καταστήματα τροφίμων), ενώ άλλες είναι συγκεντρωμένες (π.χ. ασφαλιστικές εταιρείες, εμπορικά κέντρα). Ο χωρικός μέσος μπορεί να είναι ο ίδιος και για τις δυο κατηγορίες λειτουργιών (κάτι, που εξαρτάται και από την επιφάνεια που καταλαμβάνει η πόλη), ενώ η τυπική απόσταση θα διαφέρει σημαντικά, θα είναι μεγαλύτερη για τις διεσπαρμένες λειτουργίες από ότι για τις συγκεντρωμένες. Επομένως, η τυπική απόσταση στην περίπτωση αυτή δίνει καλύτερη περιγραφή της χωρικής πραγματικότητας από τον χωρικό μέσο.

Η τυπική απόσταση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για συγκριτικές μελέτες, χρησιμοποιώντας τη σχετική διασπορά. Συγκεκριμένα, αν συγκρίνονται οι κατανομές μιας μεταβλητής σε δυο περιφέρειες, διαφορετικού μεγέθους, τότε οι διαφορές στις αντίστοιχες διασπορές θα αντανakλούν περισσότερο διαφορές στο μέγεθος των περιφερειών, παρά διαφορές στην κατανομή της μελετώμενης μεταβλητής. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούμε την σχετική διασπορά, που ορίζεται σαν:

$$\Sigma\Delta_x = \frac{\Gamma A_x}{r_x} \quad [2.9],$$

όπου χ η μελετώμενη μεταβλητή και r_x η ακτίνα της περιοχής, αν υποθέσουμε ότι την μετασχηματίζουμε σε ισοδύναμο κύκλο.

Με παρόμοιο τρόπο, όταν η κατανομή μιας συγκεκριμένης μεταβλητής συνδέεται με την κατανομή μιας άλλης, (π.χ. η θέση μιας αστικής λειτουργίας συνδέεται με την

πληθυσμιακή κατανομή), και θέλουμε να συγκρίνουμε πόλεις ως προς την κατανομή της παραπάνω αστικής λειτουργίας, τότε χρησιμοποιούμε μία άλλη έκφραση της σχετικής διασποράς:

$$\Sigma\Delta_x = \frac{TA_x}{TA_\pi} \quad [2.10],$$

- όπου TA_x η τυπική απόσταση της μεταβλητής (αστική λειτουργία) και TA_π η τυπική απόσταση του πληθυσμού της πόλης.

Έχοντας τελειώσει την παρουσίαση των δεικτών χωρικής κεντρικότητας και χωρικής διασποράς, είμαστε σε θέση να αναφερθούμε σε ορισμένα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά τους. Πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι ο χωρικός μέσος και η τυπική απόσταση υπολογίζονται από τις μετρήσεις όλων των αντικειμένων που εξετάζονται. Επομένως έρχονται σε αντίθεση με την έννοια της κορυφής. Έτσι αν γνωρίζουμε ότι μια θέση είναι στην κορυφή μιας κατανομής, (π.χ. η κορυφή της πληθυσμιακής κατανομής της Ελλάδας είναι η Αθήνα, αφού εκεί περιμένουμε τη μεγαλύτερη συχνότητα του πληθυσμού) δεν συμβαίνει το ίδιο με τον χωρικό μέσο που είναι πιθανό να βρίσκεται, για την παραπάνω περίπτωση, σε ακατοίκητη περιοχή. Επομένως από τον χωρικό μέσο περιμένουμε μακροσκοπική πληροφορία και όχι τις ιδιαιτερότητες μικρών περιοχών.

Δεύτερο χαρακτηριστικό του χωρικού μέσου που προκύπτει από το πρώτο είναι ότι αφού εξαρτάται από όλα τα μέλη ενός πληθυσμού είναι πολύ ευαίσθητος στις οποιεσδήποτε αλλαγές του πληθυσμού αυτού, και αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή διαχρονικών μεταβολών του πληθυσμού. Σε αντίθεση, η χωρική κορυφή δεν είναι καθόλου ευμετάβλητη αναφορικά με τις πληθυσμιακές μεταβολές και μπορεί να διατηρείται η ίδια για πολύ μεγάλες χρονικές περιόδους. Όπως και ο χωρικός μέσος, έτσι και η τυπική απόσταση υπολογίζεται από όλα τα μέλη του πληθυσμού. Μάλιστα η τυπική απόσταση υπολογίζεται από τα τετράγωνα των αποστάσεων των μελών του πληθυσμού από τον μέσο. Επομένως, η τιμή της επηρεάζεται πολύ σοβαρά από τις απομακρυσμένες τοποθεσίες και είναι επίσης ευαίσθητη στις μεταβολές του πληθυσμού. Αυτό το χαρακτηριστικό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και μπορεί να αξιοποιηθεί σε προβλήματα πολεοδομικού και περιφερειακού σχεδιασμού, επειδή αντανακλά έντονα τις ανισότητες στον χώρο.

2.2 Γραμμικές κατανομές

Γράφημα δικτύου είναι μια ακολουθία σημείων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές. (Παπιάς, 1999) Δεν έχει καμία σημασία ούτε το είδος των συνδετήριων γραμμών ούτε η κατεύθυνση της κίνησης, (παρ' ότι είναι δυνατόν η πληροφορία αυτή να σημειώνεται πάνω σε ένα γράφημα, με μορφή διανυσματική ή δυαδική). Έτσι η ανάλυση του γραφήματος μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση κοινών τοπολογικών δομών σε δίκτυα διαφορετικής μορφής.

2.2.1 Το δίκτυο ως γράφημα

Μια βασική δυσκολία για την περιγραφή και κυρίως ανάλυση ενός δικτύου είναι η πολυπλοκότητά του. Στην πραγματικότητα, τα δίκτυα είναι χωρικά συστήματα υψηλής πολυπλοκότητας και, επομένως, μόνο με μια σχετική απλοποίησή τους μπορεί να γίνει εφικτή η προσπέλαση και η ανάλυση της δομής τους. Η βασική διαδικασία απλοποίησης των δικτύων είναι η μετατροπή τους σε γραφήματα και στη συνέχεια η εφαρμογή της θεωρίας των γραφημάτων (graph theory). Μια τέτοια μετατροπή, όμως, έχει σαν αποτέλεσμα μια σειρά από πληροφορίες για το δίκτυο να μην λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα, ενώ για την ανάλυση ενός οδικού δικτύου χαρακτηριστικά, όπως η χωρητικότητα, το κόστος κατασκευής, η χρήση κλπ, είναι σημαντικά εντούτοις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση με τη βοήθεια της θεωρίας των γραφημάτων. Βασικά, στην απεικόνιση ενός δικτύου ως γράφημα το ενδιαφέρον εστιάζεται στα τοπολογικά χαρακτηριστικά του συστήματος και όχι στα διάφορα άλλα χαρακτηριστικά του. Από την άλλη μεριά, όμως, και με δεδομένη τη δυνατότητα των Γ.Σ.Π. να διαχειρίζονται τοπολογικά χαρακτηριστικά, η ανάλυση δικτύων αποτελεί μια σημαντική περιοχή δραστηριότητας των Γ.Σ.Π.

Η θεωρία των γραφημάτων, σαν κλάδος της τοπολογίας, αναφέρεται σε αφηρημένους σχηματισμούς που αποτελούνται από σημεία και γραμμές. Πιο συγκεκριμένα, ένα δίκτυο αποτελείται από γραμμικά τμήματα που συνδέονται με κάποιο τρόπο μεταξύ τους και καθορίζονται από κόμβους αρχής και τέλους, των οποίων η θέση είναι γνωστή. Ένα τμήμα του γραφήματος ενός δικτύου μπορεί να περιέχει ενδιάμεσα σημεία, γνωστής θέσης, μεταξύ των κόμβων της αρχής και του τέλους του, τα οποία απλώς βοηθούν στην καλύτερη οριοθέτηση του τμήματος και ονομάζονται κορυφές (vertex). Επομένως, η βασική διαφορά μεταξύ μιας κορυφής

και ενός κόμβου είναι ότι ο τελευταίος διαθέτει τοπολογικές πληροφορίες για το δίκτυο που σε τελική ανάλυση καθορίζουν και τη δομή του δικτύου. Συμπερασματικά, σε ένα γράφημα δικτύου η τοπολογία του εκφράζεται ως εξής:

- Κάθε τμήμα του έχει πάντοτε έναν κόμβο αρχής και έναν κόμβο τέλους.
- Κάθε τμήμα του μπορεί να περιέχει μια, περισσότερες ή και καμία κορυφή.
- Κάθε διασταύρωση δυο γραμμικών τμημάτων αποτελεί αναγκαστικά ένα κόμβο, δημιουργώντας σύμφωνα με την ορολογία της τοπολογίας ένα σχεδιαστικό γράφημα (planar graph).
- Δυο γραμμικά τμήματα συνδέονται άμεσα αν μοιράζονται έναν κοινό κόμβο.
- Η σύνδεση δυο γραμμικών τμημάτων που δεν συνδέονται άμεσα, μπορεί σε συγκεκριμένες περιπτώσεις να γίνει έμμεσα μέσω άλλων τμημάτων που, όμως, είναι άμεσα συνδεδεμένα.

Όταν ένα δίκτυο ορίζεται με τον παραπάνω τρόπο εμπεριέχει την ελάχιστη δυνατή πληροφορία (είναι γνωστή μόνο η απουσία σύνδεσης μεταξύ κόμβων) και οι χωρικές ιδιότητες αυτών των δικτύων αφορούν αποκλειστικά τη δομή τους, αφού ουσιαστικά αναφέρονται στο γεωμετρικό πρότυπο του δικτύου.

2.2.2 Αξιολόγηση Δομής Δικτύων: Συνδετικότητα

Όταν ένα δίκτυο μετασχηματίζεται σε ένα σύνολο συνδέσμων οι οποίοι σχετίζονται με ένα σύνολο κόμβων, μια θεμελιώδης ερώτηση είναι: σε ποιο βαθμό κάθε δυνατό ζευγάρι κόμβων συνδέονται μεταξύ τους; Αυτός ο βαθμός σύνδεσης μεταξύ των κόμβων ορίζεται ως συνδεσιμότητα ενός δικτύου και είναι πιθανώς η πιο σπουδαία δομική ιδιότητά του. (Κουτσόπουλος, 2002)

Μολονότι είναι δυνατό, όπως θα δούμε παρακάτω, να μετρηθεί η σύνδεση μεταξύ των κόμβων ενός δοσμένου δικτύου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η έννοια ως συνδεσιμότητας έχει αξία σαν εργαλείο χωρικής ανάλυσης, όταν το συγκεκριμένο δίκτυο το συγκρίνουμε με άλλα δίκτυα ή όταν η ανάπτυξή του εξετάζεται διαχρονικά. Και αυτό γιατί η επέκταση ή η ενδυνάμωση των συγκοινωνιακών συνδέσμων μεταξύ κόμβων σχετίζεται απόλυτα με την αύξηση στη ζήτηση για συγκοινωνιακή υποδομή, αναγκαία για την μετακίνηση ανθρώπων και αγαθών, και, επομένως, ο βαθμός

συνδετικότητας ενός συγκοινωνιακού δικτύου είναι ενδεικτικός ως πολυπλοκότητας του χωρικού συστήματος που εξυπηρετείται από το συγκεκριμένο δίκτυο.

2.2.2.1 Ο Δείκτης Γάμμα (Gamma)

Ο δείκτης Γάμμα είναι απλά ο λόγος του αριθμού των συνδέσεων που υπάρχουν σε ένα δίκτυο σ προς το μέγιστο δυνατό αριθμό συνδέσεων σ_{max} που μπορούν να υπάρξουν στο δίκτυο αυτό:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες _ σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος _ αριθμός _ συνδέσεων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} \quad [2.11]$$

Από τη θεωρία των γραφημάτων (graph theory) είναι γνωστό ότι ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων σε ένα σχεδιαστικό δίκτυο είναι πάντοτε ίσος με $3(\kappa-2)$, όπου κ : είναι ο αριθμός των κόμβων του δικτύου. Επομένως, η παραπάνω σχέση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa-2)} \quad [2.12]$$

Η συνδετικότητα ενός δικτύου, όπως εκφράζεται από το δείκτη Γάμμα και στο πλαίσιο της θεωρίας των γραφημάτων, διαφοροποιείται μεταξύ δυο ακραίων καταστάσεων. Από τη μια μεριά αναφέρεται σε ένα σύνολο κόμβων που είναι τελείως ασύνδετοι μεταξύ τους και, από την άλλη, σε ένα σύνολο κόμβων όπου κάθε κόμβος συνδέεται με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η συνδετικότητα ενός δικτύου αξιολογείται σε σχέση με τον βαθμό που ένα δίκτυο παρεκκλίνει από ένα ασύνδετο γράφημα και προσεγγίζει ένα μέγιστα συνδεδεμένο. Το εύρος των τιμών του δείκτη Γάμμα κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, αλλά για ευκολία η αριθμητική τιμή του μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει και την επί τοις εκατό συνδετικότητα του δικτύου. (Κουτσόπουλος, 2002)

2.2.2.2 Ο Δείκτης Άλφα (Alfa)

Στα προηγούμενα ορίστηκε ως ελάχιστο συνδεδεμένο δίκτυο εκείνο στο οποίο δεν υπάρχουν απομονωμένοι κόμβοι και ο αριθμός των συνδέσεων είναι ένας λιγότερος από τον αριθμό των κόμβων. Α ν απομακρυνθεί ένας σύνδεσμος, το δίκτυο διαιρείται σε δυο ξεχωριστά τμήματα. Από την άλλη μεριά, όμως, εάν προστεθεί ένας σύνδεσμος στο δίκτυο, η συνδετικότητά του αυξάνεται πέρα από την ελάχιστη

διάταξη στην οποία μόνο μία και μοναδική διαδρομή μπορεί να υπάρχει μεταξύ κάθε Ζεύγους κόμβων του δικτύου. Σαν αποτέλεσμα, επιπλέον σύνδεσμοι σε ένα τέτοιο δίκτυο δημιουργούν κυκλικούς συνδέσμους (circuits), οι οποίοι ορίζονται ως συγκεκριμένες διαδρομές στο δίκτυο όπου ο αρχικός κόμβος της αλληλουχίας των συνδέσμων συμπίπτει με τον τελικό κόμβο. Πρακτικά, η ύπαρξη κυκλικών συνδέσμων σηματοδοτεί τη δημιουργία επιπλέον εναλλακτικών συνδέσμων μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Ο αριθμός των εναλλακτικών διαδρομών καθορίζεται από τον επιπλέον αριθμό των συνδέσμων που προστίθεται σε ένα ελάχιστα συνδεδεμένο δίκτυο.

Σε ένα δοσμένο δίκτυο με σ συνδέσμους και κ κόμβους, ο αριθμός των συνδέσμων είναι $\sigma = \kappa - 1$, μόνον όταν το δίκτυο είναι ελάχιστα συνδεδεμένο, ενώ όταν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι ισχύει: $\sigma > \kappa - 1$. Ο αριθμός των κυκλικών συνδέσμων, επομένως, μπορεί να υπολογιστεί αν από τον αριθμό των υπαρχόντων συνδέσμων αφαιρεθούν οι σύνδεσμοι που αναφέρονται σε ένα ελάχιστα συνδεδεμένο δίκτυο, δηλαδή:

$$\text{Αριθμός κυκλικών συνδέσμων} = \sigma - (\kappa - 1) = \sigma - \kappa + 1 \quad [2.13]$$

Ο μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων σε ένα δίκτυο εξαρτάται από τον αριθμό των κορυφών του δικτύου και τον αριθμό των συνδέσμων που είναι αναγκαίοι για ελάχιστη συνδετικότητα μεταξύ των κορυφών. Για ένα σχεδιαστικό δίκτυο, ο μέγιστος αριθμός συνδέσμων είναι: $3(\kappa - 2)$ και, επομένως, ο μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων που δίνεται από τη διαφορά μεταξύ του μέγιστου αριθμού συνδέσμων και των υπαρχόντων συνδέσμων φαίνεται στη σχέση:

$$3(\kappa - 2) - (\kappa - 1) = 2\kappa - 5 \quad [2.14]$$

Ο δείκτης Άλφα ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των κυκλικών συνδέσμων που υπάρχουν σε ένα δίκτυο προς τον μέγιστο δυνατό αριθμό τους. Συγκεκριμένα:

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες κυκλικοί σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} \quad [2.15]$$

Το εύρος των τιμών του δείκτη Άλφα κυμαίνεται μεταξύ 0 για ελάχιστα συνδεδεμένα δίκτυα και 1 για μέγιστα συνδεδεμένα δίκτυα. Όπως και στο δείκτη Γάμμα, η τιμή του δείκτη Άλφα μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει την επί τοις εκατό ύπαρξη κυκλικών συνδέσμων στο δίκτυο. (Κουτσόπουλος, 2002)

2.2.2.3 Διάμετρος Δικτύου

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός δικτύου που επίσης αξιολογεί τη συνδετικότητα του είναι η διάμετρος. Ως διάμετρος ενός συνδεδεμένου δικτύου ορίζεται ο μέγιστος αριθμός συνδέσμων που απαιτούνται για την μετακίνηση από έναν κόμβο σε έναν άλλο, μέσω μιας ελάχιστης διαδρομής. Σε ένα μη συνδεδεμένο δίκτυο δεν μπορεί να εκτιμηθεί η διάμετρος του γιατί δεν είναι δυνατόν από ένα τμήμα του δικτύου να μετακινηθούμε σε άλλο μέσω κάποιου συνδέσμου. (Κουτσόπουλος, 2002)

2.2.3 Κατηγορίες Δικτύων

Τα δίκτυα μπορούν να διαφοροποιηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Τα ελάχιστα συνδεδεμένα
- Τα μέγιστα συνδεδεμένα
- Τα ενδιάμεσης συνδετικότητας

Η κατηγοριοποίηση αυτή μπορεί να πιστοποιηθεί μέσα από την ανάλυση του εύρους των τιμών που μπορούν να πάρουν οι δείκτες Γάμμα και Άλφα.

2.2.3.1 Ελάχιστα Συνδεδεμένα δίκτυα

Στα ελάχιστα συνδεδεμένα δίκτυα, κάθε κόμβος συνδέεται με τουλάχιστον άλλον ένα και η μετακίνηση από έναν κόμβο σε έναν άλλο γίνεται μέσα από μία και μοναδική διαδρομή. Σε ένα τέτοιο δίκτυο ο δείκτης Γάμμα δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} \quad [2.16]$$

και επειδή ο αριθμός των συνδέσμων είναι πάντοτε ένας λιγότερος από τον αριθμό των κόμβων, η σχέση γίνεται:

$$\gamma = \frac{\kappa - 1}{3(\kappa - 2)} \quad [2.17].$$

Η οποία σχέση μπορεί να γραφεί και ως:

$$\gamma = \frac{1}{3} \left[\frac{\kappa}{\kappa - 2} - \frac{1}{\kappa - 2} \right] \quad [2.18]$$

Για ένα δίκτυο με έναν άπειρο μεγάλο αριθμό συνδέσμων, το όριο της παραπάνω σχέσης θα είναι:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{3} \left(\frac{\kappa}{\kappa-2} - \frac{1}{\kappa-2} \right) \right] = \frac{1}{3} \quad [2.19].$$

Στο κατώτερο όριο, αν ο αριθμός των κόμβων είναι τέσσερα, η τιμή του δικτύου του δείκτη Γάμμα θα είναι 1/2. Επομένως, για τα ελάχιστα συνδεδεμένα δίκτυα η τιμή του δείκτη Γάμμα τα κυμαίνεται μεταξύ 1/3 και 1/2, δηλαδή $1/3 < \gamma < 1/2$.

Όσον αφορά το δείκτη Άλφα στα ελάχιστα συνδεδεμένα δίκτυα η τιμή του είναι μηδέν, γιατί αυτά τα δίκτυα δεν έχουν κυκλικούς συνδέσμους.

2.2.3.2 Μέγιστα Συνδεδεμένα δίκτυα

Τα μέγιστα συνδεδεμένα δίκτυα χαρακτηρίζονται από τον σχετικά μεγάλο αριθμό συνδέσμων σε σχέση με τους κόμβους και, επομένως, υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διαδρομές που ενώνουν κάθε ζευγάρι κόμβων. Επειδή κάθε φορά που προστίθεται ένας κόμβος σε ένα δίκτυο με περισσότερους από τρεις κόμβους απαιτούνται δύο επιπλέον σύνδεσμοι, η σχέση μεταξύ κόμβων και συνδέσμων είναι:

$$\sigma = 2\kappa - 3 \quad [2.10]$$

Επομένως, ο δείκτης Γάμμα θα δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{\sigma}{3(\kappa-2)} = \frac{1}{3} \left(\frac{2\kappa}{\kappa-2} - \frac{3}{\kappa-2} \right) \quad [2.11].$$

Για δίκτυα με άπειρα μεγάλο αριθμό κόμβων, όπως και παραπάνω:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{3} \left(\frac{2\kappa}{\kappa-2} - \frac{3}{\kappa-2} \right) = \frac{2}{3} \quad [2.12].$$

Για μικρότερα δίκτυα, όταν ο αριθμός κόμβων είναι τρία. Ο δείκτης Γάμμα θα ισούται με την μονάδα. Επομένως, για τα δίκτυα με μέγιστη συνδετικότητα ο δείκτης Γάμμα θα παίρνει τιμές: $2/3 < \gamma < 1$.

Όσον αφορά το δείκτη Άλφα, ισχύει:

$$\alpha = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{\kappa}{2\kappa - 5} - \frac{2}{2\kappa - 5} \quad [2.13].$$

Και για άπειρα μεγάλα δίκτυα

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\kappa}{2\kappa - 5} - \frac{2}{2\kappa - 5} \right) = \frac{1}{2} \quad [2.14].$$

Ανάλογα για μικρά δίκτυα η τιμή του δείκτη Άλφα θα είναι μονάδα.

Τα συνολικά παραπάνω αποτελέσματα κατηγοριοποίησης των δικτύων σε ελάχιστα, ενδιάμεσα και μέγιστα συνδεδεμένα φαίνονται στον πίνακα 2.1.

	Δείκτης Γάμμα	Δείκτης Άλφα
Ελάχιστα Συνδεδεμένο	$1/3 < \gamma < 1/2$ με $\kappa \geq 4$	0 με $\kappa = \sigma + 1$
Ενδιάμεσο	$1/2 < \gamma < 2/3$ με $\kappa \geq 4$	$0 < \alpha < 1/2$ με $\kappa \geq 3$
Μέγιστα Συνδεδεμένο	$2/3 < \gamma < 1$ με $\kappa \geq 3$	$1/2 < \alpha < 1$ με $\kappa \geq 3$

Πίνακας 2.1: Τιμές Δεικτών για τις Κατηγορίες Δικτύων

Η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση τις τιμές των δεικτών Γάμμα και Άλφα που προκύπτουν.

2.3 Παλινδρόμηση

Πολλές φορές κατά την εκτέλεση ενός πειράματος ή μιας έρευνας τα αποτελέσματα δίνονται με μορφή περισσοτέρων της μιας μεταβλητής. Έτσι, ο ερευνητής αναγκάζεται να ενδιαφερθεί να μάθει κάτι για τη σχέση μεταξύ αυτών των μεταβλητών, και ως προς τη φύση αλλά και ως προς την ένταση της σχέσης αυτών.

Οι περιπτώσεις της εξέτασης της σχέσης, που συνδέει το ύψος της κατανάλωσης με το πληθυσμό, του συνόλου των εισαγωγών με το ύψος του καθαρού εισοδήματος μιας χώρας, του ύψους ενός ανθρώπου με το βάρος του σώματός του, της πίεσης στο αίμα με την ηλικία του ανθρώπου κ.ά., είναι προβλήματα που εμφανίζουν μεταβλητές, εξαρτημένη και ανεξάρτητη, με συνέπεια κάθε ερευνητής να απασχολεί η εύρεση της φύσης και της σχέσης αυτών των μεταβλητών. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη μέθοδο της παλινδρόμησης.

Βασικός στόχος της μεθόδου της παλινδρόμησης είναι η εκτίμηση και η πρόβλεψη τιμών μιας μεταβλητής, που αντιστοιχούν σε δοσμένες τιμές των άλλων (ή της άλλης) (Γ. Πέκος, 1999).

Σε περίπτωση που έχουμε δύο μεταβλητές, λέμε ότι ασχολούμαστε με την απλή παλινδρόμηση ενώ σε αντίθετη περίπτωση που έχουμε περισσότερες από δύο μεταβλητές, με την πολλαπλή παλινδρόμηση. Στην παρούσα περίπτωση θα εξεταστεί

η απλή και η πολλαπλή παλινδρόμηση οι οποίες χρησιμοποιούνται παρακάτω στο κεφάλαιο 6° για την πρόβλεψη της μελλοντικής κατανάλωσης σε περιοχές του δικτύου με μηδενική μέχρι στιγμής χρήση.

2.3.1 Απλή γραμμική παλινδρόμηση

Η μέθοδος της απλής (γραμμικής) παλινδρόμησης αναφέρεται σε θέματα όπου υπάρχουν δύο μεταβλητές η εξαρτημένη Y και η ανεξάρτητη X , που ελέγχεται από τον ερευνητή. Σε κάθε μάλιστα τιμή των X είναι πιθανό να αντιστοιχούν, περισσότερες από μία τιμές της μεταβλητής Y .

Για να προχωρήσουμε στην παρουσίαση της μεθόδου της παλινδρόμησης με την οποία θα εκτιμήσουμε τη συναρτησιακή σχέση που συνδέει τις μεταβλητές Y και X , πρέπει να δεχθούμε ότι οι X και Y είναι ή λαμβάνονται σαν συνεχείς μεταβλητές (Γ. Πέκος, 1999).

Επιπλέον, για τον προσδιορισμό της απλής παλινδρόμησης πρέπει να γίνουν ορισμένες υποθέσεις που απλοποιούν το πρόβλημα των τυχαίων κατανομών (Περάκης Κ., 2000):

1. Όλες οι Y κατανομές έχουν την ίδια διακύμανση σ^2 (δηλαδή για κάθε τιμή της X).
2. Όλες οι μέσες τιμές των Y κατανομών βρίσκονται στην ίδια ευθεία γραμμή στο επίπεδο XY την $E(Y) = m = \alpha + \beta X$, όπου α και β οι εκτιμώμενοι συντελεστές που εκτιμούνται από το δείγμα.
3. Οι τυχαίες μεταβλητές Y είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Με βάση τα παραπάνω η εξίσωση της απλής παλινδρόμησης εκφράζεται ως:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad [2.15],$$

όπου ε είναι ο διαταρακτικός όρος ή σφάλμα.

Αν την παραπάνω σχέση τη γράψουμε $\varepsilon = Y - (\alpha + \beta X)$ φαίνεται ότι ο διαταρακτικός όρος μετρά την απόκλιση της τυπικής τιμής Y από το μέσο $\mu Y / \chi$ της κατανομής. Ο συντελεστής παλινδρόμησης α , προσδιορίζει το σημείο τομής του άξονα των Y και της ευθείας παλινδρόμησης, ο δε συντελεστής παλινδρόμησης β προσδιορίζει την κλίση της, ως προς τον άξονα των X του συστήματος.

2.3.1.1 Υπολογισμός των συντελεστών της απλής παλινδρόμησης

Η γενική μορφή της ευθείας γραμμής είναι:

$$Y = \alpha + \beta X \quad [2.16],$$

όπου α και β το σημείο τομής με τον άξονα Y και β η κλίση, ως προς τον άξονα των X του συστήματος. Είναι γνωστό ότι η ευθεία είναι πλήρως ορισμένη, όταν γνωρίζουμε τις τιμές των συντελεστών αυτών. Έτσι το πρόβλημα εύρεσης της καλύτερης ευθείας γραμμής, ανάγεται στην εύρεση των καλύτερων συντελεστών που προσδιορίζουν την ευθεία.

Έστω $\hat{\alpha}$ και $\hat{\beta}$ οι εκτιμήσεις των συντελεστών α και β αντίστοιχα. Οι συντελεστές αυτές βρίσκονται από την λύση του συστήματος των κανονικών εξισώσεων:

$$\sum Y_i = n\hat{\alpha} + \hat{\beta} \sum X_i \quad [2.17],$$

$$\sum X_i Y_i = \hat{\alpha} \sum X_i + \hat{\beta} \sum X_i^2 \quad [2.18]$$

Από την λύση του συστήματος προκύπτει:

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{ή}$$

$$\hat{\beta} = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad [2.19]$$

και

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta} \bar{X} \quad [2.20].$$

2.3.2 Πολλαπλή παλινδρόμηση

Η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης αναφέρεται σε θέματα όπου υπάρχουν περισσότερες από δύο μεταβλητές, όπου η μία από όλες είναι εξαρτημένη (Y) και οι υπόλοιπες είναι ανεξάρτητες ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$). Συνήθως οι ανεξάρτητες μεταβλητές ελέγχονται από τον ερευνητή και επιλέγονται, χωρίς αυτό να αποτελεί κανόνα, ενώ η εξαρτημένη ελέγχεται από τις τιμές που παίρνουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές. (Ι. Λιάκη, 1976). Σε κάθε τιμή των X, όπως και στην απλή παλινδρόμηση, είναι πιθανό να αντιστοιχούν, περισσότερες από μία τιμές της μεταβλητής Y.

Η μορφή της συνάρτησης είναι (Περάκης Κ., 2000):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n + \varepsilon \quad [2.21],$$

όπου $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ είναι συντελεστές και ε είναι ο διαταρακτικός όρος ή σφάλμα.

2.3.2.1 Υπολογισμός των συντελεστών της πολλαπλής παλινδρόμησης

Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε j τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής Y που η κάθε μία από αυτές συνδέεται με την εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης, με k τιμές των μεγεθών X_1, X_2, \dots, X_j , ισχύει για κάθε Y_j :

$$Y_j = b_0 + b_1 X_{1j} + b_2 X_{2j} + \dots + b_k X_{kj} + \varepsilon_j \quad [2.22]$$

Οι κανονικές εξισώσεις που προκύπτουν είναι:

$$nb_0 + \hat{b}_1 \sum X_{1j} + \hat{b}_2 \sum X_{2j} + \dots + \hat{b}_k \sum X_{kj} = \sum Y_j \quad [2.23],$$

$$\hat{b}_0 \sum X_{1j} + \hat{b}_1 \sum X_{1j}^2 + \hat{b}_2 \sum X_{2j} X_{1j} + \dots + \hat{b}_k \sum X_{kj} X_{1j} = \sum Y_j X_{1j} \quad [2.24],$$

$$\hat{b}_0 \sum X_{2j} + \hat{b}_1 \sum X_{1j} X_{2j} + \hat{b}_2 \sum X_{2j}^2 + \dots + \hat{b}_k \sum X_{kj} X_{2j} = \sum Y_j X_{2j} \quad [2.25],$$

$$\hat{b}_0 \sum X_{kj} + \hat{b}_1 \sum X_{1j} X_{kj} + \hat{b}_2 \sum X_{2j} X_{kj} + \dots + \hat{b}_k \sum X_{kj}^2 = \sum Y_j X_{kj} \quad [2.26].$$

Από την λύση του παραπάνω συστήματος προκύπτουν οι συντελεστές $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ της πολλαπλής γραμμής παλινδρόμησης (Γ. Πέκος, 1999).

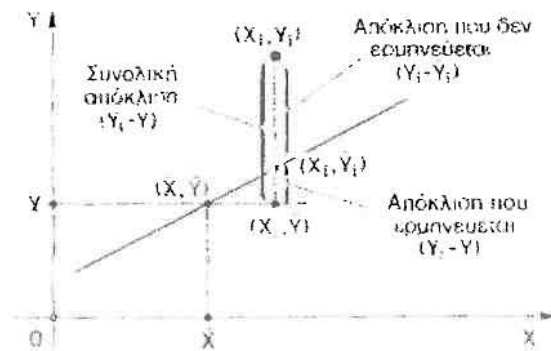
2.3.3 Αξιολόγηση της συνάρτησης παλινδρόμησης

Ανεξάρτητα από το υπολογιστικό μέρος το πρόβλημα παραμένει πάντα στο αν η εκτιμηθείσα γραμμή παλινδρόμησης ερμηνεύει την πραγματική κατάσταση. Αυτό αντιμετωπίζεται με τον έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθόδου (credibility of method), που περιλαμβάνει τα μέρη (Γ. Πέκος, 1999):

1. Ποιοτική αξιολόγηση (quality),
2. ορθολογική αξιολόγηση (logical) και
3. στατική αξιολόγηση (statistical).

2.3.4 Πηγές διακύμανσης στη παλινδρόμηση

Αν πάρουμε ένα ζευγάρι πραγματικού και εκτιμηθέντος στοιχείου (Y_i, \hat{Y}_i)



Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα διασποράς

ισχύει:

$$(Y_i - \bar{Y}) = (\hat{Y}_i - \bar{Y}) + (Y_i - \hat{Y}_i) \quad (\Gamma. \text{ Πέκος, 1999}) \quad [2.27]$$

όπου:

$Y_i - \bar{Y}$ λέγεται συνολική απόκλιση της Y_i από το μέσο \bar{Y}

$\hat{Y}_i - \bar{Y}$ λέγεται απόκλιση που ερμηνεύτηκε (explained) και

$Y_i - \hat{Y}_i$ λέγεται απόκλιση που δεν ερμηνεύτηκε (residuals) από την παλινδρόμηση.

Η σχέση βέβαια αυτή ισχύει, για κάθε σημείο (X_i, Y_i) , οπότε αποδειχεται ότι ισχύει και για το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων.

Είναι δηλαδή:

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad [2.28]$$

$$\text{ή TSS} = \text{ESS} + \text{RSS} \quad [2.29],$$

όπου:

$$\text{TSS} = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \text{συνολικό άθροισμα τετραγώνων.}$$

$$\text{ESS} = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = \text{άθροισμα τετραγώνων που ερμηνεύεται.}$$

$$\text{RSS} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{άθροισμα τετραγώνων που δεν ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση.}$$

2.3.5 Ο συντελεστής προσδιορισμού

Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι ένας δείκτης, που δηλώνει την ικανότητα της γραμμής παλινδρόμησης να εξηγεί την πραγματικότητα ή με άλλα λόγια δείχνει την ικανότητα προσαρμογής της εξίσωσης παλινδρόμησης του δείγματος στις πραγματικές τιμές του Y .

Προκύπτει ο συντελεστής προσδιορισμού από το λόγο του αθροίσματος των τετραγώνων που ερμηνεύεται από την παλινδρόμηση, προς το συνολικό άθροισμα τετραγώνων (Γ. Πέκος, 1999).

Είναι δηλαδή:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\text{ESS}}{\text{TSS}} \quad [2.29].$$

Προφανώς οι τιμές που είναι δυνατόν να παίρνει ο συντελεστής προσδιορισμού είναι $0 < R^2 < 1$, με συνέπεια όσο πιο κοντά στο 1 βρίσκεται, τόσο πιο καλή είναι η εξίσωση παλινδρόμησης.

3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Χωρική Ανάλυση

Είναι αναμφισβήτητο γεγονός ότι τις τελευταίες δύο δεκαετίες υπάρχει μια αξιοθαύμαστη ανάπτυξη και προώθηση της χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι όλες και αυξανόμενες ανάγκες του σύγχρονου κόσμου δημιούργησαν νέες απαιτήσεις για καλύτερη μελέτη, ανάλυση και παρουσίαση λύσεων σε διάφορα χωρικά προβλήματα. Όπως η εύρεση της καταλληλότερης θέσης για την εγκατάσταση μιας επιχείρησης, η εύρεση της ταχύτερης βέλτιστης διαδρομής ενός οχήματος, η ανάλυση και παρακολούθηση δικτύων ύδρευσης και ενέργειας κα. Πλέον η αντιμετώπιση όλων αυτών των θεμάτων γίνεται με την χρήση των δυνατοτήτων που μας προσφέρουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Αλλά τι είναι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών;

3.1 Ορισμός – Διαχρονική εξέλιξη

Σύμφωνα με διάφορους ορισμούς:

“ Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφορίας, σχετικής με φαινόμενα που εξελίσσονται στο γεωγραφικό χώρο ” (Goodchild, 1985)

“ Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών φαίνεται πόσο σημαντικό είναι, μόνον όταν το δει κανείς από την πλευρά της τεχνολογίας και όχι μόνον ως ένα απλό σύστημα ” (Parker, 1987)

“ Γεωγραφικό Σύστημα πληροφοριών είναι ένα εργαλείο για λήψη αποφάσεων νομικής, διοικητικής και νομικής υφής και ένα όργανο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη, το οποίο αποτελείται από τη μια από μια Βάση Δεδομένων που περιέχει για μια έκταση στοιχεία προσδιορισμένα στο χώρο και τα οποία σχετίζονται με τη γη και από την άλλη αποτελείται από διαδικασίες και τεχνικές για τη συστηματική συλλογή, ενημέρωση, επεξεργασία και διανομή των στοιχείων. Η βάση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών είναι ένα ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς, το οποίο επίσης διευκολύνει τη σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και με τα άλλα συστήματα που περιέχουν στοιχεία για τη γη. ” Ορισμός που έχει δοθεί από την Federation Internationale des Geometres – 1983.

Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα υποσύνολο της επιστήμης των πληροφοριών που εξετάζει το χώρο ή γεωγραφικά στοιχεία, είναι μια συλλογή υλικού, λογισμικού και μεθόδων που έχει ως σκοπό τη συλλογή, διαχείριση και ανάλυση των χωρικών στοιχείων, είναι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Διαφέρει από την χαρτογραφία λόγω της αναλυτικής ικανότητάς του, διαφέρει από τα προγράμματα CAD επειδή εκτελεί χωρικές διαδικασίες, διαφέρει από τα προγράμματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων επειδή έχει χαρτογραφική απεικόνιση.

Η ιστορία των Γ.Σ.Π. κατά πολλούς αρχίζει στα μέσα του 19ου αιώνα με την εμφάνιση των πρώτων ατλάντων θεματικών χαρτών, στους οποίους για πρώτη φορά εφαρμόστηκε η καταχώρηση της πληροφορίας σε επίπεδα (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Τα Γ.Σ.Π. με τη μορφή που έχουν σήμερα, άρχισαν να εμφανίζονται στη δεκαετία του '60. Η δημιουργία τους στηρίχθηκε κυρίως στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των Η/Υ, της Χαρτογραφίας και της Φωτογραμμετρίας στις προηγούμενες δεκαετίες του '40 και του '50. Από το 1962, κυρίως στις Η.Π.Α. και στον Καναδά, τόσο οι τοπικές διοικήσεις όσο και οι κυβερνήσεις των πολιτειών, άρχισαν να δείχνουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση γεωγραφικής πληροφορίας μέσα από τα γεωγραφικά συστήματα, τα οποία τα έβλεπαν καθαρά σαν εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Στα 1964 μπήκε σε λειτουργία το πρώτο Γ.Σ.Π. με τη μορφή που το εννοούμε σήμερα. Πρόκειται για το σύστημα του Καναδά (CGIS, Canadian GIS), που δημιούργησε ο Roger Tomlison. Το CGIS είχε και έχει πολλές εφαρμογές. Η σπουδαιότερη από αυτές ήταν η αποθήκευση ψηφιοποιημένων χαρτογραφικών δεδομένων και πληροφοριών γης για όλον τον Καναδά (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Το 1964 επίσης, έγινε στις Η.Π.Α. το πρώτο πλήρες GIS στον τομέα των φυσικών διαθεσίμων. Το σύστημα αυτό ήταν το MIADS (Management Information Assembly and Display System) και αναπτύχθηκε από τη Δασική Υπηρεσία των Η.Π.Α.. Σχεδιάστηκε έτσι, ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση δεδομένων, η διαχείριση και η ανάλυσή τους, η δημιουργία νέων επιπέδων πληροφορίας και η σχεδιαστική έξοδος των αποτελεσμάτων (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Στα χρόνια της δεκαετίας του '70 ο αριθμός των εν λειτουργία γεωγραφικών συστημάτων αυξήθηκε σημαντικά. Στα 1977 μόνο στις Η.Π.Α. υπήρχαν εν χρήσει τουλάχιστον 54 διαφορετικά συστήματα (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Στα πρώτα χρόνια της εμφάνισης και χρήσης των Γ.Σ.Π., το μεγάλο χρηματικό κόστος και οι τεχνικές δυσκολίες, επέτρεψαν την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος μόνον στις κρατικές υπηρεσίες (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Στην τελευταία δεκαετία όμως έχει αναπτυχθεί κυρίως στις Η.Π.Α., ένας μεγάλος αριθμός Γ.Σ.Π., τόσο από κρατικές υπηρεσίες, όσο και από ιδιωτικές εταιρείες. Τα συστήματα αυτά εξυπηρετούν κυρίως χρήσεις γης, φυσικά διαθέσιμα, σχεδιασμό κλπ για όλα τα επίπεδα της τοπικής αυτοδιοίκησης ενός κράτους ή εξυπηρετούν τις ανάγκες ιδιωτικών επιχειρήσεων (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Δεν είναι όμως λίγες και οι περιπτώσεις, ειδικά στα τελευταία 4-5 χρόνια, που η χρήση των Γ.Σ.Π. βρίσκει εφαρμογές σε περιοχές τελείως διαφορετικές από αυτές που πιο πάνω αναφέρθηκαν. Για παράδειγμα, ένα Γ.Σ.Π. είναι εκείνο που δίνει απαντήσεις σε προβλήματα ναυσιπλοΐας, κίνησης και διαδρομής οχημάτων ή αυτόματου εντοπισμού της θέσης οχημάτων (Automatic Vehicle Location, AVL). Παράλληλα σήμερα στις Η.Π.Α., σχεδόν σε όλες τις πόλεις με πληθυσμό πάνω από 100.000 κατοίκους, λειτουργούν Γ.Σ.Π. για τον καθορισμό της θέσης «συμβάντων» μέσα στην πόλη σε ελάχιστο χρόνο. Τα συστήματα αυτά (dispatch systems), που στηρίζονται σε μια χαρτογραφική βάση της περιοχής, εξυπηρετούν και χρησιμοποιούνται πολύ για την άμεση λήψη αποφάσεων από υπηρεσίες άμεσης επέμβασης, όπως είναι η αστυνομία ή η πυροσβεστική. Έτσι οι υπηρεσίες αυτές έχουν τη δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο (real time) και σε χάρτη που εμφανίζεται σε οθόνη γραφικών, να βλέπουν την ακριβή θέση στην οποία βρίσκεται ο κατάλληλος εξοπλισμός για την αντιμετώπιση π.χ. μιας πυρκαγιάς, για την επέμβαση της αστυνομίας, την κίνηση των ασθενοφόρων κλπ. (Παρασχάκης, Παπαδοπούλου κα, 1998)

Οι κυριότεροι λόγοι που ώθησαν την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στα μεγάλα άλματα της τελευταίας εικοσιπενταετίας ήταν:

- η μεγάλη ανάπτυξη της πληροφορικής και το διαρκώς μειούμενο κόστος των αντίστοιχων μηχανημάτων και προγραμμάτων

- η βελτίωση των μαθηματικών μεθόδων ανάλυσης, ερμηνείας και πρόβλεψης των συνθηκών του γήινου περιβάλλοντος
- η διαρκώς αυξανόμενη ανησυχία για την περιβαλλοντική υποβάθμιση τόσο σε τοπική, όσο και σε εθνική και υπερεθνική κλίμακα, και βεβαίως
- η αδυναμία επεξεργασίας με παραδοσιακούς τρόπους του τεράστιου αριθμού στοιχείων και σύνθετων επεξεργασιών που απαιτούνται για τη μελέτη των φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών μεγεθών των σύγχρονων προβλημάτων ανάπτυξης.

(Μανιάτης, 1996)

3.1 Βασικές διαδικασίες και τμήματα ενός Γ.Σ.Π.

Η επιτυχής λειτουργία ενός Γ.Σ.Π. δεν είναι μόνο συνάρτηση των δεδομένων και πληροφοριών που διαχειρίζεται, αλλά συνάρτηση πέντε βασικών παραγόντων, των οποίων η συνεισφορά είναι απολύτως ισότιμη:

- Των δεδομένων,
- Των μηχανημάτων (Hardware),
- Των προγραμμάτων (Software),
- Των χειριστών του συστήματος, και
- Του θεσμικού πλαισίου λειτουργίας.

Η βάση των Γ.Σ.Π. είναι η πληροφορία. Το υλικό των πληροφοριών όμως και ιδιαίτερα η γεωγραφικά προσδιορισμένη πληροφορία χρειάζεται μεγάλο χώρο για αποθήκευση. Η διαχείριση μεγάλου όγκου πληροφοριών είναι δυνατή με την χρήση υπολογιστών.

Παράλληλα, η επεξεργασία της πληροφορίας, η διαχείριση από τον υπολογιστή και η εκτέλεση των εντολών του χρήστη, μέχρι την τελική παρουσίαση του αποτελέσματος αυτής της επεξεργασίας, προϋποθέτει ένα ισχυρό και πολύπλοκο πρόγραμμα (software). Όσο περισσότερες δυνατότητες έχει το software, τόσο ικανοποιητική θα είναι και η αξιοποίηση της πληροφορίας.

Άμεσα συνδεδεμένο με το software, είναι και το θέμα του εξοπλισμού Η\Υ πάνω στον οποίο θα αναπτυχθεί το σύστημα. Για τις σχετικές επεξεργασίες απαιτείται

τεράστιος αριθμός υπολογισμών, άρα η ταχύτητα, το μέγεθος μνήμης και τα άλλα λειτουργικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού είναι καθοριστικά.

Τέταρτη συνιστώσα, εξίσου σημαντική με τις υπόλοιπες, είναι το ανθρώπινο δυναμικό που θα κληθεί να αναπτύξει και να υποστηρίξει το σύστημα. Βασική προϋπόθεση βέβαια είναι η εκπαίδευση και συνεχής ενημέρωση και εξάσκηση του ανθρώπινου δυναμικού (Παππάς, 1997).

Τέλος η πέμπτη συνιστώσα ενός επιτυχούς Γ.Σ.Π. είναι η οργανωτική - θεσμική διάσταση. Οι διαδικασίες συλλογής, εισαγωγής, επεξεργασίας, αναθεώρησης της πληροφορίας, οι κανόνες και οι επιλογές για την παρουσίαση, η ιεράρχηση της πρόσβασης στο σύστημα και άλλα αντίστοιχα θέματα, αποτελούν διαδικασίες που είναι στην πράξη πολύ σημαντικές και συνήθως ιδιαίτερα χρονοβόρες. Τέλος θέματα ιδιοκτησίας και διαθεσιμότητας των στοιχείων είναι παράμετροι που επιδρούν ιδιαίτερα στην αξιοπιστία ενός συστήματος ενώ ταυτόχρονα αποτελούν δομικά στοιχεία του θεσμικού πλαισίου λειτουργία του (Παππάς, 1997).

3.1 Κατηγορίες γεωγραφικών εφαρμογών

Οι εφαρμογές των Γ.Σ.Π. είναι πάρα πολλές και βεβαίως προσδιορίζονται κάθε φορά από τις ιδιαίτερες ανάγκες των χρηστών. Βασικό κοινό σημείο σε όλες τις περιπτώσεις είναι η ευρύτατη χρήση της θεωρίας και των πρακτικών εφαρμογών της επιστήμης της γεωγραφίας. Σε κάθε σχεδόν τομέα βρίσκουν εφαρμογή, παρέχοντας εργαλεία και μεθόδους για καλύτερη ανάλυση, εξαγωγή συμπερασμάτων και λήψης αποφάσεων. Μπορούν να βρουν εφαρμογή στην αρχαιολογία, στη γεωργία, στην μεταφορά ηλεκτρισμού, νερού και ενέργειας, στην δασονομία, στις υπηρεσίες υγείας και ασφάλειας, στον στρατό, στην αεροπλοΐα, στις βιβλιοθήκες, στα μουσεία και τους αρχαιολογικούς χώρους κτλ. (ESRI, 2002)

Ενδεικτικά, από ένα μεγάλο αριθμό δυνατών εφαρμογών (Μανιάτης, 1996), μπορούν να αναφερθούν οι ακόλουθες ομάδες σε τοπικό ή/ και περιφερειακό επίπεδο:

Ενέργεια

- ποια πορεία πρέπει να ακολουθήσει μια προτεινόμενη γραμμή μεταφοράς ενέργειας ώστε να αποφευχθούν ευαίσθητες περιοχές όπως οι αρχαιολογικοί χώροι και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κατασκευής.

- ποια είναι η θέση και η έκταση περιοχών που είναι πτωχές σε μεταλλεύματα και φυσικούς πόρους.
- που βρίσκονται οι σταθμοί παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, στα πλαίσια του προγράμματος μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Γεωργία -Αρδευση

- πόση γεωργική έκταση υπάρχει σε μια περιφέρεια και πόσα στρέμματα μετατράπηκαν σε οικόπεδα για αστική ανάπτυξη.
- πόσα στρέμματα αρδευόμενης γης υπάρχουν σε μια έκταση, ποιοι εδαφολογικοί τύποι και ποια είδη φυτικής κάλυψης υπάρχουν σε χείμαρρους και ποταμούς με μικρή ποσότητα νερού.

Χρήσεις Γης

- με ορισμένα κριτήρια να προσδιορισθούν οι περιοχές που είναι ακατάλληλες για ορισμένο τύπο χρήσης γης.
- ποια είναι η χρήση γης σε περιοχές που συχνά εκδηλώνονται φυσικά φαινόμενα όπως π.χ. καταρρακτώδεις βροχές.

Κοινωνικοοικονομικές μελέτες

- ποια θα είναι η ζήτηση σε δημόσιες υπηρεσίες και δίκτυα υποδομής από τη δημιουργία ενός εργοστασίου σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- ποιο είναι το μέσο εισόδημα των κατοίκων μιας περιοχής και πως κατανέμεται ανάλογα με το μορφωτικό επίπεδο και το είδος απασχόλησης.

3.2 Χωρική Ανάλυση Δικτύων με τη χρήση Γ.Σ.Π.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αρχικά αναπτύχθηκαν ως εργαλεία αποθήκευσης, ανάκτησης και παρουσίασης γεωγραφικών πληροφοριών. Οι αρχικές τους ικανότητες για ανάλυση των χωρικών πληροφοριών ήταν λιγιστές ή έλειπαν εντελώς (Fotheringham and Rogerson, 1998). Παρόλη την γενική αποδοχή ότι η ανάλυση των χωρικών φαινομένων πρέπει να αποτελεί βασική λειτουργία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, η φιλοσοφία συγκεκριμένων αναλυτικών λειτουργιών σε πολλά υπάρχοντα Γ.Σ.Π. συνεχίζει να απουσιάζει. Το πρόβλημα, η ενσωμάτωση δηλαδή κοινών εργαλείων χωρικής ανάλυσης στα Γ.Σ.Π., έγινε ευρέως

γνωστό από τον Chorley (Department of the Environment, 1989) και αποτέλεσε σημαντικό θέμα συζήτησης στο συνέδριο του Αμερικάνικου Εθνικού Κέντρου Γεωγραφικών Πληροφοριών και Ανάλυσης (NCGIA, 1989) και στην από κοινού ημερίδα της ESRC και NERC στην Αγγλία (Masser, 1990).

Η πρόοδος που παρατηρείται σήμερα στη χωρική ανάλυση με χρήση Γ.Σ.Π. είναι αξιοσημείωτη και οφείλεται σε δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, υπάρχει ένα ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον. Τα Γ.Σ.Π. έφτασαν σε ένα αξιοσημείωτο τεχνολογικό επίπεδο ενώ ταυτόχρονα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ώριμων χρηστών. Αρχικά προβλήματα στον τρόπο στησίματος των χωρικών βάσεων και στη φιλικότητα του περιβάλλοντος χρήσης των προγραμμάτων έχουν ξεπεραστεί. Το αποτέλεσμα είναι μια γενική αύξηση του ενδιαφέροντος σχετικά τις κατάλληλες μεθόδους χωρικής ανάλυσης που μπορούν να ενσωματωθούν σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. (Fotheringham and Rogerson, 1998).

Δεύτερον, υπάρχει μεγάλη δραστηριότητα γύρω από τον τρόπο που μπορούν οι μέθοδοι χωρικής ανάλυσης να ενσωματωθούν σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. (Fotheringham and Rogerson, 1998). Εταιρίες παραγωγής εφαρμογών Γ.Σ.Π. άρχισαν να ενσωματώνουν στις λειτουργίες τους μεθόδους χωρικής ανάλυσης, π.χ. τα προγράμματα της ESRI ArcView και ArcGIS τα οποία έχουν εφοδιαστεί με τα πρόσθετα εργαλεία χωρικής ανάλυσης ArcView Network Analysis για ανάλυση προβλημάτων σχετικών με δίκτυα (ESRI, 1996), ArcView Spatial Analyst, ArcGIS Spatial Analyst (McCoy και Johnston, 2001) και ArcGIS Geostatistical Analyst (Johnston, Ver Hoef και άλλοι, 2001).

3.3 Βασικά στοιχεία δικτύων

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα ενότητα εφαρμογών που αφορούν την ανάλυση και το σχεδιασμό του χώρου και η οποία μπορεί να προσεγγιστεί με τη χρήση συστημάτων διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών είναι και τα φαινόμενα ροής πόρων μέσα στους κάθε είδους αγωγούς του χώρου.

Τα προβλήματα που αφορούν την προκείμενη περίπτωση εστιάζονται στον προσδιορισμό της βέλτιστης κατάστασης λειτουργίας του πλέγματος των αγωγών

ώστε να ικανοποιήσουν μία δεδομένη συνθήκη: επιτάχυνση ή επιβράδυνση των διαδικασιών ροής, βελτίωση του τρόπου διανομής ή αποκομιδής, κλπ.

Είναι φανερό ότι η παραπάνω προβληματική παραπέμπει στη μεθοδολογική προσέγγιση της ανάλυσης και του σχεδιασμού των δικτύων, ή με άλλα λόγια στη μοντελοποίηση του χώρου με τη χρήση των οικτυακών οσμών.

Δύο είναι οι βασικοί τύποι των προβλημάτων που αφορούν τα δίκτυα (networks) (Παππάς, 1999):

1. Εύρεση βέλτιστης ή ελάχιστης κόστους διαδρομής σ' ένα σύνολο ανυσμάτων (routing),
2. Καθορισμός της ροής της χωρητικότητας, μέρους ή όλου του δικτύου, και των διαδρομών στις οποίες αυξάνεται ή μειώνεται (allocation).

Η τοπολογική απόδοση ενός δικτύου περιλαμβάνει την διαδικασία απεικόνισης ενός οποιουδήποτε συστήματος αγωγών με την πιο απλουστευμένη και βασική του μορφή.

Συνεπώς είτε αναφερόμαστε σε δίκτυο με τον κλασικό ορισμό του ως: «ένα σύστημα τεμνομένων γραμμών και διανυσμάτων» (Παππάς, 1997) είτε χρησιμοποιούμε ένα πιο κοντινό στην γεωγραφική ανάλυση ορισμό του δικτύου ως: «ενός συνόλου σημείων στο χώρο τα οποία ενώνονται με ένα σύστημα συνδέσμων που εξυπηρετούν πραγματικές ροές» (Παππάς, 1997).

Αυτόματα έχουμε να κάνουμε με ένα σύστημα το οποίο εμφανίζει μία σειρά από σύνθετα χαρακτηριστικά, τα οποία μορφοποιούνται μέσα από τα επόμενα ερωτήματα, όπως: ποια είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων στον χώρο, είναι οι σύνδεσμοι που τα συνδέουν ευθύγραμμοι ή όχι, τι είδους ποσότητες μεταφέρονται πάνω στο δίκτυο, ποιες κατευθύνσεις κίνησης επιτρέπονται και ποιες όχι, είναι η ροή συνεχής ή όχι κλπ.

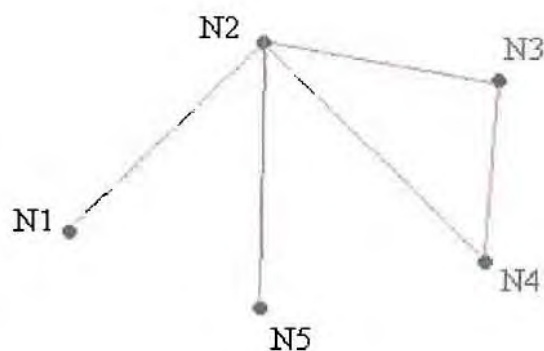
Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά του κάθε δικτύου κάνουν δύσκολη την σύγκριση μεταξύ τους, πέρα από τον απλουστευτικό εντοπισμό διαφορών και ομοιοτήτων. Για την ανάλυση των βασικών χωρικών χαρακτηριστικών ενός δικτύου, πρέπει να εξεταστεί η τοπολογική του δομή (Παππάς, 1997).

3.3.1 Τοπολογία δικτύων

Η μελέτη των δικτύων με την τοπολογική τους έννοια ουσιαστικά άρχισε από τον Euler το 1936, θεμελιώθηκε από τον Konig και επεκτάθηκε με την ανάπτυξη της θεωρίας των γραφημάτων (graph theory).

Η θεωρία των γραφημάτων (graph) χρησιμοποιείται σήμερα για την ανάλυση δικτύων κάθε είδους, με αναφορές σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους, από την γεωγραφία και την χωρική ανάλυση μέχρι την ιατρική, την γλωσσολογία ή την κοινωνιολογία (Παππάς, 1997). Αυτό εξηγεί και το γεγονός ότι χρησιμοποιείται μια ευρύτερη γκάμα ορισμών για τα διάφορα στοιχεία των δικτύων.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μητρώο συνεκτικότητας του γραφήματος στο σχήμα 1.1 στο οποίο η ύπαρξη σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων συμβολίζεται με την μονάδα 1, ενώ η απουσία σύνδεσης με το μηδέν 0, όπου N_i οι υπάρχοντες κόμβοι.



Σχήμα 3.1: Δίκτυο πέντε κόμβων

Κόμβοι	N1	N2	N3	N4	N5
N1	0	1	0	0	0
N2	1	0	1	0	1
N3	0	1	0	1	0
N4	0	0	1	0	0
N5	0	1	0	0	0

Πίνακας 3.1: Μητρώο συνεκτικότητας του δικτύου

Το μητρώο είναι συμμετρικό, και ως τούτου, ένα στοιχείο σε δεδομένη γραμμή και στήλη και το οποίο βρίσκεται στο πάνω δεξιό μισό, είναι το ίδιο στο αντίστοιχο με το κάτω αριστερό μισό μέρος του μητρώου. Τα στοιχεία κατά μήκος της διαγωνίου

είναι 0, γεγονός που μεταφράζεται στο ότι δεν υπάρχει σύνδεσμος μεταξύ του κόμβου με τον εαυτό του.

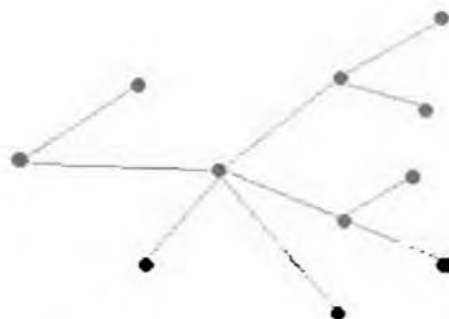
Στα προσανατολισμένα γραφήματα, δηλαδή στα γραφήματα όπου οι σύνδεσμοι είναι μίας κατεύθυνσης το μητρώο είναι ασύμμετρο. Για παράδειγμα αν ένας σύνδεσμος μεταξύ ενός κόμβου N_1 και N_4 λειτουργεί προς μία κατεύθυνση και όχι προς την άλλη, τότε θα υπάρχει 1 στη στήλη N_1 και γραμμή N_3 , αλλά στη στήλη N_3 και γραμμή N_1 θα υπάρχει 0.

Η βασική σύμβαση είναι ότι οι κινήσεις γίνονται από τους κόμβους που αναγράφονται στην αριστερή πλευρά του γραφήματος προς τους κόμβους που αναγράφονται στην κορυφή (Παππάς, 1997).

Υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες δικτύων που ενδιαφέρουν τη χωρική ανάλυση (Παππάς, 1997):

1. Τα δίκτυα με δενδρική δομή.
2. Τα δίκτυα στα οποία ορίζονται κλειστές διαδρομές ή βρόγχοι.
3. Τα δίκτυα παρεμπόδισης ή ανακοπής ροής.

Ένα δενδρικό δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο συνδέσμων χωρίς κανένα πλήρη βρόγχο. Τα δίκτυα αυτά έχουν απλή τοπολογική δομή, η οποία μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους, παρά το ότι ο όρος δενδρικά δίκτυα δεν γίνεται καθολικά δεκτός για αυτή την κατηγορία δικτύων (ως κύριο επιχείρημα αναφέρεται ότι δεν αποσαφηνίζεται η ιδιότητά τους να αποτελούν δίκτυα στα οποία ορίζεται μία μόνο κατεύθυνση κίνησης, και άρα έχουν κόμβους εισόδου ή εισροής και κόμβους εξόδου ή εκροής).



Σχήμα 3.2: δενδρικό δίκτυο

Οι βασικές ιδιότητες αυτών των δικτύων μπορούν να περιγραφούν από της παρακάτω απλές σχέσεις:

$$E = V_{brt} - 1 \quad E = 2V_t - 1 \quad [3.1],$$

$$V_b + V_r = V_t \quad [3.2],$$

όπου

E : ο αριθμός των κλάδων (συνδέσμων) του δικτύου

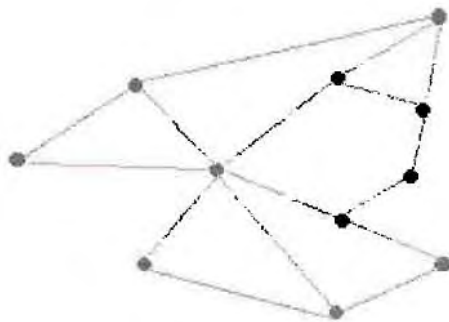
V_b : ο αριθμός των ενδιάμεσων κόμβων διακλάδωσης

V_r : ο αριθμός των κόμβων εισροής (εισόδου)

V_t : ο αριθμός των κόμβων εκροής (εξόδου)

Μια δεύτερη μεγάλη κατηγορία αποτελούν τα δίκτυα στα οποία ορίζονται κλειστές διαδρομές ή βρόγχοι.

Τέτοιου τύπου δίκτυα είναι εξαιρετικά συνηθισμένα στην γεωγραφία και την χωρική ανάλυση, αποτελούν δε, εξαιρετικά δυναμική μορφή για τη μελέτη των φαινομένων χωρικής αλληλεξάρτησης.



Σχήμα 3.3: δίκτυο με κλειστές διαδρομές ή βρόγχους

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τους είναι (Παππάς, 1997):

$$\text{Η διάμετρος} = \max (d_{ij}) \quad [3.3],$$

$$\text{ο δείκτης προσπελασιμότητας} = \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad [3.4],$$

$$\text{ο δείκτης διασποράς} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad [3.5],$$

όπου d_{ij} η απόσταση του κόμβου i από κόμβο j .

Μια βασική διάκριση μεταξύ των δικτύων αυτής της κατηγορίας αφορά την τοποθέτηση των κόμβων τους σε επίπεδο ή όχι. Στην πρώτη περίπτωση (plane network), όλοι οι κόμβοι του δικτύου είναι στο ίδιο επίπεδο, άρα είναι δυνατή η μετακίνηση μέσω του κόμβου από ένα σύνδεσμο σε οποιοδήποτε άλλο, εφ' όσον δεν υπάρχουν περιορισμοί κατεύθυνσης ενώ στη δεύτερη υπάρχουν και ψευδοκόμβοι που δεν επιτρέπουν την μεταπήδηση σε άλλο σύνδεσμο (αεροπορικά δίκτυα, ανισόπεδοι κόμβοι σε οδικά συστήματα κλπ.) (Παπιάς, 1997).

Τέλος, μια τρίτη κατηγορία δικτύων αποτελούν τα δίκτυα παρεμπόδισης (ή ανακοπής) ροής (barrier networks), τα οποία διαφέρουν σαφώς από της προηγούμενες κατηγορίες κατά το ότι, ενώ τα δενδρικά ή βρογχικά δίκτυα επιτρέπουν ροή, τα δίκτυα ανακοπής ορίζονται ακριβώς σαν γραμμές στον χώρο οι οποίες αποτελούν εμπόδια ή γραμμές διακοπής της ροής (σύνορα, ακτογραμμή, κ.λπ.).

3.4 Δυνατότητες ενός Γ.Σ.Π.

Η πιο σημαντική δυνατότητα ενός Γ.Σ.Π. είναι η χωρική πρόσβαση στην πληροφορία που το κάνει να διαφέρει από κάθε άλλο σύστημα στατιστικών εφαρμογών. Κάθε σύστημα στατιστικών πληροφοριών μπορεί να έχει μόνο μη χωρική πρόσβαση στην πληροφορία σε αντίθεση με το Γ.Σ.Π. που μπορεί να έχει και χωρική πρόσβαση στην πληροφορία.

Οι δυνατότητες που παρέχει ένα Γ.Σ.Π. είναι η δυνατότητα επεξεργασίας των στοιχείων εισαγωγής, στατιστική ανάλυση, επιλεκτική αναζήτηση στοιχείων κλπ. Η αναζήτηση στοιχείων μπορεί να γίνει είτε με βάση την ίδια τη βάση δεδομένων είτε με βάση τη χωρική πληροφορία των δεδομένων που αναζητούμε, παρέχονται όλες οι βασικές στατιστικές τεχνικές ανάλυσης ενώ υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας και ενημέρωσης των στοιχείων εισαγωγής.

Επιπλέον, παρέχει την δυνατότητα παραγωγής θεματικών χαρτών. Χρησιμοποιώντας ένα Γ.Σ.Π. μπορεί να παραχθεί ένας οποιοσδήποτε θεματικός χάρτης, αρκεί να εκμεταλλευτεί κανείς την χωρική πρόσβαση της πληροφορίας και να υπάρχει η ποιοτική πληροφορία στις βάσεις δεδομένων σωστά κωδικοποιημένη. Οι δυνατότητες κατηγοριοποίησης των δεδομένων και η γραφική τους απεικόνιση είναι δυνατοί με όλους τους τρόπους κατηγοριοποίησης όπως ίσα διαστήματα (equal interval), με βάση την τυπική απόκλιση (standard deviation), φυσικά χωρίσματα

(natural breaks, Jenks). Η μέθοδος κατηγοριοποίησης που χρησιμοποιήθηκε παρακάτω (5ο κεφάλαιο) είναι αυτή των φυσικών χωρισμάτων. Με βάση την μέθοδο αυτή το χαρακτηριστικό με το οποίο διαιρούνται τα στοιχεία σε κατηγορίες είναι τα σχετικά μεγάλα άλματα στις τιμές τους. Όπου υπάρχουν οριοθετείται και μια κατηγορία.

Τέλος, η παραγωγή ενός νέου χάρτη και η δυνατότητα επίθεσης χαρτών αποτελούν επιπλέον δυνατότητες ενός Γ.Σ.Π. Κατά την διαδικασία αυτή παρέχει την δυνατότητα να γίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί πράξεων των συνόλων σε δύο ψηφιακούς χάρτες όπως τομή (intersection) και ένωση (union).

3.5 Γεωκωδικοποίηση (Geocoding)

Πολλοί οργανισμοί, υπηρεσίες κλπ. Διατηρούν αρχείο με βασική αναφορά την διεύθυνση κατοικίας ή δραστηριότητας, ή την θέση συμβάντων, μια γεωγραφική δηλαδή αναφορά που είναι σαφώς χωρικά προσδιορισμένη.

Η χωρική συσχέτιση είναι η διαδικασία σύνδεσης βάσεων δεδομένων που περιέχουν συμβάντα στοιχεία θέσης (διεύθυνση, χιλιομετρική θέση, κλπ.) με στοιχεία του χάρτη (σημεία, τόξα, πολύγωνα). Η σύνδεση αυτή επιτρέπει την μετατροπή των γεωγραφικών συντεταγμένων θέσης σε συμβατική αναφορά. Είναι δηλαδή δυνατός ο εντοπισμός συγκεκριμένης διεύθυνσης πάνω στον χάρτη.

Τα δεδομένα που αναφέρονται στην συγκεκριμένη θέση είναι στη συνέχεια δυνατόν να συσχετιστούν με άλλες πληροφορίες που το λογισμικό Γ.Σ.Π. διαχειρίζεται σε άλλες βάσεις.

Τα στοιχεία διεύθυνσης δομούνται ώστε να συμπεριλάβουν όλα τα στοιχεία διεύθυνσης (αριθμό, οδό, περιοχή, κλπ.) και μπορούν να εκφραστούν σε οποιαδήποτε μορφή. Έτσι ένα κτίριο χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ ένα τμήμα του οδικού δικτύου από ένα εύρος διευθύνσεων.

3.6 Μελλοντική χρήση εργαλείων χωρικής ανάλυσης σε σχέση με τα Γ.Σ.Π.

Ένα δύσκολο θέμα συζήτησης σχετικό με την ενσωμάτωση εργαλείων χωρικής ανάλυσης στα Γ.Σ.Π. είναι ο ακριβής καθορισμός του τι ακριβώς θεωρείται χωρική ανάλυση (Fotheringham and Rogerson, 1998). Το πρόβλημα ξεκινάει από το γεγονός ότι από την φύση τους τα Γ.Σ.Π. χρησιμεύουν σε πολλά, διαφορετικά μεταξύ τους επιστημονικά πεδία και κάθε πεδίο έχει αναπτύξει την δικιά του τεχνολογία και μεθοδολογία για τη χωρική ανάλυση. Με βάση το γεγονός αυτό είναι δύσκολος ο περαιτέρω ορισμός της χωρικής ανάλυσης από τον παρακάτω: "χωρική ανάλυση είναι η γενική ικανότητα χειρισμού των χωρικών πληροφοριών με διάφορες μορφές και η εξαγωγή συμπερασμάτων" (Fotheringham and Rogerson, 1998).

Στόχος της ενσωμάτωσης των μεθόδων χωρικής ανάλυσης στα Γ.Σ.Π. πρέπει να είναι ο καθορισμός των υπαρχόντων τεχνικών χωρικής ανάλυσης που μπορούν να ενσωματωθούν στα Γ.Σ.Π. ((Miller and Wantz, 2003).

Οι επιλεγόμενες τεχνικές θα πρέπει να καλύπτουν το εύρος των κοινών αναλυτικών προβλημάτων, να είναι σοφά δομημένες έτσι ώστε να ευνοηθούν από την ικανότητα της καλύτερης χωρικής παρουσίασης που προσφέρουν τα Γ.Σ.Π., οφείλουν να είναι φιλικές στην χρήση για όλα τα επιστημονικά πεδία, να διαθέτουν υπολογιστικές δυνατότητες, να έχουν γραφικό χαρακτήρα και τέλος να διαιρούνται σε σχετικές ομάδες οι οποίες κάθε μια να σχετίζεται με τα Γ.Σ.Π. (Fotheringham and Rogerson, 1998).

Οι τεχνικές χωρικής ανάλυσης που ανταποκρίνονται στα παραπάνω παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3.1). Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων χωρικής ανάλυσης έγινε με κριτήριο τη δομή των δεδομένων που αναφέρονται: σε χωρικά δεδομένα (locational data), ταξινομημένα δεδομένα (attribute data) ή αλληλεπιδρόμενα δεδομένα (interaction data) και με βάση το αν αναφέρονται σε μία ή πολλές μεταβλητές.

Τα χωρικά δεδομένα (locational data) αποτελούνται από καθαρά δεδομένα θέσης όπου ένα γεγονός συμβαίνει. Ένα τυπικό παράδειγμα μπορεί να είναι ο χώρος που εκδηλώνεται μια ασθένεια στην περιοχή μελέτης (Fotheringham and Rogerson, 1998).

Τα ταξινομημένα δεδομένα (attribute data) αποτελούνται από μεταβλητές ή πίνακες που σχετίζονται με μια ομάδα από τοποθεσίες, τοποθεσίες που μπορούν να είναι σημεία ή πολύγωνα, παράδειγμα οι ιδιοκτησίες γης ενός ιδιοκτήτη σε μια περιοχή (Fotheringham and Rogerson, 1998).

Δομή δεδομένων	Dimensionality	
	Μια μεταβλητή	Πολλές μεταβλητές
Χωρικά δεδομένα	Απόσταση από γειτονικό σημείο Μέθοδος K-Functions	Διμεταβλητή K Functions χωροχρονική αλληλεπίδραση
	Εκτίμηση πυκνότητας πυρήνων Παλινδρόμηση πυρήνων Μπεϋζιανή εξομάλυνση - ICM	
Ταξινομημένα δεδομένα	Χωρική αυτοσυσχέτιση Χωρικά κορελογράμματα Βαριογάρμματα	Πολυμεταβλητός χωρικός συσχετισμός
	Ανάλυση επιφάνειας τάσης Kriging	Χωρική οπισθοδρόμηση Co-Kriging
		Χωροχρονικά πρότυπα
		Χωρική γενική γραμμική διαμόρφωση
		Ανάλυση συστάδων Κανονικός συσχετισμός Multidimensional Scaling
Αλληλεπιδρόμενα δεδομένα	Χωρικές μέθοδοι αλληλεπίδρασης	Αυξημένα χωρικά πρότυπα αλληλεπίδρασης

Πίνακας 3.2: Τεχνικές χωρικής ανάλυσης

Τα αλληλεπιδρόμενα δεδομένα αποτελούνται από ποσοτικές μετρήσεις κάθε μια από τις οποίες σχετίζονται με ένα ζεύγος από σημεία (συνήθως είναι δύο σημεία αλλά μπορεί να είναι και περισσότερα). Τυπικό παράδειγμα αποτελεί η ροή καταναλωτών από τον τόπο κατοικίας τους στους χώρους πώλησης αγαθών (Fotheringham and Rogerson, 1998).

Τέλος, η κατηγοριοποίηση αναφορικά με το αν αναφέρονται σε μία ή πολλές μεταβλητές γίνεται για να δοθεί έμφαση στην διαφορά μεταξύ της περίπτωσης όπου ένα μόνο υπόδειγμα εξετάζεται (univariate) και της περίπτωσης όπου περισσότερα από ένα υποδείγματα εμπλέκονται (multivariate) (Fotheringham and Rogerson, 1998).

3.7 Ο ρόλος της χωρικής ανάλυσης και των Γ.Σ.Π. στην διαδικασία λήψεων αποφάσεων.

Η χωρική ανάλυση και τα Γ.Σ.Π. μπορούν αν παίξουν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία λήψεων αποφάσεων, αποφάσεων μιας ιδιωτικής ή δημόσιας επιχείρησης π.χ. η επιλογή του τόπου εγκατάστασης μιας επιχείρησης ή η ανάγκη επέκτασης ενός δικτύου κοινής ωφέλειας, πολιτικών αποφάσεων π.χ. η λήψη απόφασης για την δημιουργία ενός αεροδρομίου, οργάνωσης π.χ. εθνικό κτηματολόγιο, ανάπτυξης π.χ. εύρεση ορυκτών πόρων, πετρελαίου και αερίου κτλ.

Τα πλεονεκτήματα της μελλοντικής χρήσης των Γ.Σ.Π. σε συνδυασμό με την χωρική ανάλυση στην διαδικασία λήψεων αποφάσεων μπορούμε με βάση τον Les Worrall (Les Worrall, 1991) να τα συνοψίσουμε ως εξής:

1. Αποτελεσματικότερη παρακολούθηση των δημογραφικών, κοινωνικών, οικονομικών, οικολογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων και αλλαγών.
2. Καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας των αλλαγών και της αλληλεξάρτησης μεταβλητών ενός συστήματος.
3. Ακριβέστερη πρόβλεψη των αλλαγών και των τάσεων για την σωστότερη παροχή κοινωνικής υποδομής όπως σχολεία, κατοικίες, τηλεπικοινωνίες, συστήματα μεταφορών, δίκτυα κοινής ωφέλειας κτλ.
4. Ακριβέστερη αναγνώριση των χωρικών δεδομένων διαβίωσης για την ανάπτυξη μιας καλύτερης κοινωνικής κρατικής πολιτικής και την καλύτερη διανομή και απορρόφηση των πόρων.
5. Ακριβέστερος προσδιορισμός της αγοράς για την προώθηση υποδομών και αύξηση του τοπικού εισοδήματος.
6. Αποτελεσματικότερος σχεδιασμός των υποδομών λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση και προβλέποντας την μελλοντική τάση, θέτοντας έτσι σωστότερες προτεραιότητες για την κατανομή των πόρων.
7. Βελτίωση της ποιότητας διαχείρισης έργων αναπτύσσοντας αποτελεσματικότερες και οικονομικότερες προσεγγίσεις.



8. Βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων αναπτύσσοντας ένα ακριβέστερο σύστημα καταγραφής και διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων.
9. Βελτίωση των θεσμικών διαδικασιών σχεδιασμού με την ανάπτυξη της ιδέας του μοντέλου και της προσομοίωσης εναλλακτικών σεναρίων και την ανάπτυξη τεχνικών καλύτερης επιλογής σεναρίου.
10. Βελτίωση της διαδικασίας λήψεων αποφάσεων με την ανάπτυξη καλύτερων μεθόδων εκτίμησης και ανάλυσης των πολιτικών και των προγραμμάτων.

Όπως γίνεται κατανοητό η παραπάνω λίστα με τα πλεονεκτήματα δεν είναι εξαντλητική, αλλά δίνεται μια γενική εικόνα των πλεονεκτημάτων της χρήσης της χωρικής ανάλυσης σε συνδυασμό με τα Γ.Σ.Π.

Εφαρμογή: Χωρική ανάλυση δικτύου κοινής ωφέλειας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

Στα επόμενα δύο κεφάλαια (4^ο και 5^ο κεφάλαιο) ακολουθεί το παράδειγμα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας χωρικής ανάλυσης με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών του δικτύου κοινής ωφέλειας του δήμου Πτολεμαΐδας. Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο προς εξέταση δίκτυο κοινής ωφέλειας, ενώ στο 5^ο κεφάλαιο η καθαρά καθατού χωρική ανάλυση του δικτύου κοινής ωφέλειας τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας.

4. Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας

Η πρώτη ίσως ιδέα, για την εγκατάσταση συστήματος περιφερειακής θέρμανσης στην πόλη της Πτολεμαΐδας, οφείλεται στον επιχειρηματία της περιοχής κ. Παπουλίδη ο οποίος το έτος '74 άρχισε να σκέπτεται και να μελετά ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης για την Πτολεμαΐδα. Με τον όρο τηλεθέρμανση εννοούμε την παροχή θερμικής ενέργειας σε μια ομάδα κτιρίων ή σε μια ολόκληρη πόλη. Η τότε μελέτη πρόβλεπε σε παραγωγή με ανεξάρτητο λέβητα, αλλά το όλο εγχείρημα σκόνταψε στην σοβαρή πετρελαϊκή κρίση της εποχής. Μια άλλη προσπάθεια που ξεκίνησε το έτος 1977, από τον τότε Νομάρχη Κοζάνης κ. Θεοδοσίου και στηρίχθηκε από τον τότε Υπουργό Βιομηχανίας και Ενέργειας Μ. Έβερτ δεν μπόρεσε να προχωρήσει επειδή η Δ.Ε.Η. πρόβαλε ισχυρή αντίδραση.

4.1 Εισαγωγή – Γενικά

Η ουσιαστική αντιμετώπιση του έργου τηλεθέρμανσης της Πτολεμαΐδας από τον ομώνυμο ατμοηλεκτρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. έγινε το έτος 1984, όταν ομάδα εργασίας από τη Δ.Ε.Η. και την Ε.Τ.Β.Α. εκπόνησε προμελέτη σκοπιμότητας από την οποία αναδείχθηκε η οικονομική σκοπιμότητα και τεχνική εφικτότητα του έργου.

Το έτος 1987 με πρωτοβουλία της Ε.Τ.Β.Α. και του Δήμου Πτολεμαΐδας, προτάθηκε και εγκρίθηκε από το πρόγραμμα VAL OREN δωρεάν χρηματοδότηση για την υλοποίηση του έργου ύψους 1.100 εκατομμυρίων δραχμών (συμμετοχή στο ύψος της επένδυσης κατά 47%).

Με σύμβαση που υπογράφηκε το 1988 ανάμεσα στη Νομαρχία Κοζάνης, Ε.Τ.Β.Α. και Δήμο Πτολεμαΐδας ανατέθηκε στην ΑΝ.ΚΟ.Α.Ε. (Αναπτυξιακή Εταιρεία Κοζάνης) η εκπόνηση οριστικής μελέτης του έργου. Η όλη μελέτη έχει δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος περιέχει την προκαταρκτική μελέτη για την ανάδειξη της συμφερότερης λύσης. Το δεύτερο σκέλος περιλάμβανε τη μελέτη του αγωγού μεταφοράς, τη μελέτη των αντλιοστασίων μεταφοράς και διανομής και τη μελέτη του δικτύου διανομής.

4.2 Σύντομη περιγραφή τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας

Στη συνέχεια δίνεται μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων μεταφοράς και διανομής στην πόλη της Πτολεμαΐδας ενώ δεν θα αναφερθούμε στο σύστημα παραγωγής που αφορά αποκλειστική αρμοδιότητα της Δ.Ε.Η.

Σε μια πολύ απλουστευμένη μορφή το σύστημα τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας δίνεται στο σχήμα 4.1.

Η θερμική ενέργεια που παράγεται στις κύριες ή εφεδρικές εγκαταστάσεις παραγωγής μεταφέρεται από τον αρχικό φορέα, που είναι ατμός, στο φορέα μεταφοράς που είναι υπέρθερμο νερό. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής βρίσκονται στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας της Δ.Ε.Η.

Ο αγωγός μεταφοράς είναι διπλός χαλύβδινος μονωμένος αγωγός διαμέτρου Φ400 το ένα σκέλος, το οποίο μεταφέρει το υπέρθερμο νερό από το αντλιοστάσιο αποστολής (που βρίσκεται στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας) μέχρι το αντλιοστάσιο διανομής (στην είσοδο της πόλης της Πτολεμαΐδας) και το άλλο σκέλος επιστρέφει για επαναθέρμανση το νερό στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας αφού πρώτα απέδωσε στην πόλη το θερμικό του φορτίο.

4.2.1 Αντλιοστάσια

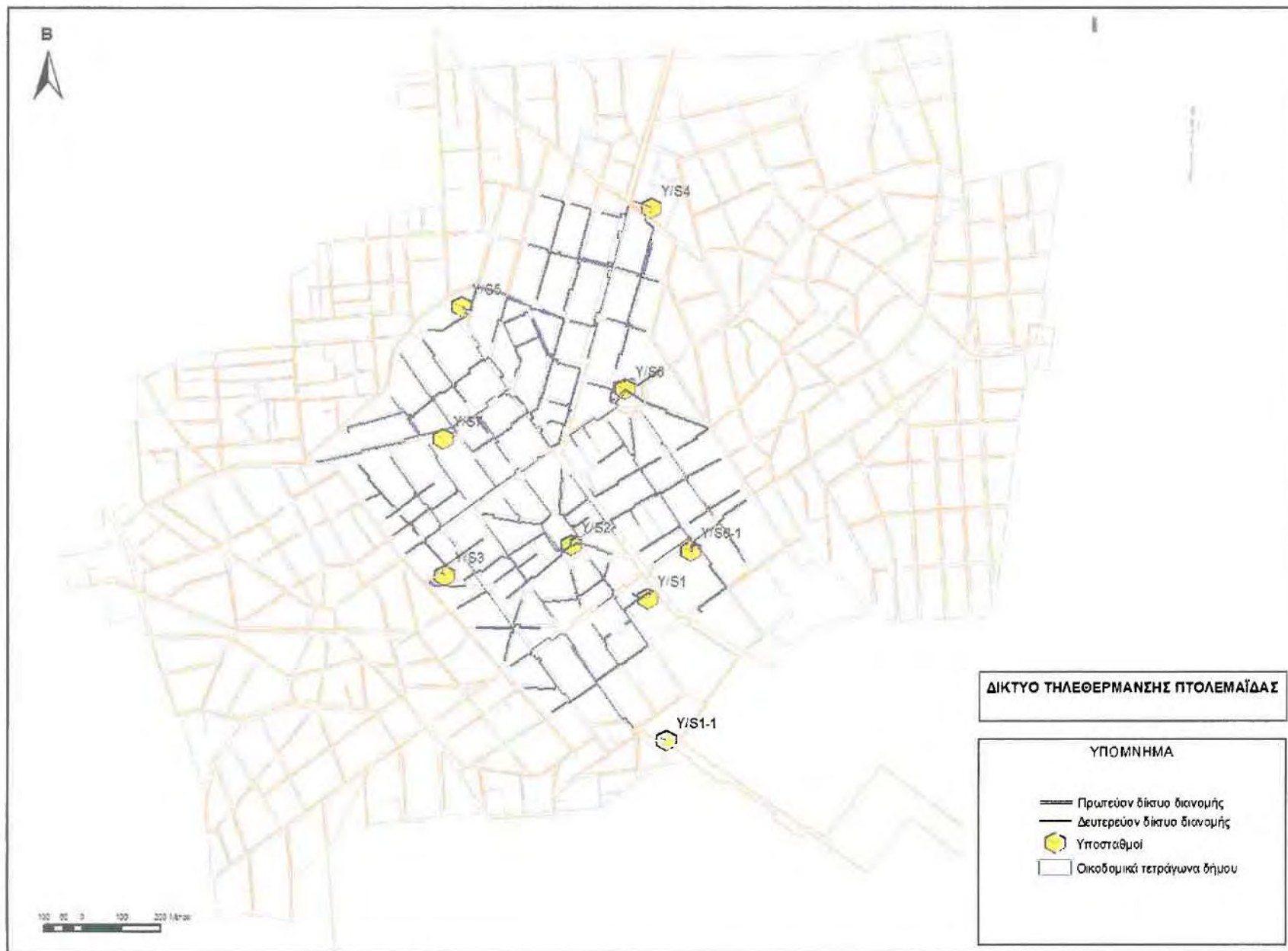
Η κίνηση του υπέρθερμου νερού στο κύκλωμα ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, γραμμή αποστολής, δίκτυο διανομής, γραμμή επιστροφής στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας επιτυγχάνεται με αντλιοστάσια τα οποία καλύπτουν τις απώλειες διανομής και μεταφοράς. Κάθε αντλιοστάσιο αποτελείται από τρεις αντλίες εκ των οποίων οι δύο καλύπτουν την ονομαστική ζήτηση και η τρίτη παραμένει εφεδρική.

Για λειτουργία του συστήματος υπό πλήρες φορτίο (60Gcal/h) όλα τα αντλιοστάσια λειτουργούν στο ονομαστικό φορτίο (δύο αντλίες σε λειτουργία για κάθε αντλιοστάσιο). Για ενδιάμεσα ή και πολύ χαμηλά φορτία δεν είναι απαραίτητη η λειτουργία όλων των αντλιοστασίων και τα αντλιοστάσια που λειτουργούν μπορούν να βρίσκονται σε λειτουργία με μία μόνον αντλία.

Κύριο κριτήριο ρύθμισης των δικτύων μεταφοράς – διανομής είναι η εξασφάλιση σε κάθε σημείο του δικτύου διανομής μιας ελάχιστης διαφορικής πίεσης ανάμεσα στον αγωγό προσαγωγής και επιστροφής ώστε να διασφαλίζεται η κυκλοφορία του νερού στους εναλλάκτες των καταναλωτών. Βασικό αντλιοστάσιο ρύθμισης είναι το αντλιοστάσιο διανομής στην είσοδο της πόλης, του οποίου οι αντλίες έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της παροχής με συνεχή ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής τους.

Ακολούθως, εάν η διασφάλιση της διαφορικής πίεσης στο δίκτυο διανομής απαιτεί ενίσχυση, πριν εξαντληθεί η ικανότητα παροχής της αντλίας που λειτουργεί, τίθεται σε λειτουργία μια ακόμα αντλία σε ένα από τα άλλα αντλιοστάσια. Όταν η παροχή φτάσει την ονομαστική τιμή παροχής της μια αντλίας, στα αντλιοστάσια που λειτουργούν, τίθεται σε λειτουργία και η δεύτερη αντλία ενώ στις ανάγκες ρύθμισης πραγματοποιείται με κατάλληλη λειτουργία των αντλιών σε ρυθμιζόμενες στροφές.

Ένα δεύτερο μέγεθος που ελέγχεται επίσης και ρυθμίζεται είναι η απόλυτη πίεση του νερού η οποία σε κανένα σημείου του συστήματος, δεν πρέπει να πέσει σε τιμή μικρότερη της πίεσης βρασμού του νερού στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Η πίεση αυτή ελέγχεται στα αντλιοστάσια με τις αντλίες διατηρήσεως πίεσεως.



Χάρτης 4.1: Δίκτυο τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας

4.2.2 Αγωγός μεταφοράς

Η όδευση των αγωγών από τον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας μέχρι και την περιοχή αμμοληψίας, περίπου 200m πριν την διασταύρωση προς Προάστιο, είναι υπαίθρια.

Από το σημείο αμμοληψίας και μέχρι το αντλιοστάσιο στην είσοδο της πόλης, οι αγωγοί οδεύουν υπόγεια, σε κανάλι από μπετόν διατομής 1700 x 800 mm.

Η υπόγεια όδευση σ' αυτό το τμήμα επιλέχθηκε για να αποφευχθούν σοβαρές καθυστερήσεις στην εκτέλεση του έργου από προβλήματα απαλλοτριώσεων. Η όδευση του αγωγού είναι παράλληλη προς τον άξονα της εθνικής οδού Πτολεμαΐδας – Κοζάνης και μέσα στη ζώνη των 40 μέτρων από τον άξονα του δρόμου. Η όδευση του αγωγού μεταφοράς μέσα στη ζώνη των 40 μέτρων οδήγησε στην επιλογή της υπόγεια λύσης γιατί κατά μήκος αυτής της υφιστάμενες εγκαταστάσεις και προσπελάσεις καθιστούν αδύνατη την επιφανειακή όδευση.

Η θερμομόνωση επιτυγχάνεται με πάπλωμα υαλοβάμβακα. Στο υπαίθριο τμήμα η προστασία της μόνωσης πραγματοποιείται με επικάλυψη από γαλβανισμένη λαμαρίνα, ενώ στο υπόγειο τμήμα με ασφαλτόπανο.

Στο υπαίθριο τμήμα η στήριξη των αγωγών γίνεται σε βάσεις από μπετόν, υπερυψωμένες από το έδαφος 0,4 m. Στο υπόγειο τμήμα οι αγωγοί στηρίζονται σε κατάλληλα διαμορφωμένες βάσεις. Οι αποστάσεις μεταξύ των βάσεων είναι περίπου 9 m.

Επειδή οι αγωγοί υπόκεινται σε θερμοκρασίες διάφορες μέχρι και 120° C, η διαστολή τους απορροφάται από διαστολικά μορφής U. Μεταξύ των διαστηλικών υπάρχουν σημεία πάκτωσης των αγωγών, για την απορρόφηση των εξωτερικών δυνάμεων που επιδρούν στους αγωγούς (δυνάμεις τριβής, αντίδρασης διαστολικών κλπ).

Στα ψηλότερα τμήματα του αγωγού έχουν τοποθετηθεί εξαεριστικά, ενώ στα χαμηλότερα σημεία εκκενωτικά, για να επιτυγχάνεται ο εξαερισμός του δικτύου κατά την πλήρωσή του καθώς και να υπάρχει η δυνατότητα εκκένωσής του.

Το κανάλι κατασκευάστηκε με κατάλληλες κλίσεις, έτσι ώστε τα νερά που συγκεντρώνονται σ' αυτό να απομακρύνονται γρήγορα σε αποχέτευση. Οι διαβάσεις των δρόμων που συναντούν οι αγωγοί στο πέρασμά τους είναι υπόγειες ενώ σε ρέματα είναι υπέργειες με κατάλληλες σιδηροκατασκευές.

Για την προστασία του αγωγού έναντι διάβρωσης χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές λύσεις που αφορούν στην εξωτερική και εσωτερική προστασία του αγωγού. Η εξωτερική προστασία των αγωγών έναντι διάβρωσης που προέρχεται από επίδραση ατμοσφαιρικών ή άλλων τυχαίων παραγόντων, κατορθώνεται με κατάλληλη αντιδιαβρωτική βαφή. Η εξωτερική προστασία του αγωγού έναντι ηλεκτροχημικής διάβρωσης, με εγκατάσταση καθοδικής προστασίας (ενεργητικής ή και παθητικής). Η εσωτερική προστασία του αγωγού, τόσο έναντι διάβρωσης, όσο και έναντι επικαθίσεων, επιτυγχάνεται με χρήση νερού κατάλληλης ποιότητας και χημική κατεργασία του νερού αυτού με προσαρμοσμένη στις αντίστοιχες φάσεις λειτουργίας (χειμερινή λειτουργία και θερινή συντήρηση).

4.2.3 Δίκτυο διανομής

Το δίκτυο διανομής παραλαμβάνει από το αντλιοστάσιο το υπέρθερμο νερό, το μεταφέρει στους επιμέρους καταναλωτές, το συλλέγει από την έξοδο κάθε καταναλωτή και το οδηγεί ξανά στο αντλιοστάσιο για να επιστρέψει στον ΑΗΣ Πτολεμαΐδας για επαναθέρμανση.

Ο κάθε κλάδος του δικτύου αποτελείται από δύο παράλληλα οδεύοντες προμονωμένους χαλύβδινους αγωγούς που διακλαδίζονται στο σύνολο της πόλης. Στο δίκτυο διανομής μέσω ειδικού φρεατίου σύνδεσης συνδέονται οι επιμέρους υποσταθμοί ζεύξης των καταναλωτών.

Το δίκτυο διανομής χωρίζεται σε τρεις ζώνες ανάλογα με την χρονολογική προτεραιότητα κατασκευής τους και ανάλογα με την σημερινή πυκνότητα ζήτησης φορτίων. Η πρώτη ζώνη Α που έχει κατασκευαστεί στην πρώτη φάση του έργου έχει την υψηλότερη πυκνότητα ζήτησης θερμικής ενέργειας. Η δεύτερη ζώνη Β και η τρίτη ζώνη Γ είναι στις λιγότερο πυκνοδομημένες περιοχές της πόλης και στην τελική επέκταση του δικτύου αντίστοιχα.

Η εσωτερική προστασία των αγωγών του δικτύου διανομής επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επεξεργασία του νερού, όπως και για το δίκτυο μεταφοράς, ενώ η εξωτερική προστασία του αγωγού και της μόνωσης από εσωτερική διαρροή ή εισροή υδάτων, επιτυγχάνεται με ειδικό σύστημα σήμανσης για εμφάνιση υγρασίας. Το σύστημα σήμανσης για εμφάνιση υγρασίας, ειδοποιεί έγκαιρα για εμφάνιση υγρασίας στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού ή στην μόνωση και εντοπίζει τη θέση ανωμαλίας.

Το δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας αποτελείται από δύο τύπους δικτύων διανομής προς τους καταναλωτές, το άμεσο (πρωτεύον) και το έμμεσο (δευτερεύον). Το άμεσο δίκτυο διανομής είναι εγκαταστημένο στην Β' και Γ' ζώνη (ανατολικά και δυτικά της πόλης αντίστοιχα) ενώ το έμμεσο, το οποίο εγκαταστάθηκε πρώτο, είναι εγκαταστημένο στην Α' ζώνη (κέντρο της πόλης). Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων δικτύων είναι ότι στο άμεσο δίκτυο οι καταναλωτές συνδέονται απευθείας στον αγωγό και υπάρχει θερμικός υποσταθμός καταναλωτή σε κάθε σύνδεση, ενώ στο έμμεσο δίκτυο δεν υπάρχει. Στο έμμεσο δίκτυο τον ρόλο του θερμικού υποσταθμού παίζουν τα αντλιοστάσια – υποσταθμοί, οι οποίοι διοχετεύουν το νερό στον καταναλωτή μέσω ενός δεύτερου μικρότερου σε πίεση και διατομή δικτύου. Κάθε αντλιοστάσιο – υποσταθμός έχει το δικό του τέτοιο δίκτυο, υπάρχουν οκτώ τέτοιοι σχηματισμοί.

Με τον όρο θερμικός υποσταθμός καταναλωτή χαρακτηρίζεται η διάταξη σύνδεσης του καταναλωτή στο δίκτυο τηλεθέρμανσης (πρωτεύον) μέχρι και οι αγωγοί προσαγωγής και επιστροφής του θερμού νερού (για θέρμανση ή χρήση) της εσωτερικής εγκατάστασης του καταναλωτή (δευτερεύον).

Ο ρόλος του θερμικού υποσταθμού καταναλωτή δεν είναι απλά να μεταφέρει την θερμότητα, μέσω του εναλλάκτη, από το δίκτυο της τηλεθέρμανσης στο εσωτερικό δίκτυο του καταναλωτή, αλλά και να μεταφέρει πάντα τη θερμότητα που ακριβώς απαιτείται για τη θέρμανση χώρων ή παροχή θερμού νερού χρήσης, προσαρμόζοντας, με κατάλληλες ρυθμιστικές διατάξεις, την παροχή θερμότητας στη ζήτηση του καταναλωτή, καθώς επίσης και να καταγράφει το ποσό της παρεχόμενης θερμότητας με κατάλληλη μετρητική διάταξη (μέτρηση θερμότητας). Ο υποσταθμός διαχωρίζει, επίσης, το ρευστό του πρωτεύοντος κυκλώματος (δίκτυο τηλεθέρμανσης) από το ρευστό του δευτερεύοντος (εσωτερικής εγκατάστασης καταναλωτή).

4.2.4 Καταναλωτές

Διακρίνουμε δύο τρόπους σύνδεσης καταναλωτών στο δίκτυο:

- Άμεση σύνδεση
- Έμμεση σύνδεση

Στην άμεση σύνδεση οι επιμέρους καταναλωτές αποτελούν ενιαίο τμήμα με το δίκτυο διανομής της θερμικής ενέργειας.

Στην άμεση σύνδεση των καταναλωτών με το δίκτυο διανομής είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μειωτών πίεσης (θερμικός υποσταθμός καταναλωτή) για την αποφυγή εμφάνισης μεγάλων υπερπίεσεων στο δίκτυο κεντρικής θέρμανσης του καταναλωτή.

Το βασικότερο μειονέκτημα της άμεσης σύνδεσης είναι η πιθανή δημιουργία κινδύνων από την πιθανή υπερπίεση στο δίκτυο του καταναλωτή παρ' όλη την τοποθέτηση μειωτών πίεσης. Επίσης αυξάνονται και οι απαιτήσεις σε θερμικά απαεριωμένο νερό εξαιτίας των διαρροών λόγω των εξαερώσεων των θερμαντικών σωμάτων. Ακόμη σε ένα αμιγώς άμεσο σύστημα σύνδεσης δεν υπάρχει η δυνατότητα εγκαταστάσεως θερμού νερού χρήσης εκτός βέβαια και αν τοποθετηθεί εναλλάκτης.

Το έμμεσο σύστημα συνίσταται στις περιπτώσεις που οι καταναλωτές έχουν ήδη εγκατεστημένη κεντρική θέρμανση και έτσι δεν απαιτείται η αγορά κυκλοφορητών για την κυκλοφορία του νερού του δευτερεύοντος κυκλώματος του εναλλάκτη.

Κατά συνέπεια κατά την εφαρμογή της τηλεθέρμανσης σε πόλεις ή οικισμούς με υπάρχουσες εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης το έμμεσο σύστημα σύνδεσης είναι πιο οικονομικό από το άμεσο.

Η έμμεση σύνδεση καταναλωτών προσφέρεται για εγκατάσταση θερμού νερού χρήσης με τη σύνδεση στο δίκτυο διανομής μέσω ενός δεύτερου εναλλάκτη (αν βέβαια η οικοδομή διαθέτει κεντρική εγκατάσταση θερμού νερού χρήσης).

Μία άλλη μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η χρησιμοποίηση μεγάλων υποσταθμών διανομής που εξυπηρετούν ομάδες καταναλωτών.

Έτσι για παράδειγμα σε δίκτυα διανομής υψηλών θερμοκρασιών δημιουργούνται δευτερεύοντα δίκτυα χαμηλότερων θερμοκρασιών που εξυπηρετούν καταναλωτές άμεσα συνδεδεμένους σ' αυτά.

4.3 Οικονομικά στοιχεία – επιπτώσεις

Η συνολική επένδυση έφτασε τα 3.300 εκατομμύρια δραχμές και η κατανομή της στο χρόνο δίνεται στον πίνακα 4.1. Από την οικονομική ανάλυση φαίνεται καθαρά ότι η επιχείρηση τηλεθέρμανσης στην Πτολεμαίδα είναι απόλυτα βιώσιμη και κερδοφόρα. Τα ετήσια κέρδη από τον τρίτο χρόνο λειτουργίας ανέρχονται σε 131,5 εκατομμύρια δραχμές για να φτάσουν τον τελευταίο χρόνο λειτουργίας σε 470,2 εκατομμύρια δραχμές.

Η καθαρή ταμιακή θέση της επιχείρησης είναι θετική από τον δεύτερο χρόνο με πλεόνασμα της τάξης των 30 εκατομμυρίων δραχμών. Τον τελευταίο χρόνο του χρονικού ορίζοντα της τριακονταετίας το πλεόνασμα αυτό φτάνει τα 6061 εκατομμύρια δραχμές.

Πέρα όμως από τις άμεσες και μετρήσιμες οικονομικές επιπτώσεις του έργου της τηλεθέρμανσης δεν πρέπει να αγνοηθούν και οι λοιπές επιπτώσεις που έμμεσα επηρεάζουν και βελτιώνουν την γενικότερη εικόνα του.

Τηλεθέρμανση Πτολεμαΐδας

Ανάλυση Κόστους Επένδυσης

Στοιχεία Κόστους	Κόστος			Κατασκευαστική Περίοδος																		
	Εγχώριο	Συναλκό	Συνολικό	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Οικόπεδο (το απαραίτητο για τις ανάγκες της μονάδας)	24	0	24		24																	
Κτιριακές εγκαταστάσεις	167	0	167		28,3	101,9	21,6							2,6	2,6	5	5					
Μηχανολογικός εξοπλισμός	810	1322,5	2133,1		126,6	636	446,2	43,9	37,9	34,9	202,4	103,9	47,3	156,5	56,4	84,3	65,7	30,7	19,2	8,2	7,8	8,2
Μεταφορά και εγκατάσταση μηχανημάτων	687	43,9	730,9		43,7	225,1	149,6	14,7	13,2	10	81,8	31,9	16,7	60,9	19,7	21,8	14,9	9,5	7,1	2,1	1,9	2,1
Απρόβλεπτα	186,72	124,48	311,2		20,3	95,8	60,8	5,9	5,1	4,5	27,4	14,1	6,9	22,3	8,2	14,9	12,5	4,5	3	1	1	1
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	1875,3	1490,9	3366,2	0	243,9	1058,8	678,2	64,5	56,2	49,4	311,6	149,9	71,5	242,3	86,9	126	98,1	44,7	29,3	11,3	10,7	11,3
Προληπτικές δαπάνες	101,3	10	111,3	71,3	40,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 4.1: Ανάλυση κόστους επένδυσης

Χωρίς να θέλουμε να εξαντλήσουμε τον κατάλογο των έμμεσων θετικών επιπτώσεων που έχει η εφαρμογή της τηλεθέρμανσης επιχειρούμε μια σύντομη απλή απαρίθμηση μερικών από αυτές:

- Η διαθεσιμότητα άφθονης και φθηνής θερμικής ενέργεια συμβάλλει στην ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών δραστηριοτήτων και αντίστοιχα νέων θέσεων εργασία π.χ. ξηραντήρια, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργεια κλπ. Επίσης συμβάλλει στην βελτίωση των οικονομικών συνθηκών λειτουργίας σε θερμοβόρες δραστηριότητες που σήμερα υπάρχουν π.χ. βαφειοκαθαρηστήρια, φούρνοι, κεραμοποιεία, κλπ.
- Η βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων της πόλης συμβάλλει στην κοινωνική αναβάθμιση και την αύξηση της παραγωγικότητας.
- Οι πολύ θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, στην ιδιαίτερα βεβαρημένη περιοχή της Πτολεμαΐδας, πέρα από τις γενικότερες κοινωνικές επιπτώσεις έχουν και έμμεσες οικονομικές λαμβάνοντας υπόψη το υψηλότερο κόστος των συστημάτων απορρύπανσης.
- Ίσως όμως η σοβαρότερη από τις έμμεσες θετικές επιπτώσεις θα προέλθει από την εμπειρία και τον εθισμό σε δραστηριότητες ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας που σπανίζουν στον ελληνικό χώρο, π.χ. χρήση γεωθερμικής ενέργειας (Agioutantis, Bekas, 1999).

5. Χωρική ανάλυση τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας.

Η περίπτωση χωρικής ανάλυσης του δικτύου κοινής ωφέλειας της τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας που ακολουθεί χωρίζεται σε τρία μέρη: α) περιγραφή, β) ανάλυση και γ) πρόβλεψη. Στο πρώτο μέρος γίνεται περιγραφή του συστήματος πάνω στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση, στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η καθ' αυτή ανάλυση του δικτύου της τηλεθέρμανσης και στο τρίτο και τελευταίο μέρος γίνεται πρόβλεψη της μελλοντικής αύξησης της ζήτησης σε περιοχές όπου η σημερινή εκμετάλλευση του δικτύου είναι μηδενική.

5.1 Περιγραφή

Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται τα στοιχεία πάνω στα οποία βασίστηκε η ανάλυση και το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκε (περιγραφή των βάσεων του).

5.1.1 Στοιχεία πάνω στα οποία βασίστηκε η ανάλυση

Τα στοιχεία πάνω στα οποία βασίστηκε η ανάλυση είναι:

- 1) Ο πληθυσμός της πόλης ανά οικοδομικά τετράγωνα απογραφής του 1991. Τα στοιχεία αυτά παραχωρήθηκαν από την Ε.Σ.Υ.Ε. με την διαμεσολάβηση του εργαστηρίου Χωρικής Ανάλυσης, G.I.S. και Θεματικής Χαρτογραφίας, δυστυχώς δεν ήταν δυνατόν η εύρεση των στοιχείων της τελευταίας απογραφής του 2001.
- 2) Το αναλυτικό σχέδιο του δικτύου τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας σε αναλογική μορφή που παραχωρήθηκε από την Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας. Στο σχέδιο αυτό αποτυπώνεται η χάραξη του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου διανομής της πόλης, οι θέσεις των υποσταθμών – αντλιοστασίων, οι θέσεις φρεατίων απομονωτικών, εξαριστικών και εκκενωτικών δικλίδων καθώς και οι θέσεις διάφορων άλλων συστημάτων (e-woff, fault locator, θερμοστατικές δικλίδες ανακυκλοφορίας κα.). Κρίθηκε αναγκαία η ψηφιοποίησή του.
- 3) Το οδικό δίκτυο της πόλης της Πτολεμαΐδας, το οποίο σχεδιάστηκε εξολοκλήρου από την αρχή. Η αρίθμηση και ονομασία των οδών έγινε με

βάση στοιχεία του τοπικού παραρτήματος των Ελληνικών Ταχυδρομείων και της Εφορίας Πτολεμαΐδας.

- 4) Το πλήρη ιστορικό κάθε παροχής από την πρώτη στιγμή λειτουργίας της μέχρι και σήμερα, που παραχωρήθηκε από την Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας. Για κάθε παροχή έχουμε στοιχεία για την περίοδο λειτουργίας και αποκοπής της, για την ακριβή διεύθυνσή της, το όνομα του ιδιοκτήτη και τις μετρήσεις κατανάλωσης ανά λογαριασμό που εξέδωσε η επιχείρηση από το 1999 μέχρι και σήμερα. Η βάση ήταν σε μορφή Microsoft Access χωρίς καμιά σημειακή χωρική απεικόνιση, έγινε γεωκωδικοποίηση (geocoding) (Κ. Κουτσόπουλος, Ν. Ανδρουλακάκης, 2003) με βάση το οδικό δίκτυο της πόλης και την διεύθυνση κάθε παροχής, έτσι ώστε να έχουμε τελικά την σημειακή απεικόνιση των παροχών.

Στόχος της όλης ανάλυσης είναι να παρουσιαστεί, να αναλυθεί και να αξιολογηθεί η σημερινή κατάσταση του δικτύου, να βρεθούν οι περιοχές υψηλής ζήτησης (κατανάλωσης) και να βρεθεί η σχέση πληθυσμού – κατανάλωσης.

5.1.2 Το Γ.Σ.Π. πάνω στο οποίο βασίστηκε η χωρική ανάλυση

Τα δομικά χαρακτηριστικά ενός δικτύου κοινής ωφέλειας αποτυπώνονται είτε σημειακά είτε γραμμικά (Παπανικολάου, 2003). Σημειακής μορφής είναι τα στοιχεία του δικτύου όπως αντλιοστάσια, βάνες, παροχές, κλπ., ενώ με γραμμική μορφή απεικονίζονται στοιχεία όπως οι σωλήνες ροής του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου της τηλεθέρμανσης. Οι βάσεις δεδομένων των παραπάνω δομικών στοιχείων του δικτύου, καθένα από τα οποία αποτελεί ξεχωριστό επίπεδο του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών, περιλαμβάνουν γεωμετρικές πληροφορίες όπως διάμετρος των σωλήνων και μήκος, αλλά και μη γεωμετρικές πληροφορίες όπως μετρήσεις κατανάλωσης και διάρκεια χρήσης.

Εκτός από τις πληροφορίες που περιγράφουν άμεσα τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου, οι βάσεις δεδομένων ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών δικτύων κοινής ωφέλειας παρέχουν επίσης και άλλες πληροφορίες που αφορούν την περιοχή μελέτης όπως: οικοδομικά τετράγωνα, δίκτυο διευθύνσεων δρόμων, δημογραφικά στοιχεία. (Μηλάκα, 2002)

Η δημιουργία του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών του δικτύου της τηλεθέρμανσης βασίστηκε σε υλικό (χάρτες και δεδομένα) που διέθετε η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας. Πιο συγκεκριμένα έγινε με βάση γραφικών χαρτών κλίμακας 1:3000 που απεικόνιζαν το συνολικό δίκτυο, αφού πρώτα χρειάστηκε να ψηφιοποιηθούν, ψηφιακών δεδομένων που παρείχαν πληροφορίες για το ιστορικό των καταναλώσεων των καταναλωτών και προφορικών συνεντεύξεων με τους υπευθύνους της επιχείρησης.

Για την χωρική ανάλυση του δικτύου έγινε χρήση των προγραμμάτων:

- ArcGIS 8.1 και ArcView 3.1 της ESRI για την χωρική επεξεργασία,
- Excel2003, Access2003 της Microsoft για την επεξεργασία των βάσεων δεδομένων και
- SPSS 10.1 for Windows για την δημιουργία της εξίσωσης παλινδρόμησης της πρόβλεψης κατανάλωσης.

5.1.3 Περιγραφή βάσεων δεδομένων του Γ.Σ.Π.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των κύριων βάσεων δεδομένων ανά επίπεδο και η μεταξύ τους συσχέτιση. Οι κύριες βάσεις δεδομένων που δημιουργήθηκαν για την μελέτη του συστήματος τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας είναι:

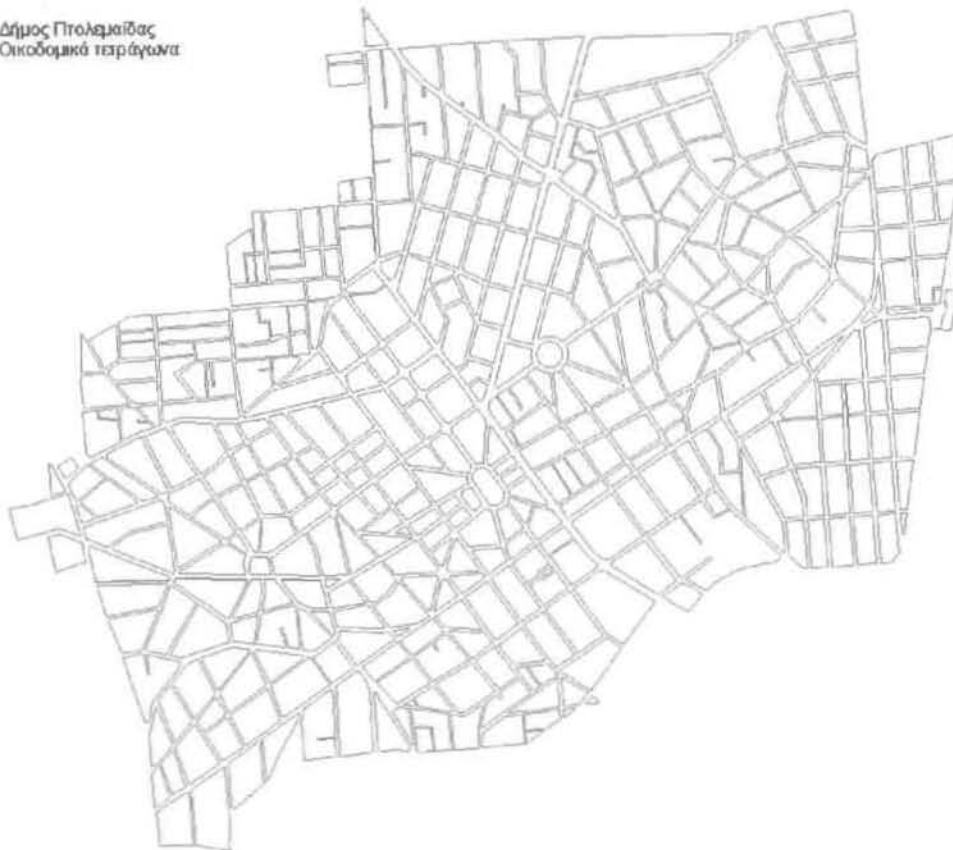
1. Βάση δεδομένων οικοδομικών τετραγώνων,
2. βάση δεδομένων οδικού δικτύου,
3. βάση δεδομένων πρωτεύοντος δικτύου διανομής τηλεθέρμανσης,
4. βάση δεδομένων δευτερεύοντος δικτύου διανομής τηλεθέρμανσης,
5. βάση δεδομένων υποσταθμών – αντλιοστασίων,
6. βάση δεδομένων παροχών και τέλος
7. βάση δεδομένων ιστορικού καταναλώσεων.

Ο κάθε παρακάτω πίνακας περιγραφής αποτελείται από δύο στήλες. Αρχικά δίνεται η ονομασία του κάθε πεδίου, στήλη: «Ονομασία πεδίου» και ακολουθεί αναλυτική περιγραφή για κάθε πεδίου, στήλη: «Περιγραφή».

Αναλυτικότερα έχουμε:

Βάση Δεδομένων Οικοδομικών Τετραγώνων	
<i>Τοπολογία επιπέδου: Πολυγωνική</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: οικ</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
FID	ID οικοδομικού τετραγώνου
Shape	Τύπος πολυγωνική απεικόνισης
Text	Σχόλια σχετικά με το οικοδομικό τετράγωνο
CODE_DHMOY	Κωδικός δήμου
CODE_ESYE	Κωδικός ΕΣΥΕ
AREA	Επιφάνεια οικοδομικού τετραγώνου
XRISEIS	Χρήση οικοδομικού τετραγώνου
ESYE	Κωδικός για χρήση της ΕΣΥΕ
POPULATION	Πληθυσμός
ZWNH	Ζώνη
TIMH_ZWNHS	Τιμή ζώνης
SD	Συντελεστή δόμησης

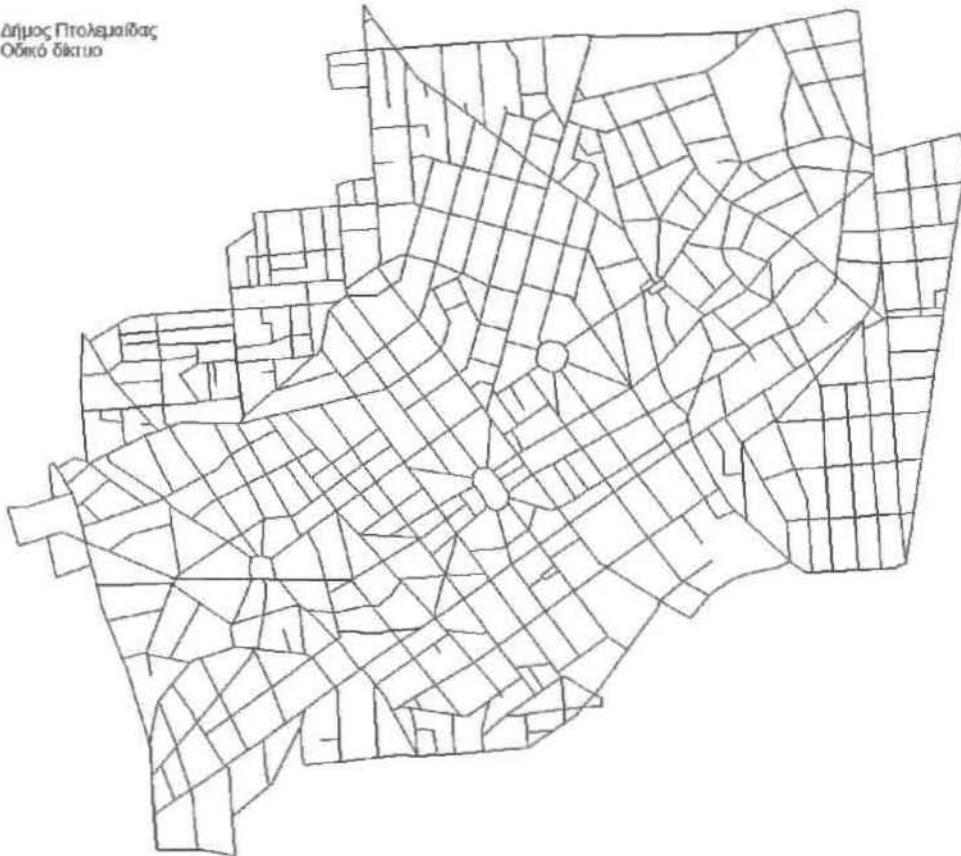
Δήμος Πτολεμαΐδας
Οικοδομικά τετράγωνα



Χάρτης 5.1: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης οικοδομικών τετραγώνων.

Βάση Δεδομένων Οδικού Δικτύου	
<i>Τοπολογία επιπέδου: Γραμμική</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: odiko</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
FID	ID τόνου δικτύου
Shape	Τύπος γραμμική απεικόνισης
ID	ID τόνου δικτύου από ψηφιοποίηση
NAME	Ονομασία οδού
FN left	Αριθμός οδού κατά την αρχή στα αριστερά
TN left	Αριθμός οδού στο τέλος στα αριστερά
FN right	Αριθμός οδού κατά την αρχή στα δεξιά
TN right	Αριθμός οδού στο τέλος στα δεξιά
zipcode	Ταχυδρομικός κώδικας

Δήμος Πτολεμαΐδας
Οδικό δίκτυο



Χάρτης 5.2: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης οδικού δικτύου.

Βάση Δεδομένων Πρωτεύοντος Δικτύου	
<i>Τοπολογία επιπέδου: Γραμμική</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: net1</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
OBJECTID	ID αγωγού
Shape	Τύπος γραμμική απεικόνισης
FID	ID αγωγού από ψηφιοποίηση
Text	Σχόλια σχετικά με τον αγωγό
Shape Length	Μήκος αγωγού
DN	Διατομή αγωγού

Βάση Δεδομένων Δευτερεύοντος Δικτύου	
<i>Τοπολογία επιπέδου: Γραμμική</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: net2</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
OBJECTID	ID αγωγού
Shape	Τύπος γραμμική απεικόνισης
FID	ID αγωγού από ψηφιοποίηση
Text	Σχόλια σχετικά με τον αγωγό
Shape Length	Μήκος αγωγού
CODE YP	Κωδικός υποσταθμού στο οποίο ανήκει ο αγωγός
DN	Διατομή αγωγού

Δίκτυο διανομής τηλεθέρμανσης Γιγολεμαίδας

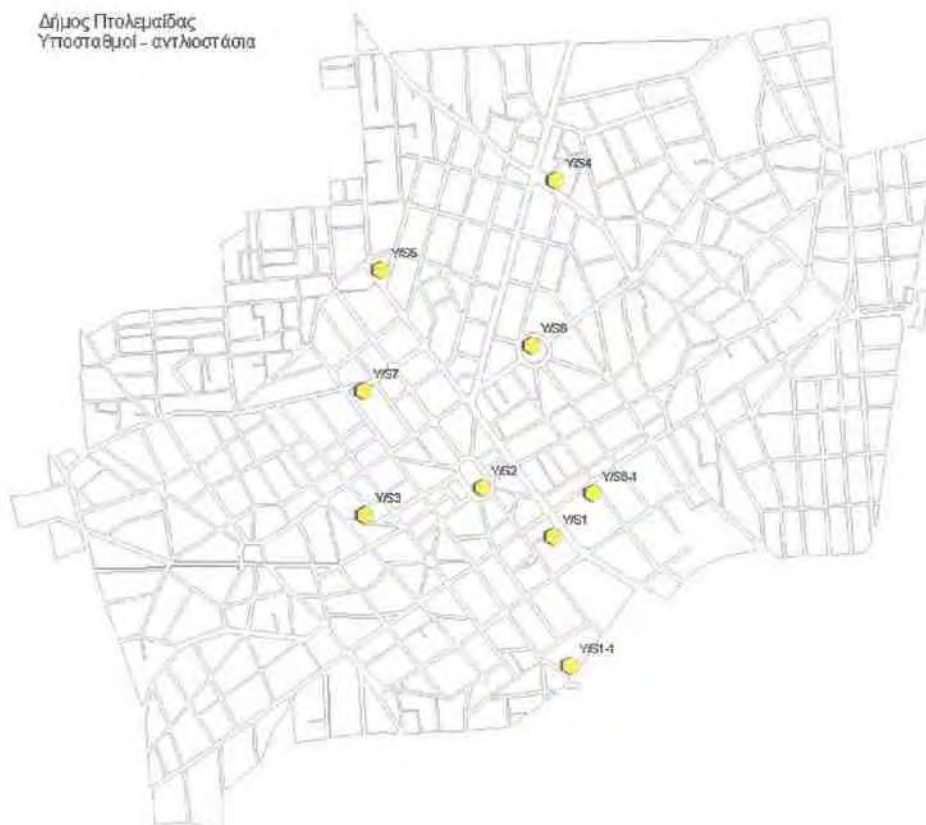
- Πρωτόν δίκτυο
 Δευτερεύον δίκτυο



Χάρτης 5.3: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου.

Βάση Δεδομένων Υποσταθμών - Αντλιοστασίων	
<i>Τοπολογία επιπέδου: Σημειακή</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: yprostathmoi</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
OBJECTID	ID σημείου
Shape	Τύπος σημειακής απεικόνισης
Text	Σχόλια σχετικά με τον υποσταθμό
CODE_YP	Κωδικός υποσταθμού
Xcoord	Τετμημένη σημείου
Ycoord	Τεταγμένη σημείου

Δήμος Πτολεμαΐδας
Υποσταθμοί - αντλιοστασία



Χάρτης 5.4: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης υποσταθμών – αντλιοστασίων.

Βάση Δεδομένων Παροχών	
<i>Τοπολογία επιπέδου: Σημειακή</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: paroxes</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
FID	ID παροχής από ArcGIS
Shape	Τύπος σημειακής απεικόνισης
Status	με Μ όσες διευθύνσεις έχουν ταυτιστεί κατά την γεωκωδικοποίηση, με U όσες δεν έχουν ταυτιστεί, με T όσες ταυτίζονται με άλλες
Score	Βαθμολογία ταύτισης της συγκεκριμένης διεύθυνσης
Side	Πλευρά του δρόμου στην οποία έχει γίνει η ταύτιση
ARC Street	
ARC Zone	
ΚωδικόςDF	Κωδικός παροχής
Παροχή	Παροχή
Οδός	Ονομασία οδού
Αριθμός	Αριθμός οδού
Διεύθυνση	Διεύθυνση
zipcode	Ταχυδρομικός κώδικας
CODE_YP	Κωδικός υποσταθμού στον οποίο ανήκει η παροχή
FID_LINE	Κωδικός αγωγού στον οποίο ανήκει η παροχή

Δήμος Πτολεμαΐδας
Παροχές

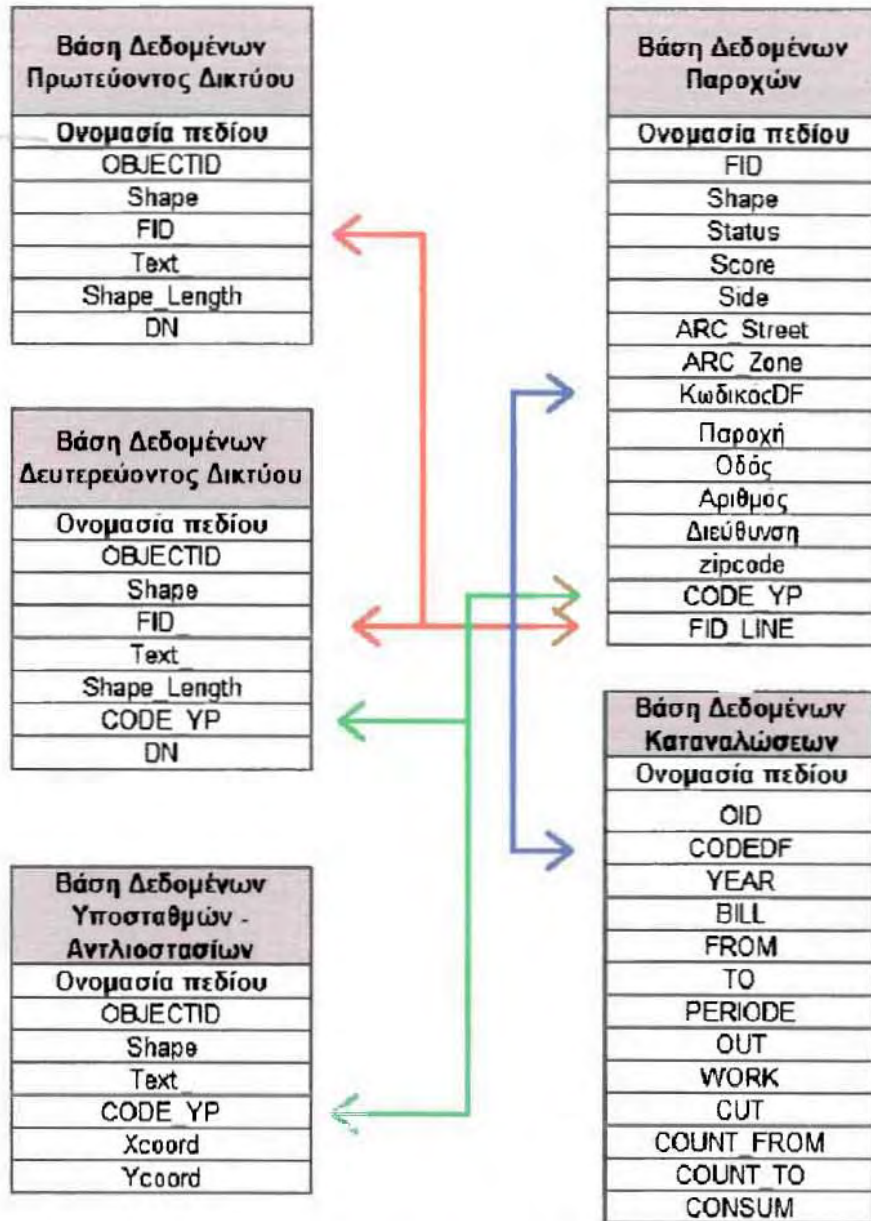


Χάρτης 5.5: Χαρτογραφικό υπόβαθρο βάσης παροχών.

Βάση Δεδομένων Καταναλώσεων	
<i>Πίνακας</i>	
<i>Ονομασία επιπέδου: CONSUM</i>	
Ονομασία πεδίου	Περιγραφή
OID	
CODEDF	Κωδικός παροχής
YEAR	Χρονολογία λογαριασμού
BILL	Αριθμός λογαριασμού
FROM	Από ημερομηνία
TO	Έως ημερομηνία
PERIODE	Περίοδος
OUT	Περίοδος εκτός λειτουργίας
WORK	Περίοδος λειτουργίας
CUT	Περίοδος αποκοπής
COUNT_FROM	Μέτρηση μετρητή από
COUNT_TO	Μέτρηση μετρητή έως
CONSUM	Κατανάλωση

Οι παραπάνω βάσεις συσχετίζονται με τους εξής τρόπους (σχήμα 5.1):

1. Οι βάσεις του πρωτεύοντος δικτύου, του δευτερεύοντος δικτύου και των παροχών συνδέονται με τα κοινά πεδία: FID_, FID_ και FID_LINE αντίστοιχα.
2. Οι βάσεις των υποσταθμών – αντλιοστασίων, του δευτερεύοντος δικτύου και των παροχών συνδέονται με τα κοινά πεδία: CODE_YP, CODE_YP και CODE_YP αντίστοιχα.
3. Η βάση των παροχών με τη βάση των καταναλώσεων συνδέονται με τα πεδία: ΚωδικόςDF και CODEDF αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1: Συνδέσεις βάσεων

5.2 Ανάλυση

Η ανάλυση του δικτύου τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας που ακολουθεί χωρίζεται στις εξής πέντε ενότητες:

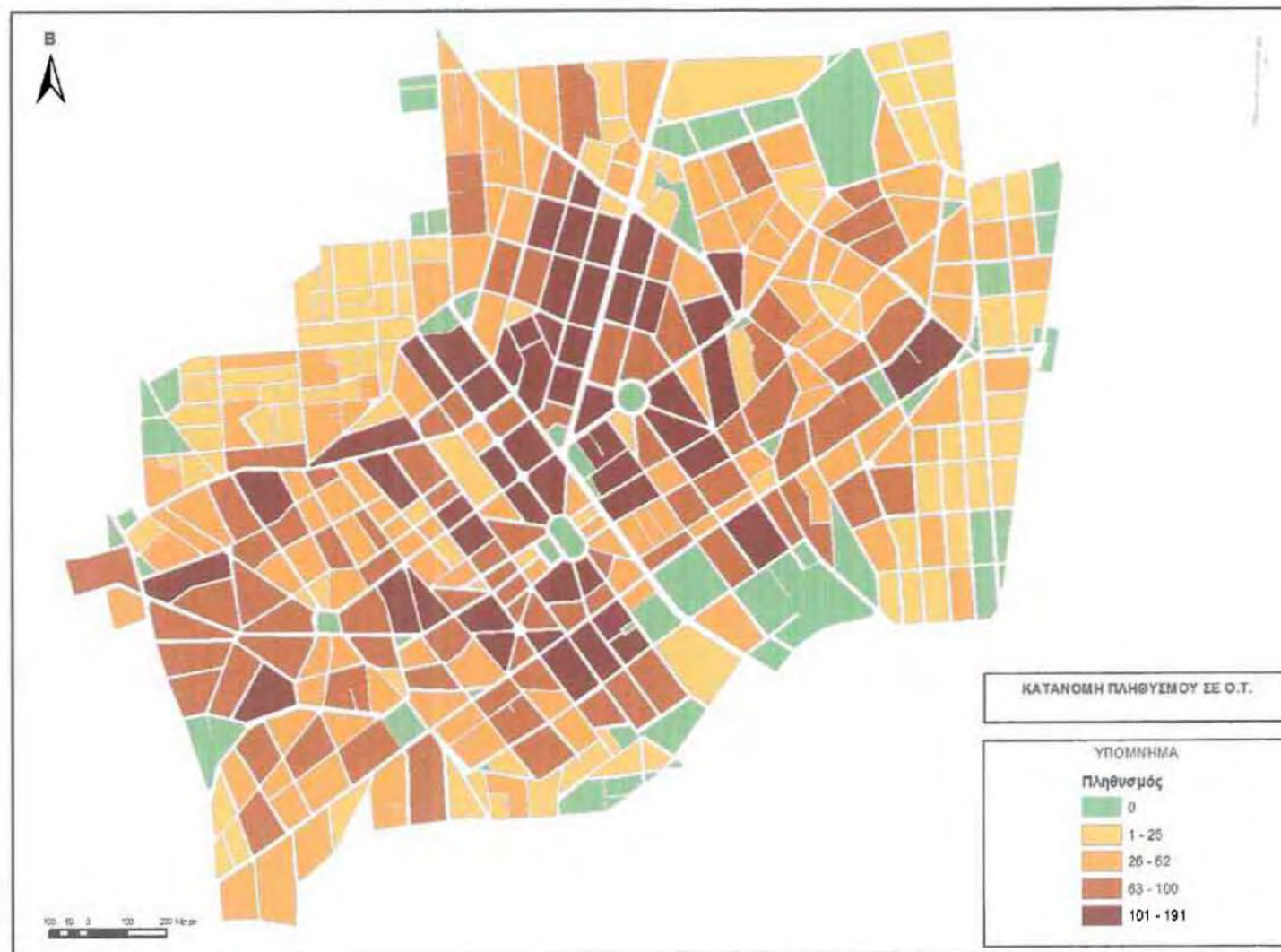
- 1) Ανάλυση των κατανομών πληθυσμού, παροχών και καταναλώσεων σε οδικούς άξονες.
- 2) Ανάλυση των κατανομών παροχών και καταναλώσεων σε αγωγούς.
- 3) Ανάλυση της κατανάλωσης και του πληθυσμού που εξυπηρετούν οι υποσταθμοί – αντλιοστάσια του δευτερεύοντος δικτύου.
- 4) Ανάλυση των σημειακών κατανομών (παροχές).
- 5) Αξιολόγηση της δομής του συνολικού και δευτερεύοντος δικτύου διανομής (συνδετικότητα: δείκτης Γάμμα, δείκτης Άλφα).

Στόχος της όλης ανάλυσης είναι η συνολική παρουσίαση και ανάλυση της κατάστασης του συστήματος κάτοικοι – δίκτυο τηλεθέρμανσης – ζήτηση – κατανάλωση.

5.2.1 Ανάλυση των κατανομών πληθυσμού, παροχών και καταναλώσεων σε οδικούς άξονες.

5.2.1.1 Κατανομή πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα

Ο δήμος Πτολεμαΐδας σύμφωνα με την απογραφή του 1991 είχε 20.599 κατοίκους ενώ σήμερα πλησιάζει τους 30.000 κατοίκους. Η κατανομή του πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα μας δείχνει, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο, συγκέντρωση του πληθυσμού στο κέντρο της πόλης με μια σταδιακή μείωσή του όσο απομακρυνόμαστε από αυτό. Ως κέντρο θεωρείται το χωρικό κέντρο της πόλης, που αποτελεί και το πραγματικό κέντρο όπου συγκεντρώνονται κεντρικές λειτουργίες (δημόσιες επιχειρήσεις, γραφεία, τράπεζες, περιοχές διασκέδασης κλπ.). Η οριοθέτηση του κέντρου μπορούμε να πούμε ότι είναι αριστερά και δεξιά του κεντρικού οδικού άξονα της πόλης, οδός 25^{ης} Μαρτίου, από το ύψος της οδού Πτολεμαίων μέχρι και την οδό Ακρίτα.



Χάρτης 5.6: Κατανομή πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα

Στο κέντρο τα οικοδομικά τετράγωνα, όπως φαίνεται από τον χάρτη κατανομής του πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα, κυμαίνεται από 101 έως 191 κατοίκους ανά οικοδομικό τετράγωνο (σκούρο καφέ χρώμα). Όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο ο πληθυσμός των οικοδομικών τετραγώνων μειώνεται σταδιακά, αποχρώσεις του καφέ, σε 63 έως 100 κατοίκους, σε 26 έως 62 κατοίκους και σε 1 έως 25 κατοίκους. Οι περιοχές όπου ο πληθυσμός των οικοδομικών τετραγώνων είναι μηδενικός φαίνεται με πράσινο χρώμα. Οι περιοχές αυτές είναι κυρίως αδόμητες περιοχές που χρησιμεύουν ως χώροι πλατειών και πρασίνου. Η κατανομή έγινε με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις.

5.2.1.2 Κατανομή πληθυσμού και πυκνότητας σε οδικούς άξονες

Η μετάβαση από την κατανομή του πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα σε κατανομή του πληθυσμού σε οδικούς άξονες αποτέλεσε επιτακτική ανάγκη έτσι ώστε να είναι δυνατή η συσχέτιση του πληθυσμού και των καταναλώσεων που παρατηρούνται σε κάθε οδικό άξονα.

Η τροποποίηση αυτή δεν ήταν εύκολη διαδικασία, αντιθέτως απαιτήθηκαν πολλαπλές μετατροπές με τη χρήση διαφόρων “script”. Βασικός στόχος ήταν η μεταφορά του πληθυσμού των οικοδομικών τετραγώνων στους οδικούς άξονες αναλογικά με το μήκος των τελευταίων.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε μπορούμε να την περιγράψουμε ως εξής: Αρχικά έγινε μετατροπή του γραμμικού δικτύου των οδικών αξόνων σε πολύγωνα (χρήση script: Polylines2Poligons 2.3) έτσι ώστε να είναι δυνατές οι πράξεις μεταξύ των επιπέδων του οδικού άξονα και των οικοδομικών τετραγώνων. Στη συνέχεια έγινε τομή (intersect) των δύο επιπέδων έτσι ώστε τα πολύγωνα που προέκυψαν από τους οδικούς άξονες να αποκτήσουν τα δομικά χαρακτηριστικά του επιπέδου των οικοδομικών τετραγώνων. Έτσι τα νέα πολύγωνα έχουν αποκτήσει τα χαρακτηριστικά των οικοδομικών τετραγώνων που στη προκειμένη περίπτωση είναι ο πληθυσμός. Το επόμενο στάδιο ήταν η μετατροπή των πολυγώνων ξανά σε γραμμικά στοιχεία, έτσι ώστε να προκύψει ξανά το οδικό δίκτυο που αυτή την φορά όμως θα έχει αποκτήσει και το χαρακτηριστικό του πληθυσμού. Υπολογίστηκε η περίμετρος κάθε πολυγώνου και έγινε η μετατροπή του σε απλές γραμμές με τη βοήθεια script. Το νέο επίπεδο που προέκυψε ήταν γραμμικό και στην βάση δεδομένων περιλάμβανε την περίμετρο του πολυγώνου από το οποίο προέκυψε, τον

συνολικό πληθυσμό του πολυγώνου και το μήκος κάθε νέας απλής γραμμής. Έπειτα προστέθηκε ένα νέο πεδίο στη βάση όπου υπολογίστηκε αναλογικά με το μήκος κάθε γραμμής το πληθυσμό που της αντιστοιχεί ($\text{πληθυσμός} = \frac{\text{πληθυσμός_πολυγώνου} * \text{μήκος_γραμμής}}{\text{περίμετρο_πολυγώνου}}$). Τέλος, εξαιτίας του γεγονότος

ότι σε κάθε νέο άξονα υπήρχαν δύο γραμμές που προέκυψαν από τα γειτονικά πολύγωνα έγινε ένωση (dissolve) των γραμμών που συμπίπτανε η μια πάνω στην άλλη. Το τελικό γραμμικό επίπεδο που προέκυψε ήταν και το αρχικώς ζητούμενο της όλης διαδικασίας.

Η κατανομή του πληθυσμού σε οδικούς άξονες, χάρτης κατανομής πληθυσμού σε άξονες, έγινε με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0 κατοίκους, από 1 έως 10 κατοίκους, από 11 έως 27 κατοίκους, από 28 έως 50 κατοίκους και τέλος από 51 έως 94 κατοίκους.

Η κατανομή της πυκνότητας πληθυσμού σε οδικούς άξονες, χάρτης κατανομής πυκνότητας πληθυσμού σε άξονες, έγινε με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0%, από 0,1% έως 12,6%, από 12,7% έως 28,9%, από 29% έως 48,9% και τέλος από 49% έως 91,6%.

Οι οδικοί άξονες που έχουν την μεγαλύτερη κατανομή πληθυσμού είναι αυτοί που διέρχονται ανάμεσα στα οικοδομικά τετράγωνα που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κατανομή πληθυσμού. Αυτό ήταν ως ένα βαθμό αναμενόμενο αφού ο πληθυσμός που αντιστοιχεί σε κάθε οδικό άξονα υπολογίστηκε με βάση των πληθυσμό των οικοδομικών τετραγώνων. Έτσι, όπως και στην κατανομή του πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα, οι άξονες με τον μεγαλύτερο πληθυσμό συναντούνται στο κέντρο της πόλης ενώ ο πληθυσμός τους μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτό. Στους άξονες αυτούς παρατηρείται και η μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού από 49% έως 91,6%, ενώ στους άξονες περιμετρικά του κέντρου παρατηρείται πυκνότητα από 12,7 έως 48,9% και τέλος στους άξονες περιμετρικά της πόλης η πυκνότητα είναι πολύ μικρή από 0% έως 12,6%.

Συμπερασματικά από τις δύο κατανομές πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα και οδικούς άξονες και από την κατανομή πυκνότητας πληθυσμού σε οδικούς άξονες συμπεραίνουμε ότι το κέντρο της πόλης παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση του πληθυσμού ενώ υπάρχει μια σταδιακή μείωσή του όσο απομακρυνόμαστε από αυτό. Το γεγονός αυτό είναι κοινό στις περισσότερες πόλεις όχι μόνο της Ελλάδας



Χάρτης 5.7: Κατανομή πληθυσμού σε οδικούς άξονες



Χάρτης 5.8: Κατανομή πυκνότητας πληθυσμού σε οδικούς άξονες

αλλά και του εξωτερικού. Η ζήτηση από το δίκτυο διανομής τηλεθέρμανσης σε θερμική ενέργεια στις περιοχές αυτές αναμένεται να είναι αυξημένο σε σχέση με τις άλλες λιγότερο κατοικημένες περιοχές της πόλης. Αυτό θα φανεί καλύτερα παρακάτω από την ανάλυση της μέχρι τώρα ζήτησης.

5.2.1.3 Κατανομή παροχών σε οδικούς άξονες

Η κατανομή των παροχών σε οδικούς άξονες, χάρτης κατανομής παροχών σε άξονες, εκφράζει τον αριθμό των παροχών που συναντάμε σε έναν οδικό άξονα, δηλαδή τον αριθμό των συνδέσεων των χρηστών με το δίκτυο διανομής τηλεθέρμανσης. Η κατανομή έγινε με βάση τη μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0 παροχές, από 1 έως 2 παροχές, από 3 έως 7 παροχές, από 8 έως 15 παροχές και από 16 έως 77 παροχές.

Όπως φαίνεται από τον χάρτη κατανομής παροχών σε άξονες, οι άξονες στους οποίους συναντάμε μεγάλο αριθμό παροχών (καφέ σκούρο χρώμα, από 16 έως 77) βρίσκονται στο κέντρο της πόλης, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτό ο αριθμός των παροχών ανά άξονα μειώνεται.

Αν λάβουμε υπόψη και το χάρτη κατανομής του πληθυσμού σε οδικούς άξονες που αναλύσαμε παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο αριθμός των παροχών ανά οδικό άξονα ακολουθεί σε ένα σημαντικό βαθμό την κατανομή του πληθυσμού. Σε οδικούς άξονες με μεγάλο πληθυσμό συναντάμε και άξονες με μεγάλο αριθμό παροχών. Σε ορισμένους άξονες με μεγάλο πληθυσμό ενώ θα περιμέναμε να συναντήσουμε και μεγάλο αριθμό παροχών δεν συμβαίνει αυτό εξαιτίας του γεγονότος ότι κάθε οικοδομή έχει μία μόνο παροχή, δηλαδή κάθε διαμέρισμα δεν έχει ξεχωριστή αυτόνομη παροχή. Έτσι μία παροχή έχει μια εξαόροφη οικοδομή αλλά και μια μονοκατοικία έχει μία παροχή. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο παροχών έγκειται στη κατανάλωση που παρατηρείται στις δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση σαφώς η κατανάλωση είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την δεύτερη. Η κατανάλωση συνεπώς, δεν είναι απολύτως σχετική με τον αριθμό των παροχών ανά οδικό άξονα, αλλά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του οικοδομήματος (μονοκατοικία, πολυκατοικία κτλ.) που τροφοδοτεί η κάθε παροχή.



Χάρτης 5.9: Κατανομή παροχών σε οδικούς άξονες



Χάρτης 5.10: Κατανομή πυκνότητας παροχών σε οδικούς άξονες

5.2.1.4 Κατανομή κατανάλωσης σε οδικούς άξονες

Μια σαφέστερη εικόνα της ζήτησης και επομένως της κατανάλωσης που παρατηρείται στο δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης προκύπτει από την ανάλυση των στοιχείων των καταναλώσεων των ετών λειτουργίας της. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τα τελευταία πέντε χρόνια, 1999 έως 2003, της λειτουργίας του δικτύου.

Η κατανομή της συνολικής κατανάλωσης σε οδικούς άξονες, χάρτης συνολικής κατανάλωσης σε άξονες (1999 – 2003), έγινε με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0 μονάδες κατανάλωσης, από 1 έως 44.616 μονάδες κατανάλωσης, από 44.617 έως 150.024 μονάδες κατανάλωσης, από 150.025 έως 375.366 μονάδες κατανάλωσης και τέλος από 375.367 έως 1.081.848 μονάδες κατανάλωσης.

Από τον χάρτη της κατανομής συμπεραίνουμε ότι η μεγαλύτερη αθροιστική κατανάλωση τα τελευταία πέντε έτη της λειτουργίας του δικτύου τηλεθέρμανσης παρατηρείται στο κέντρο της πόλης και μάλιστα στους οδικούς άξονες από τους οποίους διέρχεται το έμμεσο σύστημα σύνδεσης (δευτερεύον δίκτυο). Στην περιοχή αυτή παρατηρείται και η μεγαλύτερη κατανομή πληθυσμού, χάρτης κατανομής πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα. Στο υπόλοιπο δίκτυο η συνολική κατανάλωση είναι μικρότερη και κυμαίνεται από 1 μονάδα κατανάλωσης έως 150.024 μονάδες κατανάλωσης. Σε αντίθεση στους περισσότερους οδικούς άξονες του κέντρου, η συνολική κατανάλωση κυμαίνεται από 150.025 μονάδες κατανάλωσης έως και 1.081.848 μονάδες κατανάλωσης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε το γεγονός ότι στην αρχή λειτουργίας του συστήματος τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας, 1999, οι πρώτοι καταναλωτές που συνδέθηκαν σε αυτό ήταν οι κάτοικοι του κέντρου ενώ στις υπόλοιπες περιοχές δεν γινόταν χρήση του δικτύου. Η σύνδεση των καταναλωτών στο σύνολο του δικτύου άρχισε να γίνεται το 2000 και συνεχίζεται και σήμερα. Είναι ένα δυναμικό δίκτυο με συνεχή δημιουργία νέων ή κατάργηση παλαιών παροχών. Σωστότερα συμπεράσματα συνεπώς, μπορούμε να εξάγουμε από την ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης των καταναλώσεων ανά έτος.



Χάρτης 5.11: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης σε οδικούς άξονες

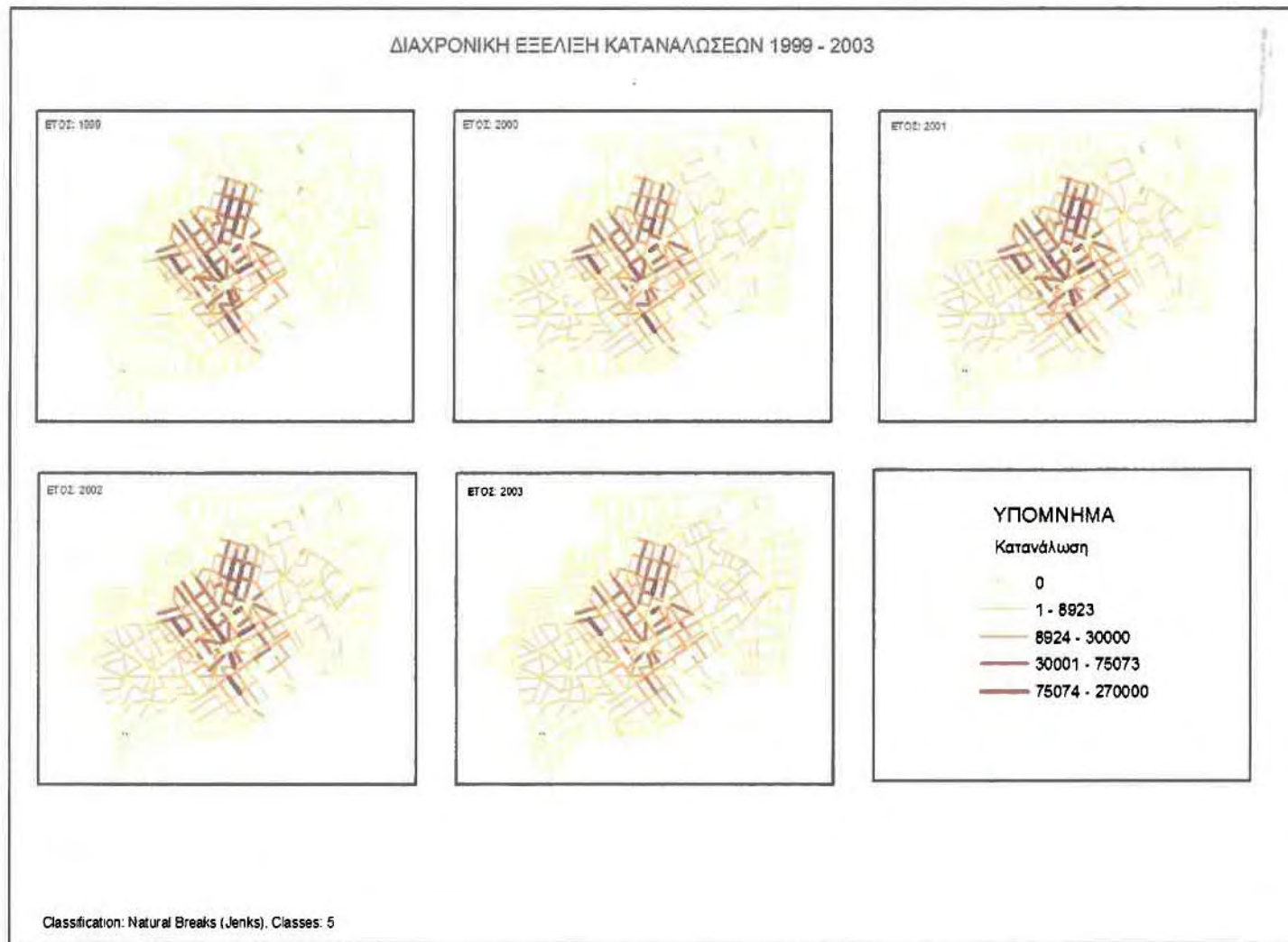
5.2.1.5 Διαχρονική εξέλιξη των καταναλώσεων

Η ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης των καταναλώσεων βασίστηκε στις καταναλώσεις των πέντε τελευταίων ετών λειτουργίας της τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας από το 1999 έως και το 2003. Μέσα από την ανάλυση αυτή θα προσπαθήσουμε να συμπεράνουμε την εξέλιξη των καταναλώσεων στο σύνολο της πόλης χωρικά αλλά και χρονικά κατά την διάρκεια του έτους.

Η μέθοδος κατηγοριοποίησης που χρησιμοποιήθηκε και σε αυτήν την περίπτωση ήταν η Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0 μονάδες κατανάλωσης, από 1 μονάδα κατανάλωσης έως 8.923 μονάδες κατανάλωσης, από 8.924 μονάδες κατανάλωσης έως 30.000 μονάδες κατανάλωσης, από 30.001 μονάδες κατανάλωσης έως 75.073 μονάδες κατανάλωσης και τέλος από 75.074 μονάδες κατανάλωσης έως 270.000 μονάδες κατανάλωσης.

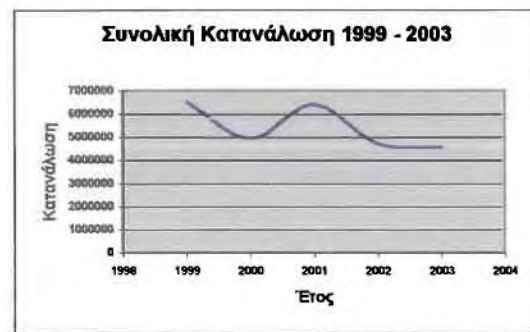
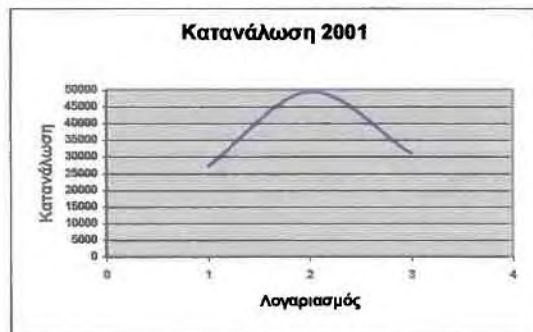
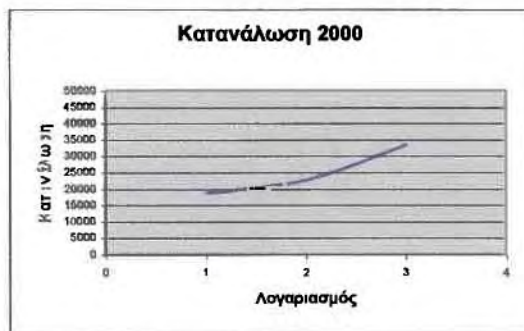
Μέσα από την ανάλυση του χάρτη της διαχρονικής εξέλιξης των καταναλώσεων παρατηρούμε ότι το έτος 1999 κατανάλωση και συνεπώς χρήση του δικτύου είχαμε στο κέντρο της πόλης. Η κατανάλωση αυτή όπως προαναφέρθηκε αναφέρεται μόνο στο έμμεσο σύστημα σύνδεσης (δευτερεύον δίκτυο τηλεθέρμανσης), ενώ στο υπόλοιπο δίκτυο δεν υπάρχει κατανάλωση. Η κατάσταση αυτή αλλάζει ριζικά στις επόμενες χρονιές, έτος 2000, 2001, 2002 και 2003, όπου νέοι καταναλωτές συνδέονται στο δίκτυο. Κατανάλωση πλέον πέρα από το κέντρο της πόλης έχουμε σχεδόν σε όλη την πόλη με εξαίρεση τις περιοχές που βρίσκονται στην περίμετρό της.

Από πλευράς αριθμών καταναλώσεων και στα πέντε έτη μεγαλύτερη κατανάλωση έχουμε στο κέντρο της πόλης με κατανάλωση στους περισσότερους οδικούς άξονες από 30.000 μονάδες κατανάλωσης έως και 270.000 μονάδες κατανάλωσης. Μερικοί από αυτούς αλλάζουν συνεχώς κατηγορία κατανάλωσης, αλλά παίζουν σε κατηγορίες υψηλής κατανάλωσης (δύο τελευταίες κατηγορίες: 30.001 – 75.073 και 75.074 – 270.000). Στο υπόλοιπο δίκτυο η κατανάλωση κυμαίνεται σε μεγάλο βαθμό σταθερά από 1 έως 30.000 μονάδες κατανάλωσης. Αν λάβουμε τώρα υπόψη μας και τον χάρτη κατανομής του πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα ή τον χάρτη κατανομής πληθυσμού σε οδικούς άξονες, συμπεραίνουμε και πάλι ότι σε όλη την διάρκεια των πέντε ετών μεγαλύτερη κατανάλωση έχουμε στο κέντρο της πόλης όπου έχουμε συγκεντρωμένο και το μεγαλύτερο πληθυσμό της πόλης ενώ εκτός του κέντρου η κατανάλωση είναι μειωμένη όπως και ο πληθυσμός.



Χάρτης 5.12: Διαχρονική εξέλιξη καταναλώσεων 1999 – 2003

Διαγράμματα Καταναλώσεων



* Για το έτος 2002 η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας έκδωσε τέσσερις λογαρισμούς

** Για το έτος 2003 η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας έκδωσε δύο λογαρισμούς

Διάγραμμα 5.1: Συνολικές ετήσιες καταναλώσεις

Συνεπώς υπάρχει σχέση κατανάλωσης και πληθυσμού. Η σχέση αυτή προκύπτει πέρα από τα στοιχεία του ιστορικού των καταναλώσεων και από τον εξής συλλογισμό: στις περιοχές με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού έχουμε και μεγάλη πυκνότητα κτισμάτων, συνήθως ψηλών κτιρίων, που απαιτούν μεγαλύτερη θερμική ενέργεια για να ζεσταθούν, ενώ σε περιοχές με μικρή πυκνότητα πληθυσμού

συναντάμε μικρότερα κτίρια τα οποία απαιτούν αντιθέτως μικρότερες ποσότητες θερμικής ενέργειας.

Όσον αφορά τη συνολική κατανάλωση κατά την διάρκεια ενός έτους αυτή κυμαίνεται αναλόγως την εποχή του έτους που διανύουμε. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και των θερμών περιόδων η κατανάλωση στο δίκτυο είναι μηδενική (δεν γίνεται χρήση του συστήματος), χρήση του συστήματος γίνεται κατά την περίοδο από τις αρχές του Νοεμβρίου έως και τα μέσα του Μαΐου (στοιχεία από το ιστορικό καταναλώσεων). Σε πολύ μεγάλο βαθμό η ζήτηση για θερμική ενέργεια εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.

Μέσα από τα διαγράμματα των καταναλώσεων ανά έτος παρατηρούμε ότι τα έτη 1999, 2001 και 2002 η γραμμή της συνολικής κατανάλωσης κατά την διάρκεια του έτους έχει την ίδια καμπυλόγραμμη μορφή. Στην αρχή του λειτουργικού έτους του συστήματος, πρώτος λογαριασμός, η κατανάλωση και στις τρεις περιπτώσεις κυμαίνεται από 20.000 έως 30.000 μονάδες κατανάλωσης, στην συνέχεια, δεύτερος λογαριασμός, κυμαίνεται από 40.000 έως 50.000 μονάδες κατανάλωσης και στο τέλος, τρίτος λογαριασμός, κυμαίνεται από 30.000 έως 35.000 μονάδες κατανάλωσης. Η γραμμή της συνολικής κατανάλωσης το έτος 2000 είναι διαφορετικής μορφής από αυτές των προαναφερθέντων. Ξεκινάει όπως και οι παραπάνω από κατανάλωση γύρω στις 20.000 μονάδες, πρώτος λογαριασμός και καταλήγει, τρίτος λογαριασμός, σε κατανάλωση γύρω στις 33.000 με 35.000 μονάδες. Κατά της διάρκεια όμως του δεύτερου λογαριασμού η κατανάλωση αντί να φτάσει στα επίπεδα των άλλων ετών παραμένει χαμηλή. Ανατρέχοντας στο ιστορικό των καταναλώσεων για το έτος 2000 βλέπουμε ότι κατά την διάρκεια του δεύτερου λογαριασμού υπήρχε διακοπή, πιθανώς από βλάβη, σε όλο το σύστημα τηλεθέρμανσης από τέσσερις έως και δώδεκα ημέρες. Λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι ο δεύτερος λογαριασμός αναφέρεται στην περίοδο του χειμώνα από Δεκέμβριο έως και Φεβρουάριο συμπεραίνουμε ότι αν το σύστημα λειτουργούσε κανονικά η συνολική κατανάλωση κατά την περίοδο αυτή θα ακολουθούσε σε μεγάλο βαθμό τα διαγράμματα των τριών άλλων καταναλώσεων. Τέλος για το έτος 2003 η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας εξέδωσε μόνο δύο λογαριασμούς και συνεπώς δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα.

Άρα όσον αφορά την κατανάλωση κατά την διάρκεια του έτους συμπεραίνουμε ότι υπάρχει αυξημένη ζήτηση σε θερμική ενέργεια κατά την διάρκεια της δεύτερης

λειτουργικής περιόδου του συστήματος ενώ κατά την αρχή και το τέλος της περιόδου λειτουργίας του η κατανάλωση είναι σαφώς μικρότερη. Τέλος σημαντικό βαθμό στην αύξηση ή μείωση της ζήτησης παίζουν και οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίοδο.

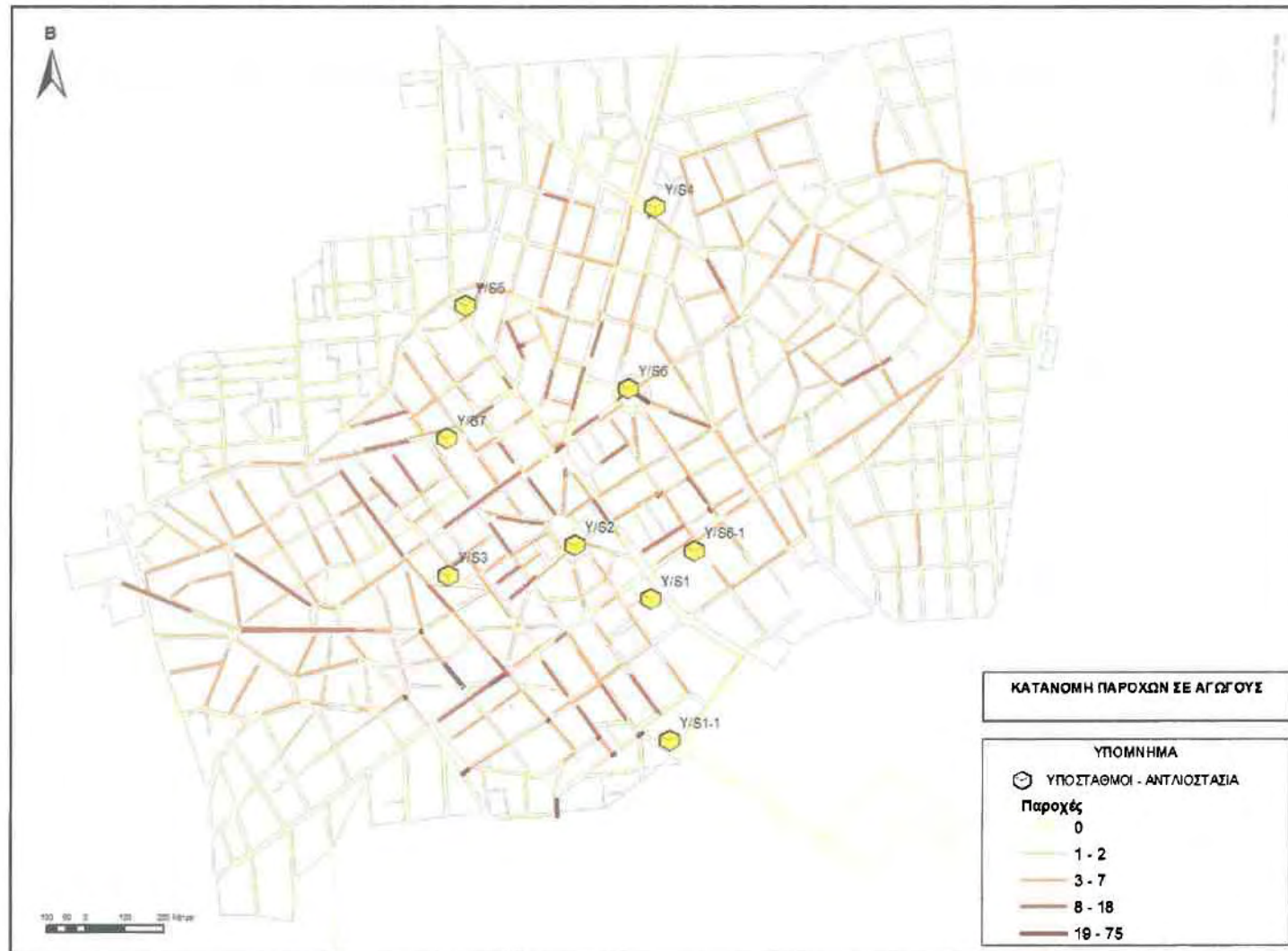
5.2.2 Ανάλυση των κατανομών παροχών και καταναλώσεων σε αγωγούς.

5.2.2.1 Κατανομή παροχών σε αγωγούς

Η κατανομή των παροχών σε αγωγούς εκφράζει τον αριθμό των παροχών που συναντάμε σε κάθε τμήμα των αγωγών. Η κατανομή έγινε με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0 παροχές ανά τμήμα αγωγού, από 1 έως και 2 παροχές ανά τμήμα αγωγού, από 3 έως και 7 παροχές ανά τμήμα αγωγού, από 8 έως και 18 παροχές ανά τμήμα αγωγού και τέλος από 19 έως και 75 παροχές ανά τμήμα αγωγού.

Μελετώντας τον χάρτη κατανομής των παροχών σε αγωγούς δεν μπορούμε να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα για το αν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ των παροχών ανά αγωγό και την κατανάλωση στους οδικούς άξονες από τους οποίους διέρχονται. Σε τμήματα των αγωγών με μεγάλη κατανομή παροχών δεν συναντάμε αναγκαστικά οδικούς άξονες με μεγάλη κατανάλωση και το αντίθετο. Το γεγονός αυτό εξηγήθηκε παραπάνω (δες κατανομή παροχών σε οδικούς άξονες) και οφείλεται στο ότι ο αριθμός μικρός ή μεγάλος των παροχών δεν συνεπάγεται απαραίτητα και μεγάλη ή μικρή αντίστοιχα κατανάλωση. Οι αγωγοί με μεγάλη και μικρή κατανομή παροχών βρίσκονται διάσπαρτοι στο χώρο χωρίς να ακολουθούν κάποιο χωρικό πρότυπο.

Το μόνο συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε με κάθε επιφύλαξη είναι για τον αριθμό των κτισμάτων, μονοκατοικίες ή πολυκατοικίες, που βρίσκονται στους οδικούς άξονες από τους οποίους διέρχονται οι αγωγοί. Σύμφωνα με τον υπεύθυνο του τμήματος συντήρησης (Δ.Ε.ΤΗ.Π., 2004/1) κάθε κτίσμα έχει τη δικιά του παροχή σύνδεσης με το δίκτυο, επομένως κατά κάποιο τρόπο ο αριθμός των παροχών που συναντάμε σε ένα τμήμα του αγωγού είναι ίσος με τον αριθμό των κτισμάτων που βρίσκονται στο οδικό άξονα από τον οποίο διέρχεται ο αγωγός. Σαφώς αυτό δεν μπορεί να είναι απολύτως σωστό αφού η σύνδεση ή μη σύνδεση του κτίσματος στο δίκτυο είναι επιλογή του κάθε ιδιοκτήτη.



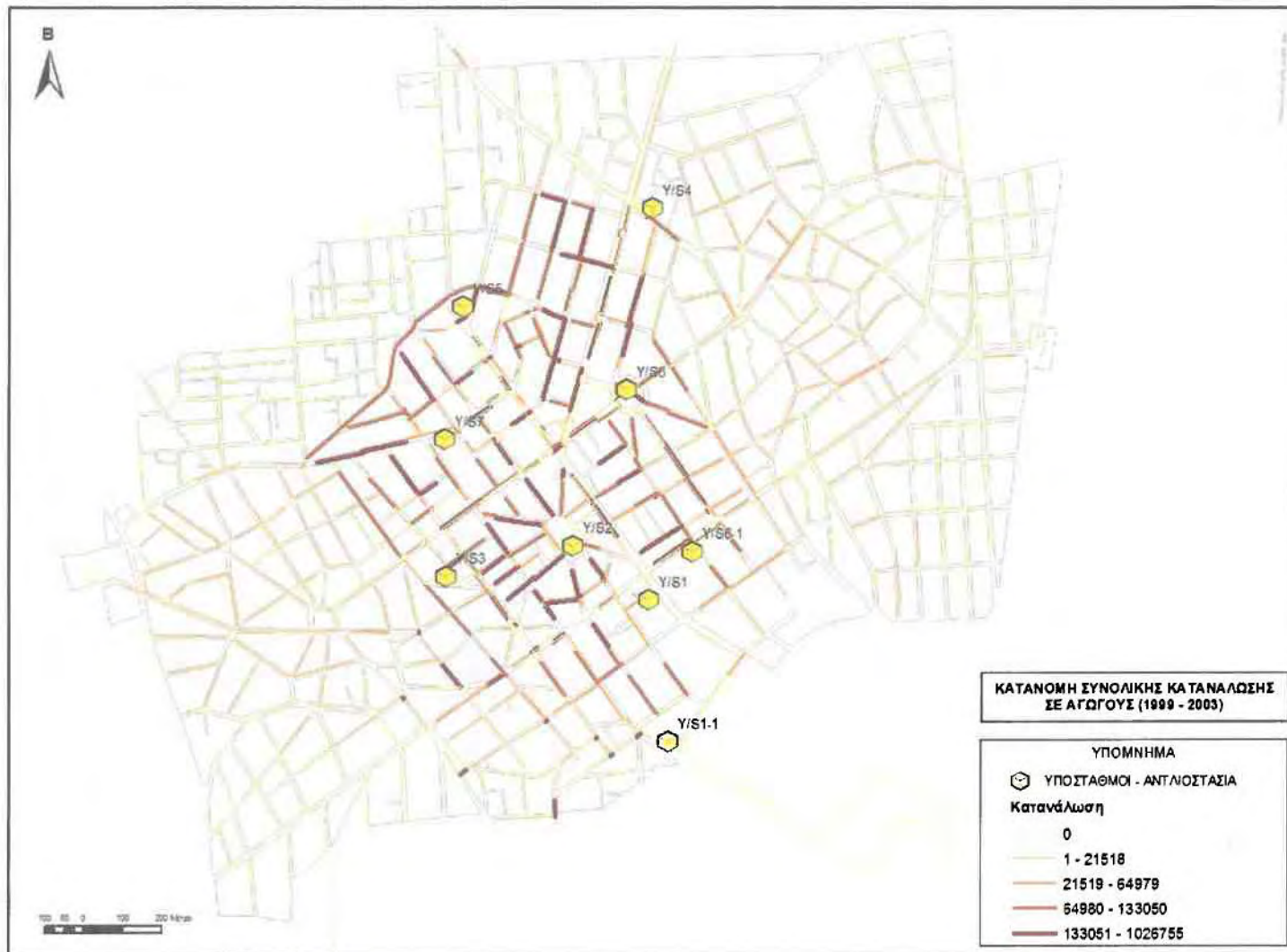
Χάρτης 5.13: Κατανομή παροχών σε αγωγούς

5.2.2.2 Κατανομή κατανάλωσης σε αγωγούς

Η κατανομή της κατανάλωσης σε αγωγούς, χάρτης κατανομής συνολικής κατανάλωσης σε αγωγούς 1999 – 2003, ακολουθεί όπως είναι αναμενόμενο την κατανομή της κατανάλωσης σε οδικούς άξονες, χάρτης κατανομής συνολικής κατανάλωσης σε άξονες. Η κατανομή έγινε με βάση τη μέθοδο Natural Breaks (Jenks) με πέντε κατηγοριοποιήσεις: 0 κατανάλωση, από 1 έως 21.518 μονάδες κατανάλωσης, από 21.519 έως 64.979 μονάδες κατανάλωσης, από 64.980 έως 133.050 μονάδες κατανάλωσης και τέλος από 133.051 έως και 1.026.755 μονάδες κατανάλωσης.

Τα τμήματα των αγωγών που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συνολική αθροιστικά από το έτος 1999 έως και το 2003, κατανάλωση, από 64.980 έως και 1.026.755 μονάδες κατανάλωσης, βρίσκονται στους οδικούς άξονες με την μεγαλύτερη συνολική κατανάλωση και κυρίως στο κέντρο της πόλης. Τα τμήματα των αγωγών αυτών αποτελούν κατά κύριο λόγο τμήματα του δευτερεύοντος δικτύου (έμμεσο σύστημα σύνδεσης) του συστήματος. Στο υπόλοιπο δίκτυο η συνολική κατανάλωση κυμαίνεται από 1 έως και 64.979 μονάδες κατανάλωσης, ενώ στη περίμετρο της πόλης η συνολική κατανάλωση είναι μηδέν, αφού δεν υπάρχουν ακόμα χρήστες στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης. Σε σύγκριση με τον χάρτη κατανομής του πληθυσμού σε οικοδομικά τετράγωνα ή με τον χάρτη κατανομής του πληθυσμού σε οδικούς άξονες, οι αγωγοί με την μεγαλύτερη συνολική κατανάλωση βρίσκονται επίσης στις περιοχές με την μεγαλύτερη κατανομή του πληθυσμού.

Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε και πάλι ότι ο μεγαλύτερος φόρτος χρήσης του δικτύου βρίσκεται στο κέντρο της πόλης όπου υπάρχει συγκεντρωμένος ο μεγαλύτερος αριθμός πληθυσμού και κτιρίων.



Χάρτης 5.14: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης σε αγωγούς

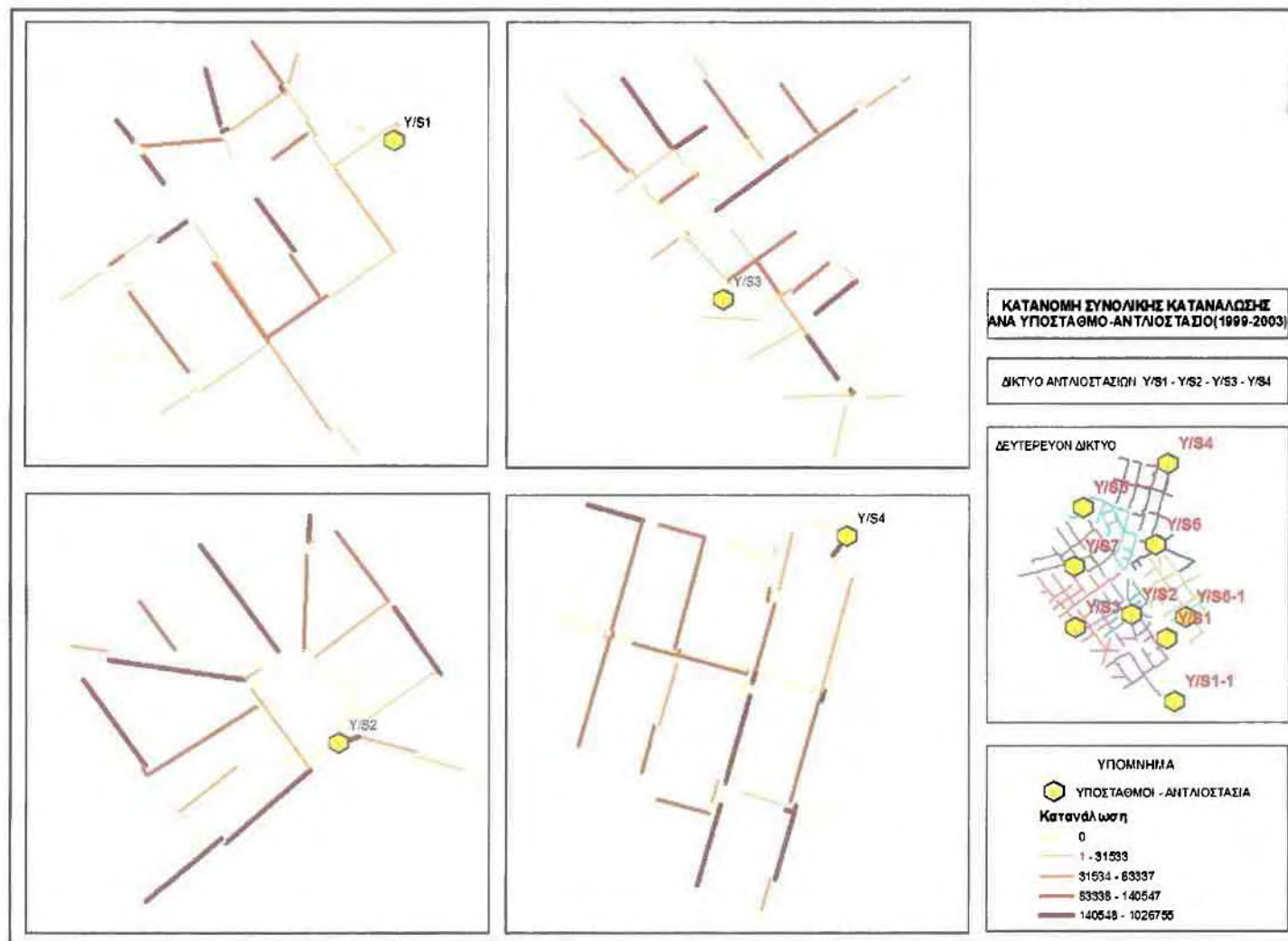
5.2.3 Ανάλυση της κατανάλωσης και του πληθυσμού που εξυπηρετούν οι υποσταθμοί – αντλιοστάσια του δευτερεύοντος δικτύου.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε το τμήμα του δευτερεύοντος δικτύου που βρίσκεται εγκατεστημένο στο κέντρο της πόλης, όπου είναι και συγκεντρωμένος ο μεγαλύτερος αριθμός κατοίκων. Το σύστημα αυτό αποτελείται από οκτώ αυτόνομα δίκτυα διανομής θερμικής ενέργειας προς τους καταναλωτές. Καθένα από τα οκτώ δίκτυα έχει το δικό του υποσταθμό – αντλιοστάσιο το οποίο λειτουργεί ως μέσω σύνδεσης με το άμεσο δίκτυο διανομής και ρυθμιστής πίεσης.

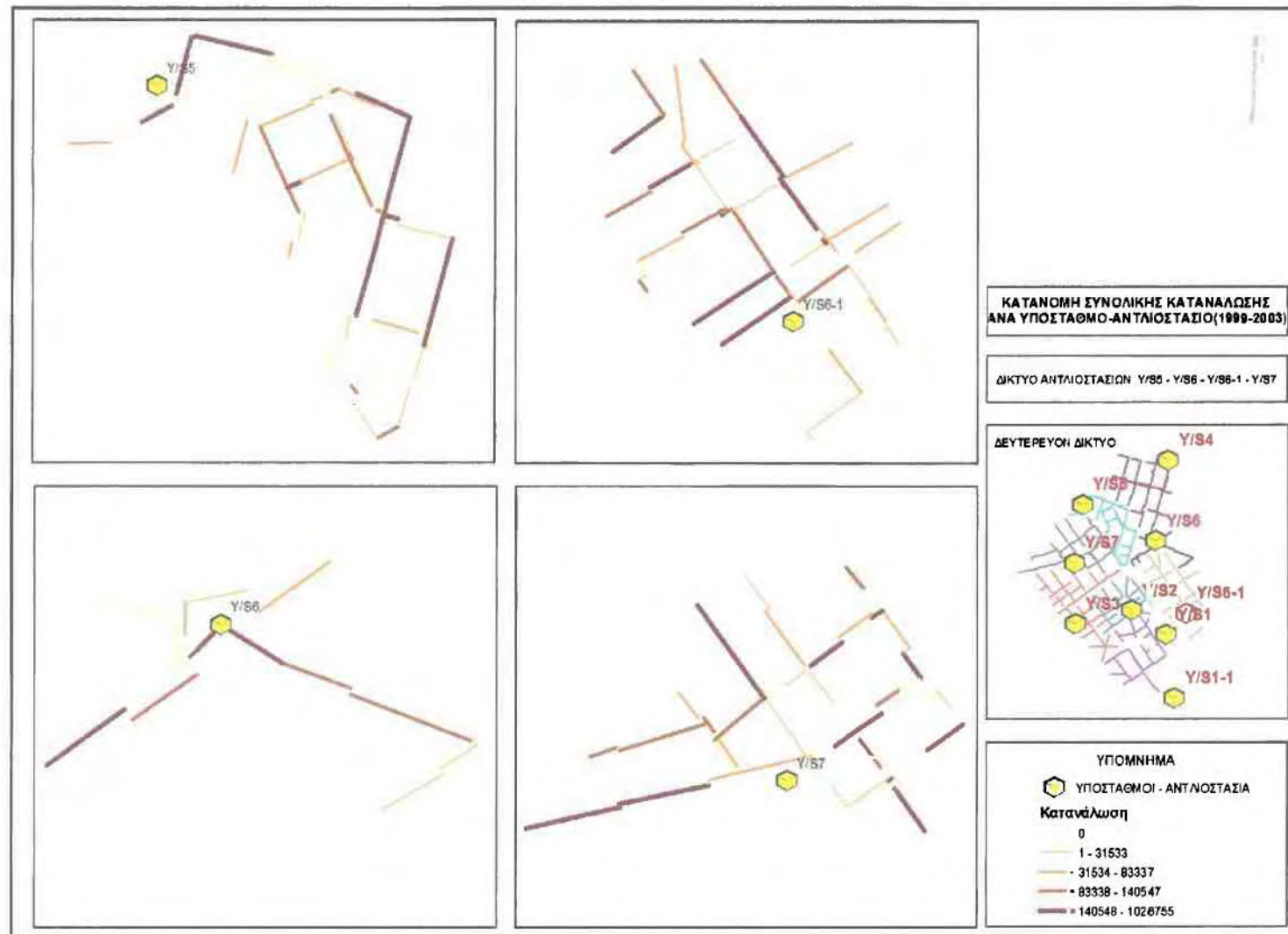
Στους δύο χάρτες κατανομής της συνολικής κατανάλωσης από το έτος 1999 έως και το 2003 ανά υποσταθμό – αντλιοστάσιο φαίνονται τα τμήματα των επιμέρους οκτώ δικτύων που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κατανάλωση. Η κατανομή της συνολικής κατανάλωσης έγινε σε πέντε κατηγορίες με την μέθοδο Natural Breaks (Jenks): 0 κατανάλωση, από 1 έως και 31.533 μονάδες κατανάλωσης, από 31.534 έως και 83.337 μονάδες κατανάλωσης, από 83.338 έως και 140.547 μονάδες κατανάλωσης και τέλος από 140.548 έως και 1.024.755 μονάδες κατανάλωσης.

Από την ανάλυση των δύο αυτών χαρτών δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε κάποια χωρική σχέση μεταξύ της κατανάλωσης και της απόστασης από τους υποσταθμούς – αντλιοστάσια. Τα τμήματα των αγωγών που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη κατανάλωση δεν μπορούν να συσχετιστούν με την απόστασή τους από τον αντίστοιχο υποσταθμό – αντλιοστάσιο. Αγωγοί με μεγάλη κατανάλωση βρίσκονται χωρικά και κοντά αλλά και μακριά από τους υποσταθμούς – αντλιοστάσια.

Η διαχρονική κατανάλωση ανά έτος λειτουργίας στα δίκτυα των οκτώ υποσταθμών – αντλιοστασίων φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα κατανάλωσης ανά υποσταθμό. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι και στα οκτώ δίκτυα η ετήσια κατανάλωση ακολουθεί την ίδια μορφή. Έχουμε μείωση της συνολικής κατανάλωσης το έτος 2000 σε σχέση με το προηγούμενο του 1999, στη συνέχεια παρατηρούμε αύξηση τον επόμενο χρόνο 2001 και μείωση στα αμέσως δύο επόμενα έτη 2002 και 2003. Η διαφοράς μεταξύ των καταναλώσεων παραμένουν σχεδόν σταθερές, μόνο κατά την διάρκεια του τελευταίου έτους 2003 η συνολική κατανάλωση του δικτύου του υποσταθμού πέντε ξεπέρασε αυτή του δικτύου του υποσταθμού τρία.

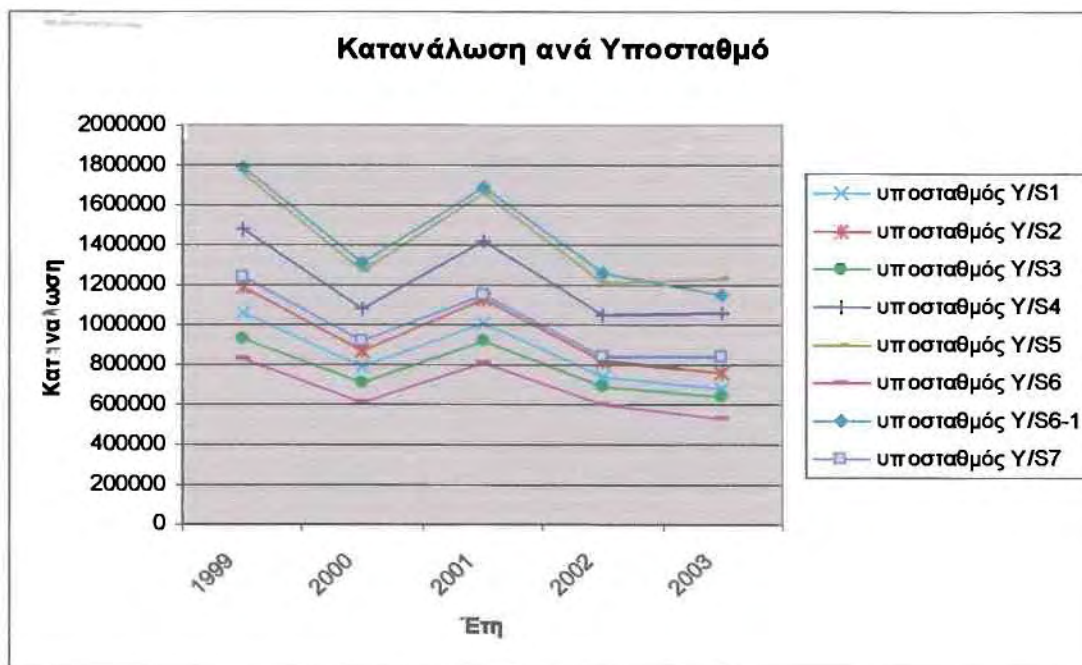


Χάρτης 5.15: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης ανά υποσταθμό – αντλιοστάσιο 1999 – 2003



Χάρτης 5.15: Κατανομή συνολικής κατανάλωσης ανά υποσταθμό – αντλιοστάσιο 1999 – 2003

Όσον αφορά την συνολική κατανάλωση αθροιστικά και στα οκτώ δίκτυα αυτή παρουσιάζεται στο διάγραμμα συνολικής κατανάλωσης υποσταθμών.

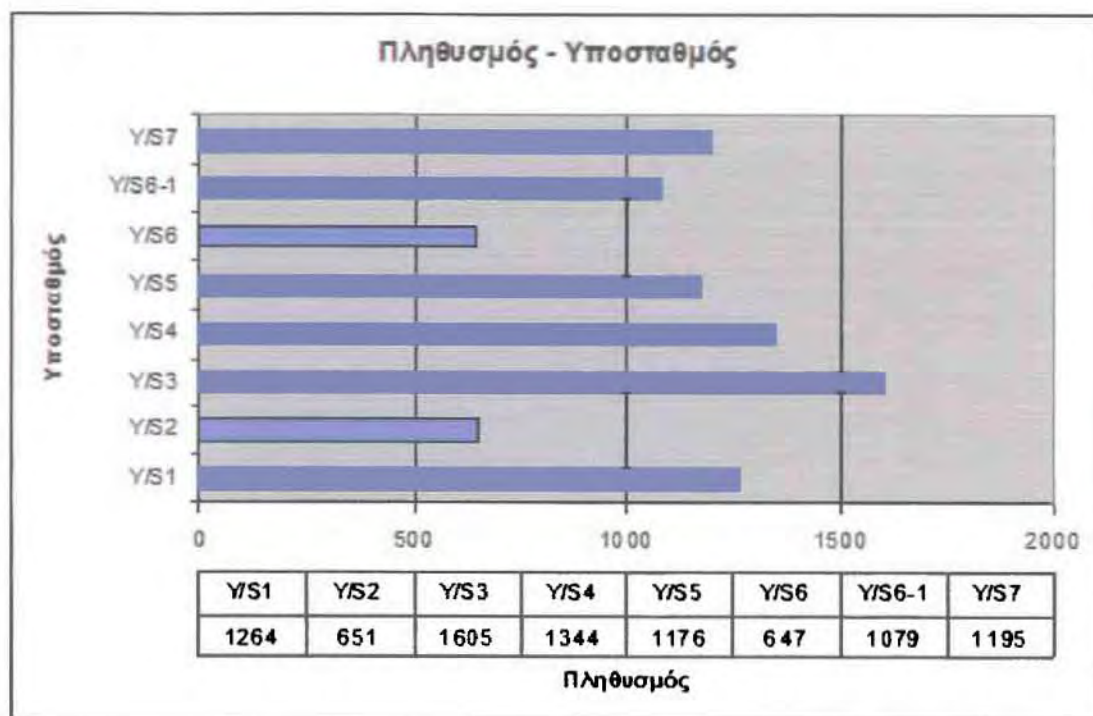


Διάγραμμα 5.2: Συνολικές καταναλώσεις ανά υποσταθμό



Διάγραμμα 5.3: Συνολική κατανάλωση

Ο πληθυσμός που εξυπηρετεί κάθε δίκτυο παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Το δίκτυο του υποσταθμού ένα (Y/S1) εξυπηρετεί 1.204 κατοίκους, του υποσταθμού δύο (Y/S2) εξυπηρετεί 651 κατοίκους, του υποσταθμού τρία (Y/S3) εξυπηρετεί 1.605 κατοίκους, του υποσταθμού τέσσερα (Y/S4) εξυπηρετεί 1.344 κατοίκους, του υποσταθμού πέντε (Y/S5) 1.176 κατοίκους, του υποσταθμού έξι (Y/S6) εξυπηρετεί 647 κατοίκους, του υποσταθμού έξι ένα (Y/S6-1) εξυπηρετεί 1.079 κατοίκους και τέλος του υποσταθμού επτά (Y/S7) εξυπηρετεί 1.195 κατοίκους.



Διάγραμμα 5.4: Πληθυσμός ανά υποσταθμό

Το γενικό συμπέρασμα που βγαίνει αν συγκρίνουμε τα διαγράμματα αυτά των διαχρονικών καταναλώσεων ανά υποσταθμό – αντλιοστάσιο ανά έτος και του πληθυσμού που εξυπηρετεί κάθε δίκτυο είναι ότι τα δίκτυα που εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό κατοίκων παρουσιάζουν μεγαλύτερη κατανάλωση από αυτά που εξυπηρετούν μικρό αριθμό κατοίκων.

5.2.4 Ανάλυση σημειακών κατανομών (παροχές)

Στην ενότητα αυτή θα εξετάσουμε την χωρική διασπορά του συνόλου των παροχών του δικτύου διανομής της τηλεθέρμανσης στην πόλη της Πτολεμαΐδας σαν αποτέλεσμα κάποιας χωρικής διαδικασίας. Εξετάζεται, δηλαδή, κατά πόσο η παρατηρούμενη χωρική κατανομή των παροχών παρουσιάζει ένα τυχαίο πρότυπο σε αντίθεση με τις δύο ακραίες μορφές του ομαδοποιημένου ή ομοιόμορφου προτύπου.

Οι γεωστατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν τη χωρική κατανομή των παροχών είναι ο σταθμισμένος χωρικός μέσος από τους δείκτες της χωρικής κεντρικότητας και η τυπική απόσταση από τους δείκτες της χωρικής διασποράς (Swain and Sonenshein, 1994). Ο υπολογισμός των παραπάνω δεικτών έγινε για κάθε ένα από τους δεκαπέντε λογαριασμούς που εξέδωσε η Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας από το 1999 μέχρι και το 2003, έτσι ώστε να δούμε και την μεταβολή τους και κατά την διάρκεια του έτους, πέρα από την μεταβολή τους ανά έτος.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών των σταθμισμένων χωρικών μέσων και των τυπικών αποστάσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και η χωρική τους θέση στην πόλη φαίνεται στα διαγράμματα των σταθμισμένων χωρικών μέσων ανά λογαριασμό.

Έτος	Λογαριασμός	Σταθμισμένος Χωρικός Μέσος		Τυπική Απόσταση
		Συντεταγμένη Χ	Τετμημένη Υ	
1999	1ος	1357,648	1301,235	526,345
1999	2ος	1364,887	1300,156	518,259
1999	3ος	1360,169	1289,145	524,604
2000	1ος	1361,069	1296,501	529,568
2000	2ος	1359,292	1280,446	552,110
2000	3ος	1356,465	1283,032	562,804
2001	1ος	1354,085	1279,039	581,330
2001	2ος	1345,995	1267,212	591,706
2001	3ος	1346,621	1264,294	603,850
2002	1ος	1358,243	1294,386	596,601
2002	2ος	1349,508	1268,344	621,752
2002	3ος	1349,786	1265,527	610,692
2002	Έκτακτος	1326,616	1251,489	621,934
2003	1ος	1349,793	1314,257	583,902
2003	2ος	1348,391	1275,095	609,864

Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες σταθμισμένων χωρικών μέσων

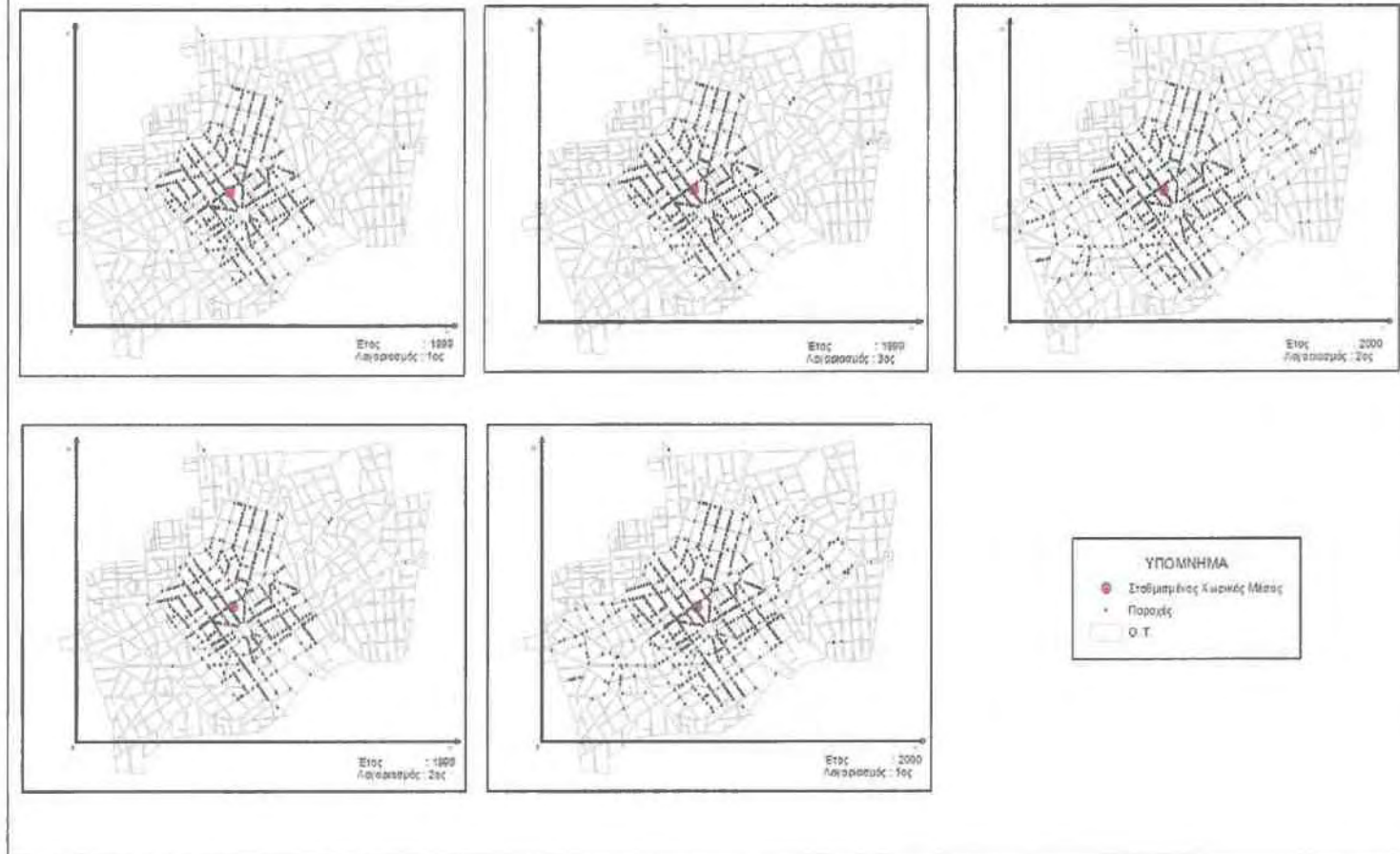
Ο χωρικός μέσος αντιπροσωπεύει τη θέση που μπορεί να δώσει την κατανομή συγκεντρωμένη (δες κεφάλαιο 2^ο), δίνοντάς μας την δυνατότητα να εξετάσουμε αν η

χωρική κατανομή των καταναλώσεων μεταβάλλεται διαχρονικά. Από την σύγκριση των συντεταγμένων των σημείων των σταθμισμένων χωρικών μέσων και την παρουσίασή τους στο χώρο συμπεραίνουμε ότι οι κατανομές δεν μεταβάλλονται σημαντικά διαχρονικά αφού έχουν σχεδόν παραπλήσιες συντεταγμένες (πολύ κοντινές θέσεις στο χώρο).

Η χωρική διασπορά σε σχέση με τον χωρικό μέσο είναι η τυπική απόσταση. Ο χωρικός μέσος έχει περισσότερο νόημα να παριστάνεται σε χάρτη παρά σαν απλή αριθμητική τιμή, με την τυπική απόσταση συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Οι έννοιες της χωρικής κεντρικότητας και της διασποράς, και ιδιαίτερα του χωρικού μέσου και της τυπικής απόστασης, είναι αλληλοσυμπληρούμενες.

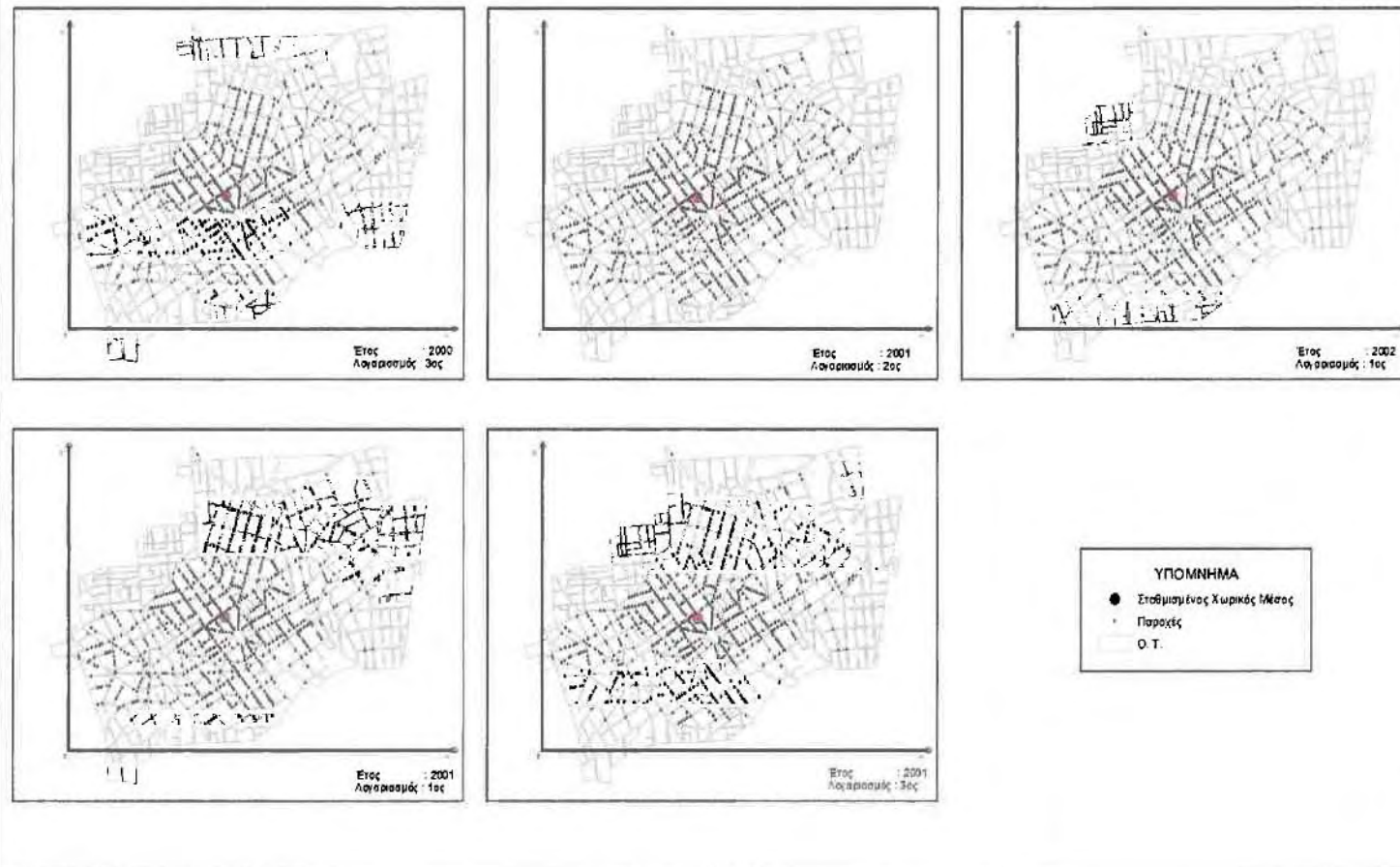
Οι τιμές της τυπικής απόστασης κυμαίνονται από 518,259 έως 621,752. Παρατηρούμε ότι η τιμή της τον τελευταίο λογαριασμό (2^{ος} του 2003) σε σχέση με τον πρώτο (1^{ος} του 1999) έχει αυξηθεί, ενώ ενδιάμεσα οι τιμές που παίρνει παρουσιάζουν μια τάση σταδιακής αύξησης με ορισμένες ελάχιστες μειώσεις, οι οποίες όμως αναιρούνται αμέσως από τον επόμενο υπολογισμό που ακολουθεί και επαναφέρουν την αρχική τους τάση.

Σταθμισμένοι Χωρικοί Μέσοι ανά Λογαριασμό



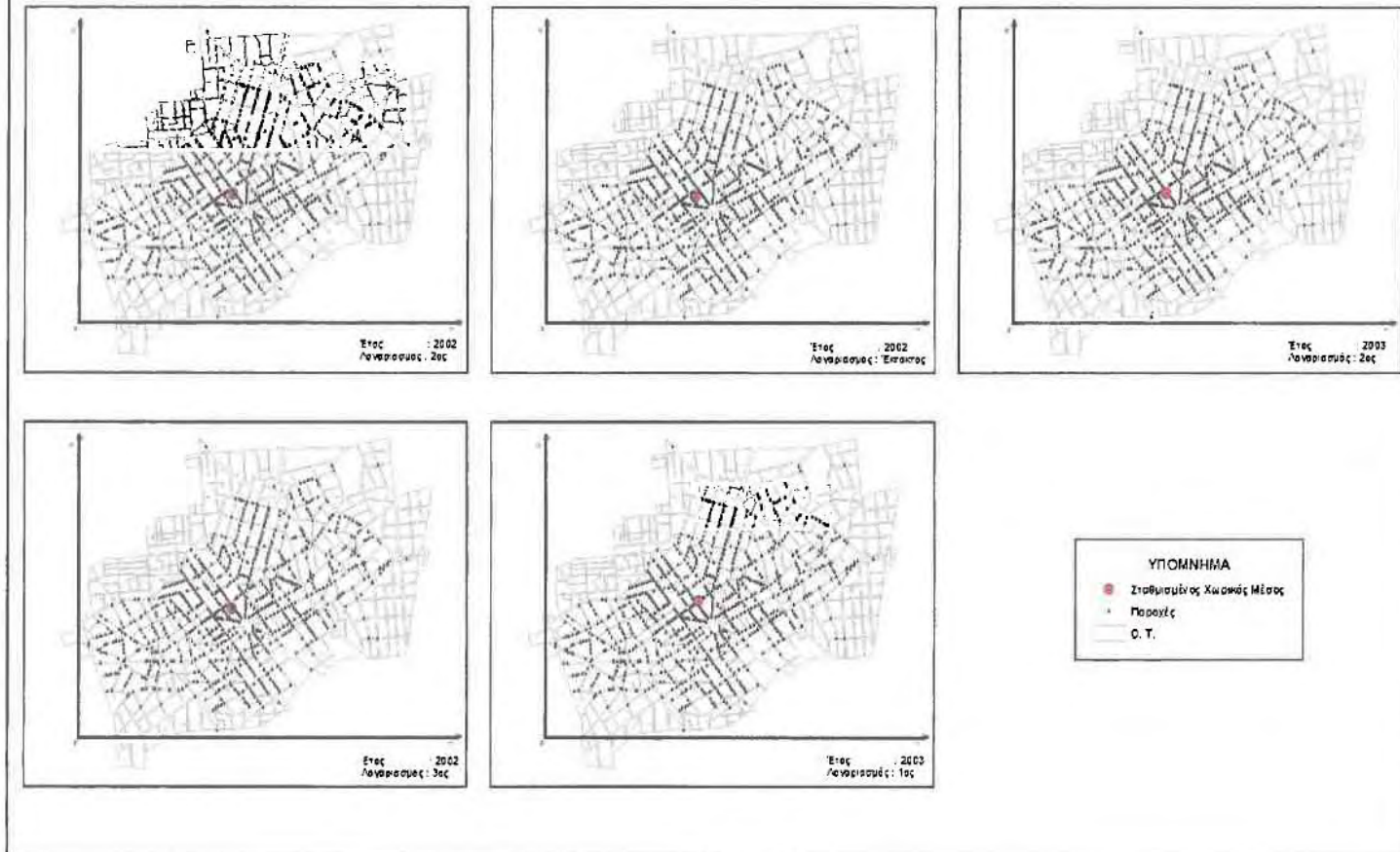
Χάρτης 5.16: Σταθμισμένοι χωρικοί μέσοι ανά λογαριασμό

Σταθμισμένοι Χωρικοί Μέσοι ανά Λογαριασμό



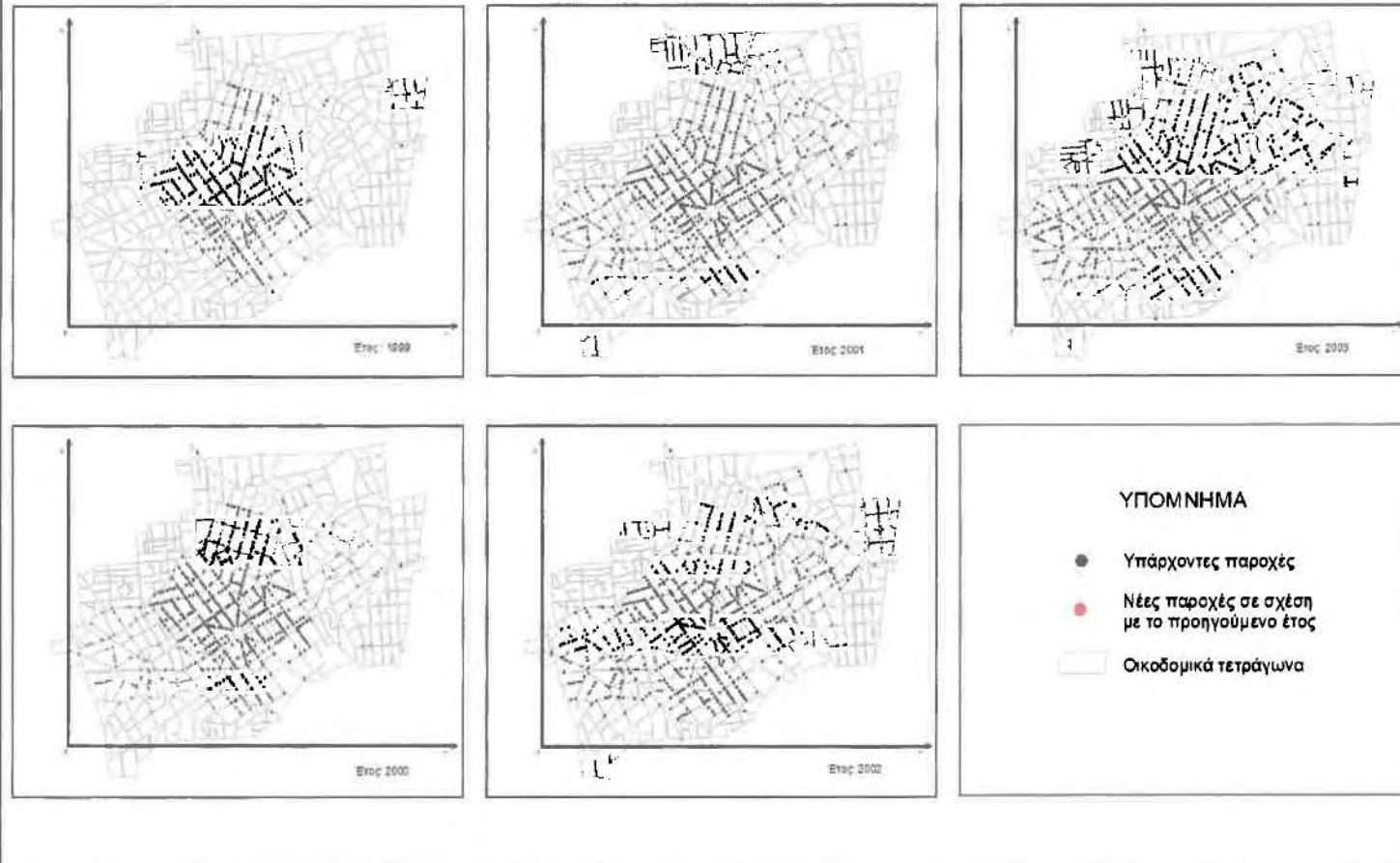
Χάρτης 5.17: Σταθμισμένοι χωρικοί μέσοι ανά λογαριασμό

Σταθμισμένοι Χωρικοί Μέσοι ανά Λογαριασμό



Χάρτης 5.16: Σταθμισμένοι χωρικοί μέσοι ανά λογαριασμό

Αύξηση Παροχών ανά Έτος



Χάρτης 5.19: Αύξηση παροχών ανά έτος

Το συνολικό συμπέρασμα που βγαίνει από τους δύο δείκτες της χωρικής κεντρικότητας και της χωρικής διασποράς είναι ότι η διαχρονική σημειακή κατανομή των καταναλώσεων δεν παρουσιάζει καμιά μεταβολή ως προς την κεντρικότητα αλλά έχουμε αύξηση της χωρικής διασποράς, η οποία ερμηνεύεται ως νέες παροχές στις περιοχές του δικτύου διανομής εκτός του κέντρου της πόλης. Οι νέες αυτές παροχές είναι σχεδόν κατανεμημένες σε ίσο αριθμό και στις δύο πλευρές του κέντρου αφού ο σταθμισμένος χωρικός μέσος δεν μεταβάλλεται σημαντικά.

5.2.5 Αξιολόγηση της δομής του συνολικού και δευτερεύοντος δικτύου διανομής (συνδετικότητα: δείκτης Γάμμα, δείκτης Άλφα).

Το δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από δύο ειδών δίκτυα, το άμεσο δίκτυο και το έμμεσο (δευτερεύον) δίκτυο διανομής. Στην ενότητα αυτή θα ασχοληθούμε με την ανάλυση (αξιολόγηση) και των δύο ως προς την συνδετικότητα και την κατηγορία (ελάχιστα, ενδιάμεσα ή μέγιστα συνδεδεμένα) στην οποία μπορούμε να τα κατατάξουμε. Η ανάλυση αυτή θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε την δομή του δικτύου και να εντοπίσουμε σχεδιαστικά προβλήματα.

5.2.5.1 Συνολικό δίκτυο (net)

Για τον υπολογισμό των δύο δεικτών απαραίτητος είναι ο υπολογισμός των συνδέσεων και των κόμβων του συνολικού δικτύου (άμεσο και έμμεσο). Με την χρήση κατάλληλου “script” στο περιβάλλον του ArcGIS βρέθηκε ότι ο συνολικός αριθμός των κόμβων του συνολικού δικτύου είναι ίσος με 2.253 κόμβους. Ο αριθμός των υπάρχοντων συνδέσεων μπορεί να υπολογιστεί μέσα από την βάση δεδομένων του δικτύου αφού κάθε τμήμα των αγωγών, που αποτελεί ξεχωριστή εγγραφή στη βάση, είναι και ένας υπάρχοντας σύνδεσμος. Έτσι βρέθηκε ότι στο συνολικό δίκτυο υπάρχουν 2.056 σύνδεσμοι. Από τη θεωρία των γραφημάτων (Busacher and Santy, 1965) είναι γνωστό ότι ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων σε ένα σχεδιαστικό δίκτυο είναι πάντοτε ίσος με $3(k-2)$, όπου k : είναι ο αριθμός των κόμβων του δικτύου. Άρα ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων υπολογίζεται ίσο με $3(k-2) = 3(2.253-2) = 6.753$ συνδέσμοι.

Επιπλέον, απαραίτητος για τον υπολογισμό του δείκτη Άλφα είναι ο υπολογισμός του αριθμού των κυκλικών συνδέσεων. Ο υπολογισμός τους γίνεται ο εξής: Αριθμός

κυκλικών συνδέσμων = $\sigma - (\kappa - 1)$, όπου σ ο αριθμός των υπαρχόντων συνδέσμων. Στην προκειμένη περίπτωση $\sigma - (\kappa - 1) = 2.056 - (2.253 - 1) = -196$ κυκλικοί σύνδεσμοι, δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι. Ο μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων σε ένα δίκτυο εξαρτάται από τον αριθμό των κορυφών του δικτύου και τον αριθμό των συνδέσμων που είναι αναγκαίοι για ελάχιστη συνδετικότητα μεταξύ των κορυφών. Για ένα σχεδιαστικό δίκτυο, ο μέγιστος αριθμός συνδέσμων είναι: $3(\kappa - 2)$ (Charley and Haggett, 1967) και, επομένως, ο μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων που δίνεται από τη διαφορά μεταξύ του μέγιστου αριθμού συνδέσμων και των υπαρχόντων συνδέσμων φαίνεται στη σχέση: $3(\kappa - 2) - (\sigma - 1) = 2\kappa - 5$. Άρα $2\kappa - 5 = 2 * 2.253 - 5 = 4.501$ μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων.

Στο συνολικό δίκτυο προκύπτουν:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{2.056}{3(2.253 - 2)} = 0,304$$

Άρα σε σχέση με την μέγιστη προσιότητα το συνολικό δίκτυο είναι 30,4% συνδεδεμένο.

$$\alpha = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{2.056 - 2.253 + 1}{2 * 2.253 - 5} = -0,044$$

Ο υπολογισμός του δείκτη Άλφα, όπως ήταν αναμενόμενο, δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

5.2.5.2 Πρωτεύον (άμεσο) δίκτυο (net1)

Με ακριβώς την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω για το πρωτεύον δίκτυο (net1) του δικτύου της τηλεθέρμανσης προκύπτουν:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{1.357}{3(1.535 - 2)} = 0,295$$

$$\alpha = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{1.357 - 1.535 + 1}{2 * 1.535 - 5} = -0,058$$

Επομένως, το πρωτεύον δίκτυο σε σχέση με την μέγιστη προσιότητα είναι 29,5% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

5.2.5.3 Δευτερεύον (έμμεσο) δίκτυο (net2)

Για το σύνολο του δευτερεύοντος δικτύου της τηλεθέρμανσης προκύπτουν:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{699}{3(717 - 2)} = 0,326$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{699 - 717 + 1}{2 * 717 - 5} = -0,012$$

Επομένως, το σύνολο του δευτερεύοντος δικτύου σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 32,6% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

5.2.5.4 Επιμέρους τμήματα του δευτερεύοντος δικτύου

Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε ξεχωριστά τα επιμέρους τμήματα του δευτερεύοντος δικτύου της τηλεθέρμανσης, δηλαδή τα οκτώ δίκτυα των οκτώ υποσταθμών – αντλιοστασίων του κέντρου της πόλης από τα οποία αποτελείται το συνολικό δευτερεύον δίκτυο.

Για το δίκτυο net2(1) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S1 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{93}{3(94 - 2)} = 0,337$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{93 - 94 + 1}{2 * 94 - 5} = 0,000$$

Επομένως, το δίκτυο net2(1) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 33,7% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Για το δίκτυο net2(2) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S2 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{71}{3(72 - 2)} = 0,338$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{71 - 72 + 1}{2 * 72 - 5} = 0,000$$

Επομένως, το δίκτυο net2(2) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 33,8% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Για το δίκτυο net2(3) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S3 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{127}{3(129 - 2)} = 0,333$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{127 - 129 + 1}{2 * 129 - 5} = -0,004$$

Επομένως, το δίκτυο net2(3) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 33,3% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Για το δίκτυο net2(4) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S4 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{91}{3(93 - 2)} = 0,333$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{91 - 93 + 1}{2 * 93 - 5} = -0,006$$

Επομένως, το δίκτυο net2(4) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 33,3% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Για το δίκτυο net2(5) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S5 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{88}{3(90 - 2)} = 0,333$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{88 - 90 + 1}{2 * 90 - 5} = -0,006$$

Επομένως, το δίκτυο net2(5) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 33,3% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Για το δίκτυο net2(6) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S6 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{34}{3(33 - 2)} = 0,366$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{34 - 33 + 1}{2 * 33 - 5} = 0,033$$

Επομένως, το δίκτυο net2(6) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 36,6% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα. Ο δείκτης Άλφα έχει νόημα σε αυτό το δίκτυο, α αριθμός των συνδέσεων είναι μεγαλύτερος από τους αναγκαίους για ελάχιστη συνδετικότητα, υπάρχουν 2 κυκλικοί σύνδεσμοι σε σχέση με τον μέγιστο αριθμό που είναι 61. Έτσι, το δίκτυο net2(6) έχει το 3,33% του μέγιστου αριθμού των κυκλικών συνδέσεων.

Για το δίκτυο net2(6-1) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S6-1 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{98}{3(105 - 2)} = 0,317$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{98 - 105 + 1}{2 * 105 - 5} = -0,029$$

Επομένως, το δίκτυο net2(6-1) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 31,7% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Για το δίκτυο net2(7) του υποσταθμού – αντλιοστασίου Y/S7 προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$\gamma = \frac{\text{υπάρχοντες_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_συνδέσμων}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma}{3(\kappa - 2)} = \frac{98}{3(100 - 2)} = 0,333$$

$$a = \frac{\text{υπάρχοντες_κυκλικά_σύνδεσμοι}}{\text{μέγιστος_αριθμός_κυκλικών_συνδέσμων}} = \frac{\sigma - \kappa + 1}{2\kappa - 5} = \frac{98 - 100 + 1}{2 * 100 - 5} = -0,005$$

Επομένως, το δίκτυο net2(7) σε σχέση με την μέγιστη προσιτότητα είναι 33,3% συνδεδεμένο, δείκτης Γάμμα, ενώ ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Συνολικά έχουμε:

Δίκτυο:	net	net1	net2
Δείκτης Γάμμα			
κόμβοι:	2253	1535	717
αριθμός συνδέσμων:	2056	1357	699
μέγιστος αριθμός συνδέσμων:	6753	4599	2145
$\gamma =$	0,304	0,295	0,326
Δείκτης Άλφα			
υπάρχοντες κυκλικοί σύνδεσμοι	-196	-177	-17
μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων:	4501	3065	1429
$\alpha =$	-0,044	-0,058	-0,012

Πίνακας 5.2: Δείκτες Γάμμα και Άλφα – net, net1 και net2

Δίκτυο:	net2(1)	net2(2)	net2(3)	net2(4)	net2(5)	net2(6)	net2(6-1)	net2(7)
Δείκτης Γάμμα								
κόμβοι:	94	72	129	93	90	33	105	100
αριθμός συνδέσμων:	93	71	127	91	88	34	98	98
μέγιστος αριθμός συνδέσμων:	276	210	381	273	264	93	309	294
$\gamma =$	0,337	0,338	0,333	0,333	0,333	0,366	0,317	0,333
Δείκτης Άλφα								
υπάρχοντες κυκλικοί σύνδεσμοι	0	0	-1	-1	-1	2	-6	-1
μέγιστος αριθμός κυκλικών συνδέσμων:	183	139	253	181	175	61	205	195
$\alpha =$	0,000	0,000	-0,004	-0,006	-0,006	0,033	-0,029	-0,005

Πίνακας 5.3: Δείκτες Γάμμα και Άλφα – Δευτερευόντων δικτύων

Παρατηρούμε ότι στο σύνολο των δικτύων που εξετάστηκαν ο δείκτης Γάμμα κυμαίνεται από 29,51% έως και 36,56%, με μικρότερη τιμή να την παρουσιάζει το πρωτεύον δίκτυο net1 και την μεγαλύτερη το τμήμα του δευτερευόντος δικτύου net2(6). Η μέση τιμή του δείκτη είναι 32,86% , η απόκλιση των τιμών από αυτή είναι ελάχιστη. Ο δείκτης Άλφα δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι. Εξάιρεση αποτελεί το τμήμα το δευτερευόντος δικτύου net2(6) όπου υπάρχουν 2 κυκλικοί σύνδεσμοι σε σχέση με τον μέγιστο αριθμό που είναι 61, το δίκτυο net2(6) έχει το 3,33% του μέγιστου αριθμού των κυκλικών συνδέσμων.

Η κατάταξη των δικτύων σε ελάχιστα, ενδιάμεσα και μέγιστα συνδεδεμένα (Taaffee and Gauthier, 1973) έγινε με βάση την ανάλυση των τιμών που μπορούν να

πάρουν οι δείκτες Γάμμα και Άλφα (δες κεφάλαιο 2^ο). Έτσι προέκυψαν συγκεντρωτικά τα παρακάτω αποτελέσματα:

Αξιολόγηση Συνολικής Δομής Δικτύου: Συνδετικότητα			
Δίκτυο	Δείκτης Γάμμα	Δείκτης Άλφα	Κατηγορία δικτύου
net	0,3045	-0,0435	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net1	0,2951	-0,0577	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2	0,3259	-0,0119	Ελάχιστα συνδεδεμένο

Αξιολόγηση Δομής Δευτερεύοντος Δικτύου ανά Υποσταθμό: Συνδετικότητα			
Δίκτυο	Δείκτης Γάμμα	Δείκτης Άλφα	Κατηγορία δικτύου
net2 (1)	0,3370	0,0000	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (2)	0,3381	0,0000	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (3)	0,3333	-0,0040	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (4)	0,3333	-0,0055	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (5)	0,3333	-0,0057	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (6)	0,3656	0,0328	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (6-1)	0,3172	-0,0293	Ελάχιστα συνδεδεμένο
net2 (7)	0,3333	-0,0051	Ελάχιστα συνδεδεμένο

*Όπου η τιμή του δείκτη Άλφα είναι αρνητική ο υπολογισμός της δεν έχει νόημα αφού δεν υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

Πίνακας 5.4: Αξιολόγηση δομής δικτύων

Όλα τα δίκτυα ανήκουν στην ίδια κατηγορία των ελάχιστα συνδεδεμένων δικτύων. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα του αρχικού προβληματικού σχεδιασμού. Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι ότι για να είναι ένα δίκτυο ενδιάμεσο ή μέγιστα συνδεδεμένο θα πρέπει να υπάρχουν επιπλέον σύνδεσμοι που να συνδέουν τους κόμβους με περισσότερους τρόπους, οι επιπλέον όμως σύνδεσμοι αποτελούν επιπλέον αγωγούς άρα μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Έτσι, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο σχεδιασμός του δικτύου της τηλεθέρμανσης έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος κατασκευής του, με συνέπεια να είναι ελάχιστα συνδεδεμένο και να μην υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι.

5.5 Πρόβλεψη

Στο τελευταίο μέρος της μελέτης της περίπτωσης της τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας γίνεται μελλοντική εκτίμηση της ετήσιας κατανάλωσης σε περιοχές όπου η σημερινή κατανάλωση είναι μηδενική.

Από την ανάλυση που προηγήθηκε, οι περιοχές αυτές βρίσκονται στην περιφέρεια του πολεοδομικού ιστού της πόλης. Οι υποψήφιοι καταναλωτές των περιοχών αυτών προβλέπεται να συνδεθούν μελλοντικά στο δίκτυο διανομής τηλεθέρμανσης με συνέπεια την αύξηση της ζήτησης του θερμικού φορτίου. Η έγκυρη και όσο το δυνατόν ακριβής εκτίμηση της μελλοντικής κατανάλωσης θα βοηθήσει σημαντικά την Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας στον καλύτερο σχεδιασμό και διαχείριση του δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας.

5.5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση

Η ανάλυση της σημερινής κατάστασης του δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας της τηλεθέρμανσης μας έδωσε σημαντικά στοιχεία για τους παράγοντες αυτούς που επηρεάζουν και σχετίζονται με τη ζήτηση.

Οι παράγοντες που έχουν σχέση με το μέγεθος της κατανάλωσης είναι:

1. Ο πληθυσμός,
2. ο αριθμός των παροχών,
3. η απόσταση από το κέντρο της πόλης και τέλος
4. οι καιρικές συνθήκες.

Ο πληθυσμός μιας περιοχής έχει άμεση σχέση με το επίπεδο, υψηλό ή χαμηλό, της κατανάλωσης στην περιοχή αυτή. Όσο μεγαλύτερος σε αριθμό είναι, όπως φαίνεται στην ενότητα της ανάλυσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κατανάλωση. Η πυκνότητα του πληθυσμού μπορεί να σχετιστεί με το μέγεθος του όγκο του δομημένου περιβάλλοντος. Στις περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού όπως το κέντρο της πόλης, συναντάμε μεγάλο όγκο κτιρίων ενώ σε περιοχές με μικρή συγκέντρωση πληθυσμού τα κτίρια είναι σαφώς λιγότερα σε αριθμό και μικρότερα σε μέγεθος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στις πρώτες προαναφερθείσες περιοχές να παρατηρούμε μεγαλύτερη κατανάλωση θερμικού φορτίου από ότι στις άλλες περιοχές λόγω του ότι ο μεγάλος όγκος και αριθμός κτιρίων απαιτεί περισσότερο θερμικό

φορτίο για την θέρμανσή τους. Επομένως, ο αριθμός του πληθυσμού σχετίζεται άμεσα με το επίπεδο της κατανάλωσης και πρέπει να ληφθεί υπόψη στην εξίσωση της πρόβλεψης της κατανάλωσης.

Το επίπεδο κατανάλωσης εξαρτάται επίσης και από τον αριθμό των παροχών. Στις περιοχές με υψηλή κατανάλωση έχουμε περισσότερες συνδέσεις σε σύγκριση με περιοχές με χαμηλή κατανάλωση. Στο κέντρο της πόλης που παρουσιάζει την μεγαλύτερη κατανάλωση, ο αριθμός των παροχών είναι μεγάλος ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτό ο αριθμός τους όπως και η κατανάλωση μειώνονται. Ο αριθμός των παροχών μας δίνει την δυνατότητα να συμπεράνουμε τον αριθμό των κτιρίων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο διανομής της τηλεθέρμανσης. Λόγου όμως του δεδομένου ότι το μέγεθος της κατανάλωσης σε μια παροχή διαφέρει από μια άλλη εξαιτίας της φύσης του κτιρίου που εξυπηρετεί, στην παρατήρησή της θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κάθε φορά το μέγεθος του κτιρίου ή ο πληθυσμός που αντιστοιχεί σε αυτό.

Ένας επιπλέον παράγοντας που φαίνεται να έχει σχέση με το επίπεδο της κατανάλωσης είναι ο χωρικός παράγοντας και πιο συγκεκριμένα η απόσταση της θέσης της περιοχής σε σχέση με το κέντρο της πόλης. Το γεγονός ότι όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο της πόλης η κατανάλωση μειώνεται μας αναγκάζει στην συνάρτηση πρόβλεψης της κατανάλωσης να λάβουμε υπόψη και τη χωρική διάσταση του φαινομένου.

Τέλος, οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση της κατανάλωσης. Σε δριμύς χειμερινές περιόδους η κατανάλωση όπως είναι κατανοητό είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε ήπιες περιόδους. Ο παράγοντας αυτός λαμβάνεται εμμέσως υπόψη μέσω της χωρικής απόστασης, οι περιοχές που βρίσκονται πιο μακριά από το κέντρο της πόλης είναι περισσότερο εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες από ότι οι περιοχές του κέντρου και μέσω των προηγούμενων καταναλώσεων, οι καταναλώσεις αυτές εμπεριέχουν εμμέσως και τον παράγοντα του καιρού.

5.5.2 Εξίσωση παλινδρόμησης κατανάλωσης

Η πρόβλεψη της μέσης ετήσιας κατανάλωσης σε περιοχές με μηδενική κατανάλωση αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία αφού πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι και να εξεταστούν διάφοροι τρόποι. Παρακάτω έγιναν δύο τρόποι πρόβλεψης με ικανοποιητικά αποτελέσματα:

1. Θα προβλεφθεί η μέση ετήσια κατανάλωση ως συνάρτηση του πληθυσμού και της δικτυακής απόστασης του οδικού άξονα (η πρόβλεψη γίνεται για τμήματα οδικών αξόνων) από το κέντρο της πόλης.
2. Θα προβλεφθεί η μέση ετήσια κατανάλωση ως συνάρτηση των παροχών αφού πρώτα γίνει πρόβλεψη της κατανομής των παροχών με βάση των πληθυσμό και την απόσταση από το κέντρο της πόλης.

5.5.2.1 Πρόβλεψη κατανάλωσης ως συνάρτηση του πληθυσμού και της απόστασης

Ο πρώτος τρόπος εύρεσης της σωστότερης συνάρτησης πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ανά οδικό άξονα, έγινε σε σχέση με τον πληθυσμό που αντιστοιχεί πάνω σε έναν οδικό άξονα και την δικτυακή απόστασή του από το κέντρο της πόλης.

Η μορφή της γραμμής παλινδρόμησης της πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης είναι:

$$\text{Κατανάλωση} = \alpha + \beta * \text{πληθυσμός} + \gamma * \text{απόσταση}$$

Ο πλήρης ορισμός της έγκειται στον υπολογισμό των καλύτερων συντελεστών α , β και γ .

Ο υπολογισμός της έγινε με την βοήθεια του στατιστικού προγράμματος “SPSS for Windows, Release: 10.0. 1.”. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα παρακάτω:

Ο παρακάτω πίνακας 5.4 δείχνει την εξαρτημένη και τις ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και την μέθοδο εισαγωγής των μεταβλητών. Η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η μέση ετήσια κατανάλωση (κατανάλωση) και οι

εξαρτημένες μεταβλητές είναι ο πληθυσμός ανά οδικό άξονα (πληθυσμός) και η απόσταση του οδικού άξονα από το κέντρο της πόλης (απόσταση).

Μοντέλο	Ανεξάρτητες μεταβλητές	Εξαρτημένη μεταβλητή	Μέθοδος
1	Πληθυσμός ανά οδικό άξονα, Απόσταση του οδικού άξονα από το κέντρο της πόλης	Μέση ετήσια κατανάλωση	Εισαγωγή

Πίνακας 5.4: Εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές

Ο συντελεστής προσδιορισμού είναι ένας δείκτης που δηλώνει την ικανότητα της γραμμής παλινδρόμησης να εξηγεί την πραγματικότητα. Οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται από 0 έως 1, όσο πιο κοντά στην μονάδα βρίσκεται, τόσο πιο καλή είναι

η εξίσωση παλινδρόμησης και ισούται με $R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{ESS}{TSS}$. Από τον πίνακα

5.5 των αποτελεσμάτων στην προκειμένη περίπτωση, το R^2 ισούται με 0,478, που σημαίνει ότι το 47,8% της συνολικής διακύμανσης των παρατηρούμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, κατανάλωση, εξηγείται από την γραμμή παλινδρόμησης. Συνεπώς, σχεδόν οι μισές παρατηρήσεις ανταποκρίνονται στην γραμμή παλινδρόμησης.

Μοντέλο	R	R ²	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,691	,478	,476	11966,7781

Πίνακας 5.5: Συντελεστής προσδιορισμού

Ο πίνακας 5.6 (ANOVA) συνοψίζει την ανάλυση της διακύμανσης της γραμμής παλινδρόμησης. Το σύνολο τετραγώνων είναι $TSS = 126.718.256.964,920$ από τα οποία τα μισά ερμηνεύτηκαν $ESS = 60.558.111.463,507$ και τα άλλα μισά όχι $RSS = 66.160.145.501,41$. Τα μέσα αθροίσματα των τετραγώνων ισούνται με τα αθροίσματα

Μοντέλο		Αθροίσματα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα αθροίσματα τετραγώνων	F	Sig.
1	Παλινδρόμηση	60558111463,507	2	30279055731,754	211,440	,000
	Κατάλοιπα	66160145501,413	462	143203778,142		
	Total	126718256964,920	464			

Πίνακας 5.6: ANOVA

των τετραγώνων δια τους βαθμούς ελευθερίας, $EMS = 30.279.055.731,754$ και $RMS = 143.203.778,142$. Οι βαθμοί ελευθερίας στην προκειμένη περίπτωση είναι για τα αθροίσματα των τετραγώνων που ερμηνεύονται (ESS) 2 και για αυτά που όχι 462

(RSS), ενώ το σύνολο είναι 464. Η κατανομή F προκύπτει από το πηλίκο:

$$F = \frac{EMS}{RMS} = 211,440, \text{ από τους πίνακες της κατανομής F για } \alpha = 0,05 \text{ βρίσκουμε}$$

$F(1,8) = 5,32$. Επειδή $F = 211,440 > 5,32 = F(1,8)$ δεχόμαστε ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Επιπλέον από το πίνακα 5.6, η τιμή της αξίας της κατανομής F, Sig, είναι μικρότερη από 0,05, που σημαίνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές, πληθυσμός και απόσταση, ερμηνεύουν σωστά τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής.

Τέλος, στον πίνακα 5.7 φαίνονται οι υπολογισμένοι συντελεστές α , β και γ της γραμμής παλινδρόμησης. Οι μη προτυποποιημένοι συντελεστές είναι οι συντελεστές της κατά εκτίμησης γραμμής παλινδρόμησης, $\alpha = 17.215,826$, $\beta = -23,248$ και $\gamma = 389,062$, η οποία τελικά θα χρησιμοποιηθούν στην πρόβλεψη της μέσης κατανάλωσης.

		Μη προτυποποιημένοι συντελεστές		Προτυποποιημένοι συντελεστές	t
Μοντέλο		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	17215,826	1797,744		9,576
	Απόσταση	-23,248	1,886	-.427	-12,327
	Πληθυσμός	389,062	29,821	,452	13,046

Πίνακας 5.7: Συντελεστές εξίσωσης

Συχνά οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι σε διαφορετικές μονάδες. Οι τυποποιημένοι συντελεστές ή betas είναι μια προσπάθεια να γίνουν οι συντελεστές της γραμμής παλινδρόμησης πιο συγκρίσιμοι.

Η κατανομή t μας βοηθά να καθορίσουμε την ανάλογη σημασία κάθε μεταβλητής στον πρότυπο. Σαν οδηγό σχετικά με σημασία των μεταβλητών είναι οι τιμές της αρκετά κάτω από -2 ή επάνω από + 2. Στο δικό μας πρότυπο οι συντελεστές της γραμμής παλινδρόμησης πληρούν την παραπάνω υπόθεση.

Άρα τελικά, η γραμμή παλινδρόμησης της πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης σε συνάρτηση με τον πληθυσμό ανά οδικό άξονα και την απόσταση του οδικού άξονα από το κέντρο της πόλης είναι:

$$\text{Κατανάλωση} = \alpha + \beta * \text{πληθυσμός} + \gamma * \text{απόσταση}$$

$$\text{Κατανάλωση} = 17215,826 - 23,248 * \text{απόσταση} + 389,062 * \text{πληθυσμός}$$

5.5.2.2 Πρόβλεψη κατανάλωσης ως συνάρτηση των παροχών

Η δεύτερη διαδικασία εύρεσης της σωστότερης συνάρτησης πρόβλεψης της μέσης ετήσια κατανάλωσης ανά οδικό άξονα, έγινε σε δύο στάδια:

1. Πρόβλεψη της αναμενόμενης κατανομής των παροχών ανά οδικό άξονα σε συνάρτηση με τον πληθυσμό που αντιστοιχεί στον οδικό άξονα και την απόστασή του από το κέντρο της πόλης.
2. Πρόβλεψη της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ως συνάρτηση του αριθμού των παροχών ανά οδικό άξονα, ο οποίος προκύπτει από την πρόβλεψη της αναμενόμενης κατανομής των παροχών από το πρώτο στάδιο.

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του πρώτου σταδίου είναι:

Η εξαρτημένη και οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν, πίνακας 5.8, είναι οι παροχές (παροχές) ως εξαρτημένη και ο πληθυσμός ανά οδικό άξονα (πληθυσμός) και η απόσταση του οδικού άξονα από το κέντρο της πόλης (απόσταση) ως ανεξάρτητες.

Μοντέλο	Ανεξάρτητες μεταβλητές	Εξαρτημένη μεταβλητή	Μέθοδος
2	Πληθυσμός ανά οδικό άξονα, Απόσταση του οδικού άξονα από το κέντρο της πόλης	Παροχές	Εισαγωγή

Πίνακας 5.8: Εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ισούται με 0,403 πίνακας 5.9, που σημαίνει ότι το 40,3% της συνολικής διακύμανσης των παρατηρούμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, παροχές, εξηγείται από την γραμμή παλινδρόμησης.

Μοντέλο	R	R^2	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
2	,635	,403	,400	2,0720

Πίνακας 5.9: Συντελεστής προσδιορισμού

Ο πίνακας 5.10 (ANOVA) συνοψίζει την ανάλυση της διακύμανσης της γραμμής παλινδρόμησης. Το σύνολο τετραγώνων είναι $TSS = 3.336,604$ από τα οποία ερμηνεύεται το $ESS = 1.344,572$ και όχι το $RSS = 1.992,032$. Τα μέσα αθροίσματα των τετραγώνων ισούνται με τα αθροίσματα

Μοντέλο		Αθροίσματα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα αθροίσματα τετραγώνων	F	Sig.
2	Παλινδρόμηση	1344,572	2	672,286	156,594	,000
	Κατάλοιπα	1992,032	464	4,293		
	Σύνολο	3336,604	466			

Πίνακας 5.10: ANOVA

των τετραγώνων δια τους βαθμούς ελευθερίας, $EMS = 672,286$ και $RMS = 4,293$. Οι βαθμοί ελευθερίας είναι για τα αθροίσματα των τετραγώνων που ερμηνεύονται (ESS) 2 και για αυτά που όχι 464 (RSS), ενώ το σύνολο είναι 466. Η κατανομή F ισούται με: $F = \frac{EMS}{RMS} = 156,594$, από τους πίνακες της κατανομής F για $\alpha = 0,05$ βρίσκουμε $F(1,8) = 5,32$. Επειδή $F = 156,594 > 5,32 = F(1,8)$ δεχόμαστε ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Η τιμή της αξίας της κατανομής F, Sig, είναι μικρότερη από 0,05, που σημαίνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές, πληθυσμός και απόσταση, ερμηνεύουν σωστά τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής.

Τέλος, στον πίνακα 5.11 φαίνονται οι υπολογισμένοι συντελεστές α , β και γ της γραμμής παλινδρόμησης. Οι μη προτυποποιημένοι συντελεστές (συντελεστές της κατά εκτίμησης γραμμής παλινδρόμησης) ισούνται με: $\alpha = 2,471$, $\beta = -23,248$ και $\gamma = 389,062$.

		Μη προτυποποιημένοι συντελεστές		Προτυποποιημένοι συντελεστές	t
Μοντέλο		B	Std. Error	Beta	
2	(Constant)	2,471	,311		7,955
	Απόσταση	-1,742E-03	,000	-,197	-5,341
	Πληθυσμός	7,799E-02	,005	,558	15,124

Πίνακας 5.11: Συντελεστές εξίσωσης

Η κατανομή t για τον συντελεστή α , β και γ είναι 7,955, -5,341 και 15,124 αντίστοιχα, οι οποίες τιμές κάτω από -1,96 ή επάνω από + 1,96. Επομένως, έχουν σημαντική σημασία στην εξίσωση.

Η γραμμή παλινδρόμησης της πρόβλεψης των παροχών σε συνάρτηση με τον πληθυσμό ανά οδικό άξονα και την απόσταση του οδικού άξονα από το κέντρο της πόλης είναι:

$$\text{Παροχές} = \alpha + \beta * \text{πληθυσμός} + \gamma * \text{απόσταση}$$

$$\text{Παροχές} = 2,471 - 0,001742 * \text{απόσταση} + 0,07799 * \text{πληθυσμός}$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών του δεύτερου σταδίου είναι:

Η εξαρτημένη και οι ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην τελευταία γραμμή παλινδρόμησης, πίνακας 5.12, είναι η μέση ετήσια κατανάλωση (κατανάλωση) ως εξαρτημένη και οι παροχές ανά οδικό άξονα (παροχές) ως ανεξάρτητη.

Μοντέλο	Ανεξάρτητες μεταβλητές	Εξαρτημένη μεταβλητή	Μέθοδος
3	Παροχές	Μέση ετήσια κατανάλωση	Εισαγωγή

Πίνακας 5.12: Εξαρτημένη και ανεξάρτητες μεταβλητές

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ισούται με 0,606 πίνακας 5.13, που σημαίνει ότι το 60,6% της συνολικής διακύμανσης των παρατηρούμενων τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, κατανάλωση, εξηγείται από την γραμμή παλινδρόμησης.

Μοντέλο	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
3	,779	,606	,605	11864,9465

Πίνακας 5.13: Συντελεστής προσδιορισμού

Ο πίνακας 5.14 (ANOVA) συνοψίζει την ανάλυση της διακύμανσης της γραμμής παλινδρόμησης. Το σύνολο τετραγώνων είναι $TSS = 169.771.948.640,077$ από τα οποία ερμηνεύεται το $ESS = 102.902.895.250,920$ και όχι το $RSS = 66.869.053.389,157$. Τα μέσα αθροίσματα των τετραγώνων ισούνται με τα αθροίσματα

Μοντέλο		Αθροίσματα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα αθροίσματα τετραγώνων	F	Sig.
3	Παλινδρόμηση	102902895250,920	1	102902895250,920	730,964	,000
	Κατάλοιπα	66869053389,157	475	140776954,503		
	Σύνολο	169771948640,077	476			

Πίνακας 5.14: ANOVA

των τετραγώνων δια τους βαθμούς ελευθερίας, $EMS = 102.902.895.250,920$ και $RMS = 140.776.954,503$. Οι βαθμοί ελευθερίας είναι για τα αθροίσματα των τετραγώνων που ερμηνεύονται (ESS) 1 και για αυτά που όχι 475 (RSS), ενώ το σύνολο είναι 476.

Η κατανομή F ισούται με: $F = \frac{EMS}{RMS} = 730,964$, από τους της κατανομής F, ομοίως

όπως και στις παραπάνω παλινδρομήσεις, για $\alpha = 0,05$ βρίσκουμε $F(1,8) = 5,32$. Επειδή $F = 730,964 > 5,32 = F(1,8)$ δεχόμαστε ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Η τιμή της αξίας της κατανομής F, Sig, είναι μικρότερη από 0,05, που σημαίνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή, παροχές, ερμηνεύουν σωστά την διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής.

Τέλος, στον πίνακα 5.15 φαίνονται οι υπολογισμένοι συντελεστές α και β της γραμμής παλινδρόμησης. Οι μη προτυποποιημένοι συντελεστές (συντελεστές της κατά εκτίμησης γραμμής παλινδρόμησης) ισούνται με: $\alpha = -503,230$ και $\beta = 3.421,236$.

		Μη προτυποποιημένοι συντελεστές		Προτυποποιημένοι συντελεστές	t
Μοντέλο		B	Std. Error	Beta	
3	(Constant)	-503,230	692,203		-,727
	Παροχές	3421,236	126,542	,779	27,036

Πίνακας 5.15: Συντελεστές εξίσωσης

Η κατανομή t για τον συντελεστή α και β είναι -0,727 και 27,036 αντίστοιχα.

Η γραμμή παλινδρόμησης της πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ανά οδικό άξονα σε συνάρτηση με τις παροχές ανά οδικό άξονα είναι:

$$\text{Κατανάλωση} = \alpha + \beta * \text{παροχές}$$

$$\text{Κατανάλωση} = - 503,230 + 3421,236 * \text{παροχές}$$

Συνεπώς, στον δεύτερο τρόπο υπολογισμού της πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ανά οδικό άξονα, υπολογίστηκαν δύο γραμμές παλινδρόμησης, οι οποίες αν εφαρμοστούν μας οδηγούν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

1. Παροχές = 2,471 – 0,001742 * απόσταση + 0,07799 * πληθυσμός

2. Κατανάλωση = – 503,230 + 3421,236 * παροχές

Πρώτα γίνεται ο υπολογισμός της αναμενόμενης κατανομής των παροχών και μετά υπολογίζεται η μέση ετήσια κατανάλωση ως συνάρτηση του προηγούμενου.

5.5.2.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τρόπων πρόβλεψης

Οι δύο παραπάνω προσεγγίσεις πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης προσεγγίζουν το θέμα από δύο διαφορετικές πλευρές. Στην πρώτη, υπολογίζεται ως συνάρτηση μόνο του πληθυσμού και της απόστασής του από το κέντρο της πόλης, ενώ στην δεύτερη, ο υπολογισμός της γίνεται έμμεσα σε σχέση με τον αριθμό των παροχών, αφού πρώτα γίνει πρόβλεψη των παροχών σε συνάρτηση με τον πληθυσμό και την απόστασή του από το κέντρο της πόλης.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τρόπων καθώς και η σύγκρισή τους (σε περιοχές που έχουμε ήδη κατανάλωση) με μετρήσεις κατανάλωσης από άλλα έτη (ιστορικό κατανάλωσης), θα μας βοηθήσουν να επιλέξουμε ποιος από τους δύο τρόπους και ποια γραμμή παλινδρόμησης προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματικότητα. Για τις περιοχές που δεν έχουμε κατανάλωση και θέλουμε τελικά να την προβλέψουμε θα δούμε ποια μπορεί να εφαρμοστεί και να μας δώσει αποτελέσματα.

Από μια πρώτη ματιά στα συνολικά αποτελέσματα (παράρτημα: πίνακας 1) παρατηρούμε ότι ο πρώτος τρόπος δεν μας δίνει για όλες τις περιοχές αποτελέσματα σε αντίθεση με τον δεύτερο τρόπο όπου μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλες τις περιοχές με πληθυσμό.

Για τον πρώτο τρόπο η προϋπόθεση που πρέπει να ισχύει για να εφαρμοστεί είναι:

$$\begin{aligned} \text{κατανάλωση} > 0 &\Rightarrow \\ 17215,826 - 23,248 * \text{απόσταση} + 389,062 * \text{πληθυσμός} > 0 &\Rightarrow \\ \text{πληθυσμός} > -44,25 + 0,06 * \text{απόσταση} \end{aligned}$$

Επομένως, σε περίπτωση που δεν ισχύει η παραπάνω προϋπόθεση η εφαρμογή της γραμμής παλινδρόμησης του πρώτου τρόπου είναι άτοπη αφού τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την κατανάλωση είναι αρνητικά. Οι περιπτώσεις που δεν μπορεί να εφαρμοστεί είναι αρκετές (χάρτης 5.20: πρόβλεψη κατανάλωσης με τον 1^ο τρόπο).

Για τον δεύτερο τρόπο οι προϋποθέσεις είναι:

$$1. \text{ Για την συνάρτηση πρόβλεψης των παροχών πρέπει να ισχύει:} \\ \text{παροχές} > 0 \Rightarrow 2,471 - 0,001 * \text{απόσταση} + 0,077 * \text{πληθυσμός} > 0 \Rightarrow \\ \text{πληθυσμός} > -31,68 + 0,02 * \text{απόσταση}$$

$$2. \text{ Για την συνάρτηση πρόβλεψης της κατανάλωσης:} \\ \text{κατανάλωση} > 0 \Rightarrow -503,23 + 34231,236 * \text{παροχές} > 0 \Rightarrow \\ \text{παροχές} > 0,014$$

με το δεδομένο της ισχύς της προϋπόθεσης 1, η προϋπόθεση αυτή ουσιαστικά δεν υπάρχει.

Από τα αποτελέσματα της πρόβλεψη με αυτόν τον τρόπο (χάρτης 5.22: πρόβλεψη κατανάλωσης με τον 2° τρόπο) βλέπουμε ότι είναι ελάχιστες οι περιπτώσεις που δεν μπορεί να εφαρμοστεί λόγω της μη ισχύς μιας εκ των δύο παραπάνω προϋποθέσεων.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του πρώτου τρόπου με τα αποτελέσματα του δεύτερου τρόπου (όπου υπάρχουν αποτελέσματα και στους δύο τρόπους) δείχνει ότι οι καταναλώσεις που υπολογίζονται με τον πρώτο τρόπο και αυτές που υπολογίζονται με τον δεύτερο τρόπο μπορεί να είναι αριθμητικά διαφορετικές αλλά δεν αποκλίνουν πολύ μεταξύ τους. Η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείται μεταξύ τους είναι 15.341 μονάδες, άξονας 1230, ενώ η μικρότερη είναι 44 μονάδες, άξονας 141. Το άθροισμα των αποτελεσμάτων αυτών, του πρώτου τρόπου είναι 7.453.394 μονάδες κατανάλωσης ενώ του δεύτερου τρόπου είναι 6.767.691 μονάδες κατανάλωσης. Η υπολογισμένη κατανάλωση με τον πρώτο τρόπο είναι περίπου 10% μεγαλύτερη από αυτή του δεύτερου τρόπου.

Τέλος, όσον αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων με καταναλώσεις προηγούμενων ετών και με την μέση κατανάλωση των πέντε τελευταίων ετών (όπου αυτές υπάρχουν) δεν μπορούμε να βγάλουμε κάποιο ασφαλή συμπέρασμα αφού σε ορισμένες περιπτώσεις η προβλεπόμενη κατανάλωση με τον πρώτο τρόπο προσεγγίζει τις μετρήσεις άλλων ετών και άλλες την προσεγγίζει η προβλεπόμενη κατανάλωση με τον δεύτερο τρόπο.

5.5.2.4 Χάρτες πρόβλεψης κατανάλωσης

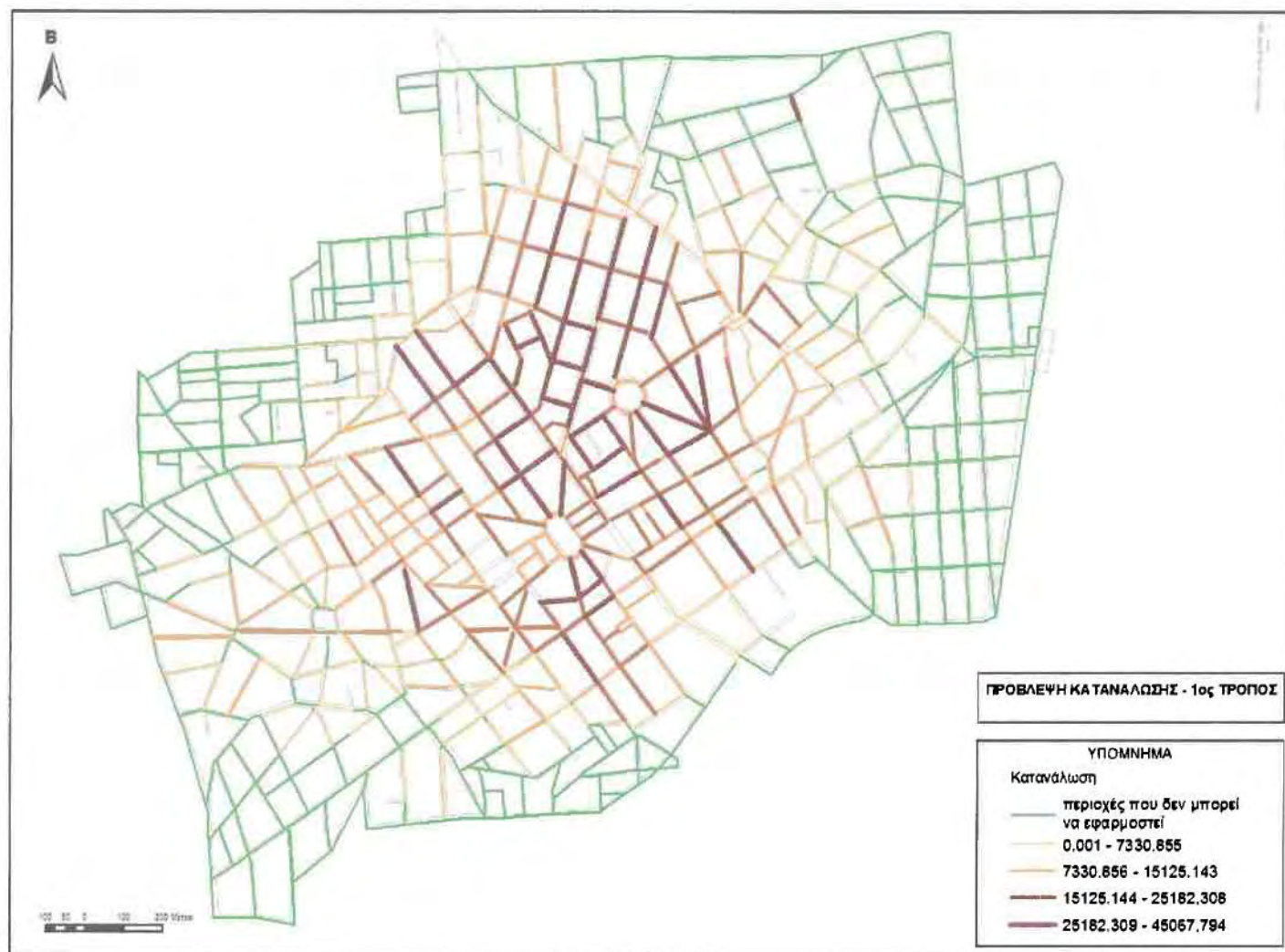
Μέσα από την σύγκριση των δύο χαρτών πρόβλεψης της μέσης ετήσιας κατανάλωσης θα δούμε και γραφικά τις διαφορές και τις ομοιότητες των δύο τρόπων πρόβλεψης που περιγράφηκαν παραπάνω.

Από τον χάρτη πρόβλεψης της κατανάλωσης με τον πρώτο τρόπο, χάρτης πρόβλεψης – 1^{ος} τρόπος, παρατηρούμε ότι σε μια μεγάλη περιοχή της πόλης, η οποία βρίσκεται περιμετρικά του κέντρου, ο τρόπος αυτός δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Η εφαρμογή του είναι εφικτή σχεδόν μόνο στο κέντρο της πόλης. Αντιθέτως, ο δεύτερος τρόπος πρόβλεψης, χάρτης πρόβλεψης – 2^{ος} τρόπος, μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες της περιοχές της πόλης που έχουν πληθυσμό.

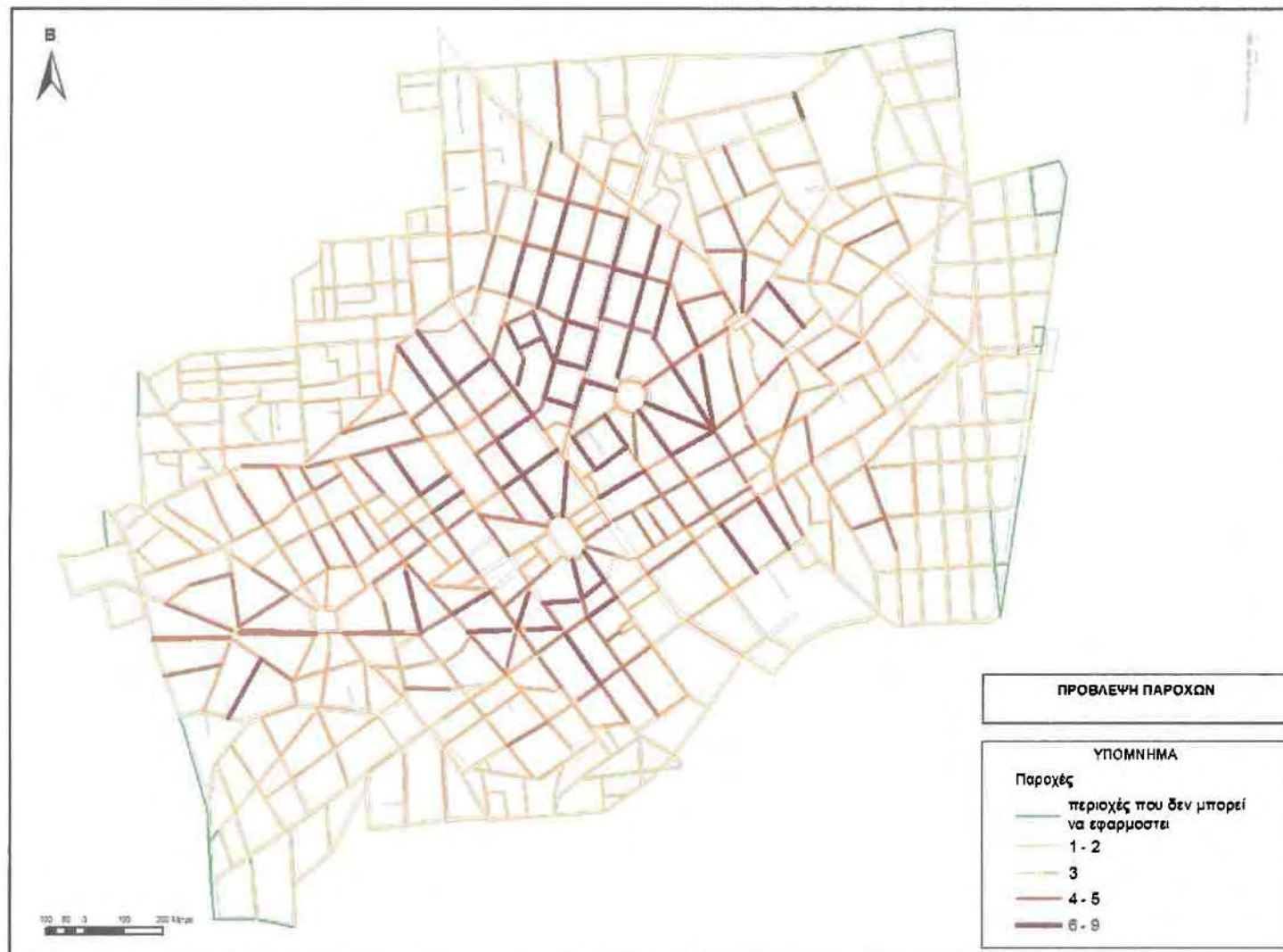
Επιπλέον, από την σύγκριση των δύο χαρτών πρόβλεψης για τις περιοχές που εφαρμόζονται και οι δύο, κυρίως στο κέντρο της πόλης, παρατηρούμε ότι οι καταναλώσεις των περιοχών αυτών είναι «όμοιες». Με τον όρο «όμοιες» εννοούμε ότι με βάση την κατηγοριοποίηση των καταναλώσεων των δύο χαρτών πρόβλεψης, πέντε κατηγορίες, ανήκουν στο ίδιο επίπεδο κατηγορίας και στους δύο χάρτες. Επομένως, ανεξάρτητα με τον τρόπο πρόβλεψης της κατανάλωσης για τις περιοχές αυτές η κατανάλωσή τους είναι ίδια σε ένταση σε σχέση με τις άλλες περιοχές.

Τέλος, όσον αφορά τις περιοχές που δεν έχουμε κατανάλωση, ο δεύτερος τρόπος πρόβλεψης είναι αυτός που ενδείκνυται για την μελλοντική πρόβλεψη της κατανάλωσης αφού σε όλες τις περιοχές μπορεί να εφαρμοστεί και να μας δώσει αποτελέσματα.

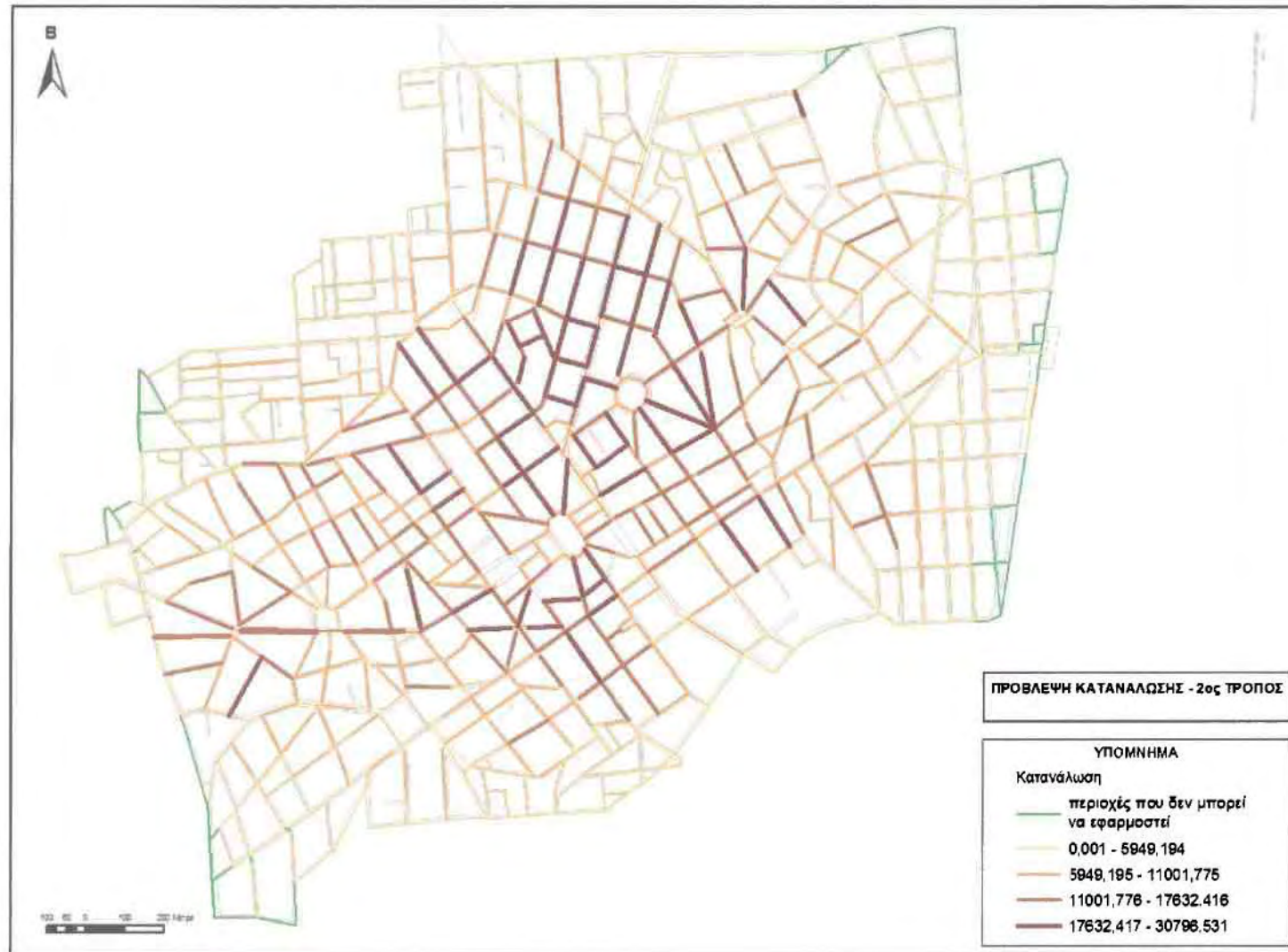
Συνοψίζοντας, συμπεραίνουμε ότι ο δεύτερος τρόπος πρόβλεψης της κατανάλωσης είναι αυτός που εφαρμόζεται καλύτερα σε όλες τις περιπτώσεις με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Με βάση αυτή την πρόβλεψη, χάρτης πρόβλεψης κατανάλωσης – 2^{ος} τρόπος, η περιοχή του κέντρου εξακολουθεί να παρουσιάζει την μεγαλύτερη κατανάλωση ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτό η κατανάλωση μειώνεται. Η συνολική μελλοντική κατανάλωση που προβλέπεται με τον τρόπο αυτό είναι 8.443.859 μονάδες κατανάλωσης.



Χάρτης 5.20: Πρόβλεψη κατανάλωσης με τον 1^ο τρόπο



Χάρτης 5.21: Πρόβλεψη παροχών



Χάρτης 5.21: Πρόβλεψη κατανάλωσης με τον 2^ο τρόπο

6. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην χωρική ανάλυση δικτύων κοινής ωφέλειας και παρουσιάστηκε το παραδείγματα της χωρικής ανάλυσης του δικτύου κοινής ωφέλειας τηλεθέρμανσης του δήμου Πτολεμαΐδας. Στο κεφάλαιο αυτό θα συγκεντρωθούν τα συμπεράσματα που απορρέουν μέσα από την εργασία αυτή και θα επιχειρηθεί η καταγραφή προτάσεων σε αντιστοιχία με τα συμπεράσματα.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν μέσα από τα κεφάλαια που προηγήθηκαν έχουν σχέση με τις δυνατότητες και τις προοπτικές χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην ανάλυση του χώρου και ειδικότερα στην χωρική ανάλυση δικτύων κοινής ωφέλειας.

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών σε συνδυασμό με τις μεθόδους χωρικής ανάλυσης μας δίνουν τεράστιες δυνατότητες ανάλυσης, μεγαλύτερη δυνατότητα γραφικής παρακολούθησης, ευκολότερη ερμηνεία και απόδοση των αποτελεσμάτων. Η έννοια της παρακολούθησης των φαινομένων είτε πρόκειται για σημειακές (σημειακές μετρήσεις) ή γραμμικές παρατηρήσεις (ροή δικτύου) αποκτά την πραγματική της διάσταση. Η παρακολούθηση των φαινομένων είναι πλέον δυνατή σε πραγματικό χρόνο ενώ ταυτόχρονα η ερμηνεία και η απόδοση των αποτελεσμάτων γίνεται ευκολότερα και γρηγορότερα από παλαιότερες εποχές.

Μέθοδοι χωρικής ανάλυσης αρχίζουν να ενσωματώνονται στα λογισμικά G.I.S. Τα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών που κυκλοφορούν στο εμπόριο και που χρησιμοποιούνται κατά πλείστον στην ανάπτυξη εφαρμογών σχετικών με συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ArcView και ArcGIS της ESRI) έχουν ενσωματωμένα βασικά εργαλεία χωρικής ανάλυσης όπως απόσταση από γειτονικό σημείο και εύρεση περιοχών εξυπηρέτησης. Τα εργαλεία αυτά αν και απλά μας γλιτώνουν από πολύτιμο χρόνο και κόπο.

Η χωρική ανάλυση των δικτύων κοινής ωφέλειας προσφέρει την δυνατότητα στους οργανισμούς να αξιολογήσουν την κατάσταση των δικτύων εξυπηρέτησής τους, να τα διαχειριστούν καλύτερα και να πάρουν σωστότερες αποφάσεις σε περιπτώσεις αντιμετώπισης προβλημάτων ή επέκτασής τους. Πλέον είναι εφικτή η χρήση της τεχνολογίας από τους Οργανισμούς Κοινής Ωφέλειας σε θέματα

διαχείρισης, ελέγχου και ανάλυσης δικτύων χωρίς να απαιτείται εξαιρετικά ειδικευμένο προσωπικό για την χρήση των λογισμικών. Η δυναμική που μπορεί να προσφέρει η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στους οργανισμούς είναι απεριόριστη.

Δυστυχώς σήμερα οι περισσότεροι Οργανισμοί Κοινής Ωφέλειας δεν διαθέτουν καθόλου ή σε ορισμένες περιπτώσεις την κατάλληλη υποδομή χωρικών δεδομένων (Καρνάβου, 2002). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην νοοτροπία που επικρατεί στους περισσότερους κυρίως δημόσιους οργανισμούς και στην μη εξοικείωση των περισσότερων υπαλλήλων με τη νέα τεχνολογία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της διείσδυσης στον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Το παράδειγμα της εφαρμογής της χωρικής ανάλυσης δικτύων κοινής ωφέλειας που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική, χωρική ανάλυση δικτύου κοινής ωφέλειας της τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας, αποδεικνύει την επιτυχή χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην διαδικασία χωρικής ανάλυσης δικτύων. Η διαδικασία ανάλυσης δικτύων κοινής ωφέλειας γίνεται ευκολότερη, ταχύτερη και αποτελεσματικότερη.

Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μας δίνει την δυνατότητα της χρήσης όλων εκείνων των δεικτών ανάλυσης που κρίνονται απαραίτητοι χωρίς να μας προβληματίζει η διαδικασία (τρόπος και χρόνος) εφαρμογής τους. Σε περιπτώσεις μάλιστα που δεν υπάρχουν έτοιμες αυτοματοποιημένες διαδικασίες για τον υπολογισμό ενός δείκτη ο τρόπος δομής των περισσότερων εφαρμογών G.I.S. δίνει την δυνατότητα στον χρήστη είτε του έμμεσου υπολογισμού του είτε να επέμβει δυναμικά στο υπάρχον λογισμικό (γλώσσες προγραμματισμού Avenue, Visual Basic κα.) προγραμματίζοντάς τα.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα γίνονται παρακάτω προτάσεις σχετικές με τα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και τους Οργανισμούς Κοινής Ωφέλειας, τα λογισμικά Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και προτάσεις για τη βελτίωση της μεθοδολογίας ανάλυσης δικτύων κοινής ωφέλειας.

Προτείνεται η επέκταση της χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στους Οργανισμούς Κοινής Ωφέλειας ώστε να εκμεταλλευτούν τις τεράστιες δυνατότητες παρακολούθησης και ανάλυσης που προσφέρουν. Αυτό

μπορεί να γίνει εφικτό μέσω της κατάρτισης των υπαλλήλων των οργανισμών σε θέματα τεχνολογίας και ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Δεύτερον, σχετικά με τα λογισμικά προτείνεται η περαιτέρω επέκταση των δυνατοτήτων χωρικής ανάλυσης των προγραμμάτων G.I.S. με την εισαγωγή νέων εργαλείων στα ήδη υπάρχοντα ή την δημιουργία νέων εφαρμογών από τις εταιρίες δημιουργίας προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Μέχρι τώρα τα λογισμικά G.I.S. απευθύνονταν σχεδόν αποκλειστικά σε καθαρές εφαρμογές G.I.S. χωρίς την ύπαρξη της διάστασης της χωρικής ανάλυσης. Η ενσωμάτωση περισσότερων εργαλείων χωρικής ανάλυσης θα δώσει νέες προοπτικές και δυνατότητες ανάλυσης στους χρήστες ενώ ταυτόχρονα θα μεγαλώσει και η αγορά στην οποία απευθύνονται, κερδίζοντας νέους χρήστες (περισσότερα κέρδη για την εταιρίες κατασκευής και διάθεσης λογισμικών).

Επιπλέον, προτείνεται η δημιουργία νέων εφαρμογών G.I.S. που θα ενσωματώνουν όχι μόνο περισσότερα εργαλεία χωρικής ανάλυσης αλλά και διαχείρισης βάσεων δεδομένων αντάξια των καθαρά εφαρμογών διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Οι σημερινές εφαρμογές G.I.S. διαθέτουν ως έναν ορισμένο μόνο βαθμό την ικανότητα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Λόγω όμως των περιορισμών αυτών οι χρήστες είναι αναγκασμένοι στις περισσότερες φορές να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα και ένα λογισμικό διαχείρισης βάσεων δεδομένων, σπαταλώντας πολύτιμο χρόνο μεταφέροντας τα δεδομένα από την μια εφαρμογή στην άλλη.

Επέκταση, τυποποίηση και βελτίωση των υφισταμένων βασικών βάσεων δεδομένων των Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας και δημιουργία νέων έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ενσωμάτωση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Για τη βελτίωση της μεθοδολογία ανάλυσης δικτύων κοινής ωφέλειας προτείνεται η χρήση μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης όπως τα νευρωνικά δίκτυα και η εικονική πραγματικότητα για βελτίωση της πρόβλεψης και σωστότερης αντιμετώπισης μελλοντικών προβλημάτων.

Τέλος, η βελτίωση της εξίσωσης παλινδρόμησης μπορεί να γίνει με χρήση και άλλων μεταβλητών όπως μεταβλητές σχετικές με χρήσεις γης και μεταβλητών που να την συνδέουν με τις διαδικασίες επέκτασης της πόλης.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

- Διεθνές Συνέδριο, 1990: Πρακτικά Συνεδρίου “Τηλεθέρμανση Πόλεων”, εισηγήσεις, ερωτήσεις, απαντήσεις, τοποθετήσεις και παρεμβάσεις. Οργάνωση Αναπτυξιακή Κοζάνης, Κοζάνη 4 – 6 Μαΐου 1990.
- Δ.Ε.ΤΗ.Π., 2004/1: Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας, Προσωπική συνέντευξη από τον κ. Λάζογλου Κωνσταντίνο, Προϊστάμενο Τμήματος Λειτουργίας Συντήρησης, Πτολεμαΐδα.
- Δ.Ε.ΤΗ.Π., 2004/2: Δημοτική Επιχείρηση Τηλεθέρμανσης Πτολεμαΐδας, Προσωπική συνέντευξη από τον κ. Ιωαννίδη Θεμιστοκλή, Υπάλληλο επιχείρησης στο Τμήμα Λειτουργίας Συντήρησης, Πτολεμαΐδα.
- Καρνάβου Π Ελευθερία., 2002: “Υποδομή Χωρικών Δεδομένων & Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για τη σύγχρονη Ελλάδα”, εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη.
- Κουτσόπουλος Κωστής, 2002. “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου”, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Θεσσαλονίκη.
- Κουτσόπουλος Κωνσταντίνος, Ανδρουλακάκης Νίκος, 2003: “Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με Χρήση του Λογισμικού ArcGIS”, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Θεσσαλονίκη.
- Λιάκη Ιωάννα, 1976: “Στοιχεία Στατιστικής”, Τεύχος ΙΙ, Β΄ έκδοση, Σημειώσεις μαθήματος: Στατιστική ΙΙ, πρώην Ανώτατης Βιομηχανικής Σχολής Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλονίκης.
- Μανιάτης Γιάννης, 1996. “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης-Κτηματολογίου”, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- Μηλάκα Κυρατσώ, 2002: “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας: Μελέτης Περίπτωσης Κεντρικής Περιοχής Βόλου”, διπλωματική εργασία, τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Ντούμπου, Σταλιοπούλου, 1994: Διπλωματική εργασία με θέμα: “Θέρμανση πόλης 60,000 κατοίκων με τηλεθέρμανση”, ΤΕΙ Καβάλας τμήμα μηχανολογίας, Οκτώβριος 1994.
- Παπαδήμας Όθωνας, Κοΐλιας Χρήστος, 1998. “Εφαρμοσμένη Στατιστική: Περιγραφική Στατιστική, Θεωρία Πιθανοτήτων, Εκτιμητική”, εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.

Παπανικολάου Ευαγγελία, 2003: “Δημιουργία ολοκληρωμένου συστήματος για τη διαχείριση του δικτύου ύδρευσης μιας πόλης”, διπλωματική εργασία μεταπτυχιακού προγράμματος: Γεωπληροφορική, τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Παππάς Βασίλης, 1999. “Ειδικά θέματα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών”, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

Παππάς Βασίλης, 1997. “Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών”, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

Παρασχάκης Ι., Παπαδοπούλου Μ., Πατιάς Π., 1998. “Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία”, εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Περάκης Κ., 2000: “Στοιχεία Δειγματοληψίας και Ανάλυσης Δεδομένων”, σημειώσεις μαθήματος Ανάλυση Δεδομένων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

Πέκος Γεώργιος, 1999: “Ασκήσεις Στατιστικής”, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.

Φώτης Γεώργιος, 2001. “Χωρική Ανάλυση”, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

Ξενόγλωσση

An ESRI White Paper, 2002. “Geography Matters”, Web www.esri.com, New York, September 2002.

Charley R. and Hagget P., 1967: “Models in Geography”, chapter 15. London: Methuen.

Department of the Environment, 1989: “Handling Geographical Information”, Report to Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Information Chaired by Lord Chorley, HMSO, London.

ESRI, 1996: “Using the ArcView Network Analyst”, optimum routing, closest facility and service area analysis, Environmental Systems Research Institute, Inc. United States of America.

Taaffe J.E and Gauthier L.H., 1973: “Geography of Transportation”, Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Fotheringham Stewart and Rogerson Peter, 1998: “Spatial Analysis and GIS”, Department of Geography of SUNY at Buffalo, Taylor & Francis Ltd, Philadelphia.

- Goodchild M.I., 1985. "Geographical Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma", *The Operational Geographer*, No.8, pp.34-38.
- Jill McCoy and Kevin Johnston, 2001: "Using Spatial Analyst", Int. ESRI, United States of America.
- Kevin Johnston, Jay M. Ver Hoef, Konstantin Krivoruchko, and Neil Lucas, 2001: "Using Geostatistical Analyst", Int ESRI, United States of America.
- Les Worrall, 1991: "Spatial Analysis and Spatial Policy using Geographic Information Systems", Belhaven Press, Great Britain.
- Masser I., 1990: "The regional Research Laboratory Initiative", *Int J. Geographical Information Systems*, vol2, p11-22.
- Miller J. Harvey and Wantz A. Elizabeth, 2003: "Representation and Spatial Analysis in Geographic Information Systems", *Annals of the Association of American Geographers*, pp. 574 – 594, published by Blackwell Publishing, U.K.
- NCGIA, 1989: "The research plan of the National Centre for Geographical Information and Analysis", *Int. J. Geographical Information Systems*, vol3, p117-136.
- Parker H.P., 1987: "What is a Geographic Information System", GIS '87-San Francisco, pp. 19-37.
- Swain D. Eric and Sonenshein S. Roy, 1994: "Spatial Statistical Analysis of a Ground – Water Level Network, Broward County, Florida", prepared in cooperation with the South Florida Water Management District, U.S. Geological Survey: Water – Resources Investigations Report 94-4076, Tallahassee, Florida.
- Zacharias Agioutantis, Athanassios Bekas, 2000: "The potential of district heating using geothermal energy. A case study, Greece", *Department of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, Geothermics Vol29*.
- Walford Nigel, 1995: "Geographical data analysis", School of Geography – Kingston University – UK, John Wiley & Sons.

Παράρτημα

Script υπολογισμού αποστάσεων από σημεία σε σημεία:

```
' File name: Network_Distance.ave
'
' Description: This script solves a closest facility problem and prompts for
' a specific path to be added to the view. The view should have one point
' theme at least, and one polyline theme representing the network,
' the origin point should be selected at firstly, otherwise the all
' points in the point theme will be regarded as default origin points,
' the destination point can be selected from any point theme.
'-----
' The selection of view
aView = av.GetActiveDoc
if (not (aView.Is(View))) then
  MsgBox.Error("Active document is not a view.", "")
  exit
end

' get the FTab of the selected network theme
aNetFTab = nil
' the selection of theme and the selection of the Network

ThemeList=aView.GetThemes

NetworkList={}
for each t in Themelist

  if (t.CanExportToFTab) then
    if (NetDef.CanMakeFromFTab(t.GetFTab)) then ' find network theme
      NetworkList.add(t)
    end
  end
end

theSelectedTheme=MsgBox.ListAsString (NetworkList, "Select a network theme", "Network Selection")
if (theSelectedTheme=Nil) then
  exit
end

ft = theSelectedTheme.GetFTab
aNetFTab = ft

' did we find a networkable FTab?
if (aNetFTab = nil) then
  MsgBox.Error("Network theme not found.", "")
  exit
end

' make the NetDef and check it for error
aNetDef = NetDef.Make(aNetFTab)
if (aNetDef.HasError) then
  MsgBox.Error("NetDef has error.", "")
  exit
end

' make the Network object
aNetwork = Network.Make(aNetDef)

' make a list of point themes for the user to choose from
aPointThemeList = {}
for each t in aView.GetThemes
  if (t.CanExportToFTab) then
    if (t.GetFTab.GetSrcName.GetSubName = "Point") then 'whether it is a point theme or not
      aPointThemeList.Add(t)
    end
  end
end

' did we find any point themes?
if (aPointThemeList.Count = 0) then
```

```

msgBox.Error("No point themes found.", "")
exit
end

' prompt for the origin theme
origTheme = msgBox.Choice(aPointThemeList,
    "Select the origin point theme:",
    "Origin selection")

' prompt for the destination theme
destTheme = msgBox.Choice(aPointThemeList,
    "Select the destination (facility) point theme:",
    "Destination (facility) selection")

origFTab = origTheme.GetFTab
destFTab = destTheme.GetFTab

destFTab.SetEditable(TRUE)
'CreateWeightDistance=msgBox.YesNo ("Do you want to create a weighted_distance Field ? ", "Selection choice", FALSE)
CreateWeightDistance=nil 'do not create the field of weight distance

if(destFTab.FindField("Distance")=nil) then
    DistanceField = Field.Make("Distance",#FIELD_DOUBLE,16,3)
    destFTab.AddFields({DistanceField})
end

if (CreateWeightDistance=True) then
    if(destFTab.FindField("WeightDistance")=nil) then
        WeightDistanceField = Field.Make("WeightDistance",#FIELD_DOUBLE,16,3)
        destFTab.AddFields({WeightDistanceField})
    end
end
DistanceField=destFTab.FindField("Distance")
if (CreateWeightDistance=True) then
    WeightDistanceField=destFTab.FindField("WeightDistance")
    Rankfield=destFTab.FindField("Ranking") 'ranking is the weight coefficient value of every point
    if (rankfield=nil) then
        MsgBox.Error("There is not ranking field, exit and add the field ", "Erro Message")
        exit
    end
end

origShapeField = origFTab.FindField("Shape")
destShapeField = destFTab.FindField("Shape")

origLabelField = origTheme.GetLabelField
destLabelField = destTheme.GetLabelField

' Make point lists from the origin and destination point themes,
' validate points, and set the names of the points

Sel=0
for each selects in origFTab.GetSelection
    sel=sel+1
end

if(Sel=0) then
    msgbox.Error("There is no point to be selected as the original point", "original Selection")
    co=0
    for each rec in origFTab
        co=co+1
    end
    aBitMap = BitMap.Make( co )
    aBitMap.SetAll
    origFTab.SetSelection (aBitMap)
end

origPointList = {}
for each rec in origFTab.GetSelection
    p = origFTab.Return Value(origShapeField, rec)
    if (aNetwork.IsPointOnNetwork(p)) then
        if (origLabelField <> nil) then
            p.SetName(origFTab.Return ValueString(origLabelField, rec))
        end
    end
end

```

```

else
  p.SetName("Origin" + (origPointList.Count + 1).AsString)
end
origPointList.Add(p)
end
end

'msgBox.MultiListAsString (origPointList, "Origin point list", "Point list")

destPointList = {}
for each rec in destFTab
  p = destFTab.ReturnValue(destShapeField, rec)
  if (aNetwork.IsPointOnNetwork(p)) then
    if (origLabelField <> nil) then
      p.SetName(destFTab.ReturnValueString(destLabelField, rec))
    else
      p.SetName("Destination" + (destPointList.Count + 1).AsString)
    end
    destPointList.Add(p)
  end
end
end

' set the parameters for FindClosestFac
numToFind = destPointList.Count ' find all destinations
cuttOff = 0 ' no cut off distance
toFrom = True ' travel to destination

' Note: No cost field is selected here, so <line length> will be
' used by default.

' solve the problem
numFoundList = aNetwork.FindClosestFac(origPointList, destPointList,
numToFind, 0, toFrom)
' Make sure FindClosestFac succeeded
if (not (aNetwork.HasClosestFacResult)) then
  msgBox.Error("Solution not found.", "")
  exit
end

' The user will be prompted to choose one of the origin and destination
' pairs ("assignments"). A graphic for this path will then be added to
' the view.

' Build a string list with the results.
resultStringList = {}
ijList = {}

costlist1 = {}
for each i in 0..(origPointList.Count-1)
  for each j in 1..numFoundList.Get(i)

    ' Get the index into the original destination list for
    ' the current (jthClosest) facility.
    destNum = aNetwork.GetClosestFacIndex(i,j)
    str = "From:" ++ origPointList.Get(i).GetName ++
      "To:" ++ destPointList.Get(destNum).GetName ++
      "Cost:" ++ aNetwork.GetClosestFacPathCost(i,j).AsString
    ' str1 = "cost"++j.asstring++": "++aNetwork.GetClosestFacPathCost(i,j).AsString
    costlist1.Add(str)
    resultStringList.Add(str)

    destFTab.SetValue(DistanceField, destNum, aNetwork.GetClosestFacPathCost(i,j))
  if (CreateWeightDistance=True) then
    Coeficient=destFTab.ReturnValue(Rankfield, destNum)
    destFTab.SetValue(WeightDistanceField, destNum, aNetwork.GetClosestFacPathCost(i,j)*Coeficient)
  end
  ijList.Add({i,j})
end
end

selectionlist=msgBox.MultiListAsString (costlist1, "Select the origin and the destination pairs", "Select path")

```

```

if (selectionlist.count=0) then
  exit
end

msgbox.info("Selected Routines:" ++(selectionlist.count).asString, "Routine selection")

for each selection in 0..(selectionlist.count-1)
str=selectionlist.get(selection)
destFTab.SetEditable(false)

' prompt for a specific path

selIndex = resultStringList.FindByValue(str)

selOrig = ijList.Get(selIndex).Get(0)
selDest = ijList.Get(selIndex).Get(1)

' create a shape for the chosen path
aPathShape = aNetwork.ReturnClosestFacShape(selOrig, selDest)

' make a graphic shape from the aPathShape
aGraphicShape = GraphicShape.Make(aPathShape)

' make a nice symbol
aSymbol = Symbol.Make(#SYMBOL_PEN)
aSymbol.SetSize(2)

' select a corlor for every routine
cl=selection mod 7
if (cl=0) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetBlue)
elseif (cl=1) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetRed)
elseif (cl=2) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetYellow)
elseif (cl=3) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetBlack)
elseif (cl=4) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetGreen)
elseif (cl=5) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetRed)
elseif (cl=6) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetMagenta)
elseif (cl=7) then
  aSymbol.SetColor(Color.GetBlack)
else
  aSymbol.SetColor(Color.GetCyan)
end
aGraphicShape.SetSymbol(aSymbol)

' add the graphic to the view
aView.GetGraphics.Add(aGraphicShape)
end

```