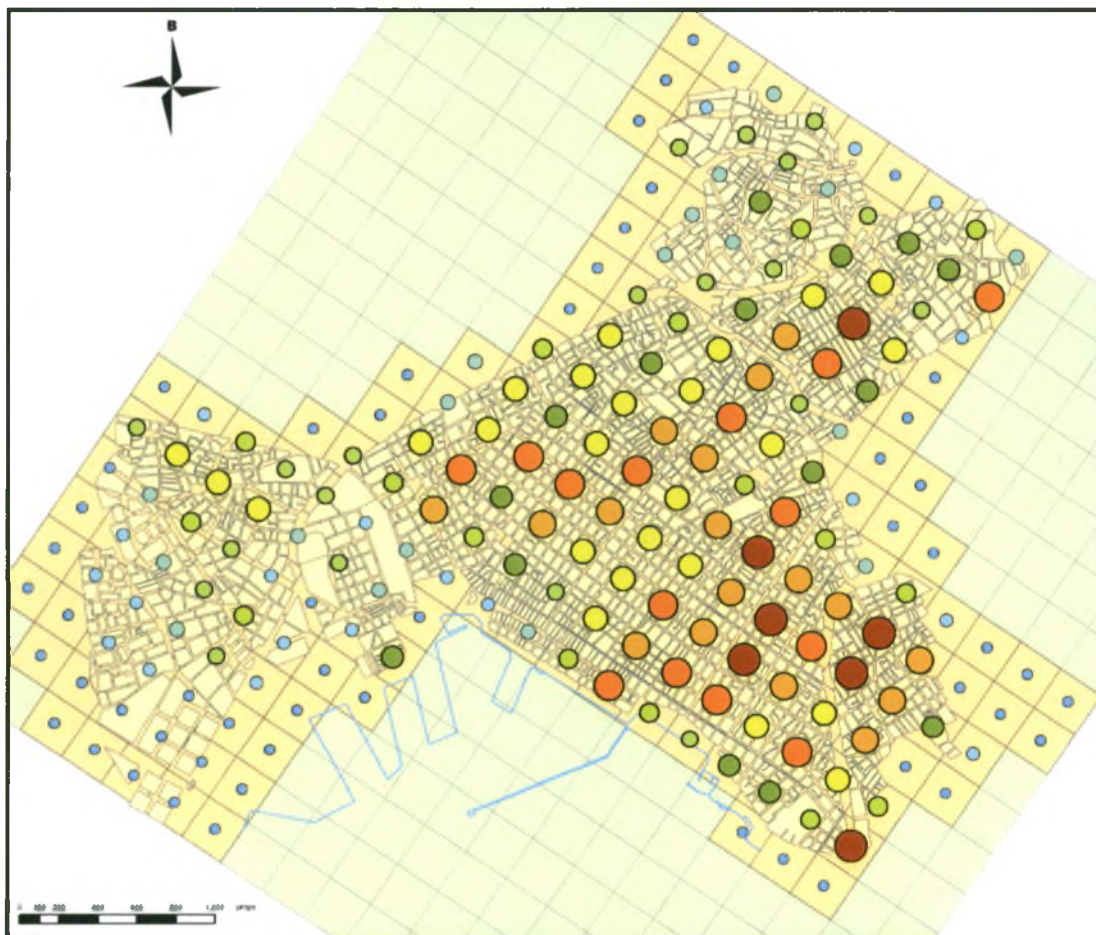


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ :
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΦΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
(ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)**

ΒΟΛΟΣ, 2007



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6009/1
Ημερ. Εισ.: 01-11-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΧΠΠΑ
2007
ΜΑΡ

**Αφιερωμένο
σε όλους όσους κοπιάζουν για ένα καλύτερο αύριο**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι σε πρώτη φάση, ο προσδιορισμός ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την αποτίμηση και οπτικοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία προέχεται από την κυκλοφορία των οχημάτων. Σε δεύτερο στάδιο, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, πραγματοποιείται η βέλτιστη χωροθέτηση σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στην επίτευξη του στόχου αυτού συμβάλλουν κατά κύριο λόγο τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π), μέσω της συνδυασμένης χρήσης χωρικής ανάλυσης και γεωστατιστικών εφαρμογών όσο και της εφαρμογής υποδειγμάτων χωροθέτησης – κατανομής. Στη συγκεκριμένη εργασία ως περιοχή μελέτης θεωρήθηκε ο δήμος Βόλου. Ως αντιπροσωπευτικός δείκτης της κυκλοφοριακά παραγόμενης ρύπανσης χρησιμοποιήθηκε ένας πρωτογενής ρύπος, όπως το μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Αρχικά η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε τομείς και με τη βοήθεια του χωροθετικού πηλίκου υπολογίστηκε ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας ανά τομέα.. Στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός φορητού καταγραφικού οργάνου και την εφαρμογή κατάλληλων δειγματοληπτικών μεθόδων προσδιορίστηκαν τα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα σε συγκεκριμένους κόμβους του οδικού δικτύου. Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων προσδιορίστηκαν τόσο οι ημερήσιες διακυμάνσεις όσο οι συνολικές συγκεντρώσεις CO για ολόκληρη την πόλη μέσω της χωρικής παρεμβολής (kriging). Οι τιμές του γεωστατιστικού μοντέλου λειτούργησαν στη συνέχεια σαν δεδομένα για τον υπολογισμό των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης σταθμών μέτρησης εφαρμόζοντας το υπόδειγμα p -διάμεσος σε συνδυασμό με ένα σταθμισμένο δείκτη χωρικής αλληλοσυσχέτισης ρύπανσης και πληθυσμού. Τέλος γίνεται αναφορά στις ιδιαιτερότητες της μεθοδολογίας και προτείνονται τρόποι για την αύξηση της ευελιξίας της, αλλά και διαφορετικές προσεγγίσεις που μπορεί να λάβει το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των πόλεων στο μέλλον.

ABSTRACT

The aim of this dissertation is first of all the determination of a methodology for the assessment and the visualization of traffic related to air pollution in middle-sized cities. On the second step, there is performed the optimal location of a network of air pollution monitoring stations. The basic contributors towards the accomplishment of this aim are the Geographical Information Systems, through the combined use of spatial analysis, geostatistical applications and location – allocation models. In the specific dissertation the municipality of Volos has been defined as the study area. Then a primary pollutant such as carbon monoxide (CO) was used as a representative indicator of the traffic related air pollution. Initially, the study area was divided into sectors and through the use of the location quotient; the number of sampling points per sector was defined. Afterwards, the pollution concentrations of CO were measured at specified hubs of the road network, aided by a portable pollution monitor and the application of certain sampling methods. Then the concentrations of CO were interpolated for the whole area. The derived results weighed by the population density was used in the p – median model to define an optimal air pollution-monitoring network. In the final chapter a reference is performed relatively to the particularities of the certain methodology and ways are proposed in order to increase the grade of its suppleness, not to mention the different approaches that the problem of urban air pollution may get in future research.

Λέξεις κλειδιά: Ατμοσφαιρική ρύπανση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, χωρική παρεμβολή, p-διάμεσος, βέλτιστη χωροθέτηση

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός πως στην ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας βοήθησαν ορισμένα άτομα τα οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Φώτη Γεώργιο, για την αμέριστη και ουσιαστική υποστήριξη και καθοδήγησή του, στο ομολογουμένως δύσκολο θέμα με το οποίο επέλεξα να ασχοληθώ, αφού δεν ήταν λίγες οι φορές που με έβγαλε από το αδιέξοδο και μου έδωσε κουράγιο να συνεχίσω.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης την καθηγήτρια κα Μαρί-Νοέλ Ντυκέν για τις χρήσιμες παρατηρήσεις της, καθώς και τον καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, κ. Ερρίκο Σταπουντζή για την καθοδήγηση του σε θέματα μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Καθοριστική ήταν η συμβολή του Ερευνητικού Προσωπικού του Εργαστηρίου Χωρικής Ανάλυσης, GIS και Θεματικής Χαρτογραφίας και ιδιαίτερα των υποψήφιων διδασκτόρων Τσομπάνογλου Στέλιου και Συρίγου Σταύρου τόσο στο τεχνικό όσο και στο λειτουργικό κομμάτι της εργασίας.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η συνεισφορά της εταιρίας DATEC ELECTRONIC ABEE για την παροχή του φορητού οργάνου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, streetbox. Συνέβαλαν ακόμα ο κ. Καταρτζής Στέφανος, υπεύθυνος του Γραφείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας της ΔΕΥΑΜΒ., το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και ο υπεύθυνος του μετεωρολογικού σταθμού στο Βόλο κ. Σπηλιωτόπουλος Μάριος – Στάθης, ο Μηχανολόγος Μηχανικός του ΤΕΙ Πειραιά, Χαλβατζής Κωνσταντίνος και η Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του ΤΕΙ Κρήτης Κατσίβελα Ελευθερία.

Ευχαριστώ επίσης τους φίλους και συναδέλφους Αστυακόπουλο Αλκιβιάδη, Πνευματικό Τριαντάφυλλο και Ψαρρά – Τασιόπουλο Γιάννη για το ενδιαφέρον που επέδειξαν και τη συνολική βοήθειά τους.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη φοιτήτρια Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Λακαφώση Ευσταθία για τις εύστοχες παρατηρήσεις της επί του κειμένου και την πολύτιμη βοήθειά της στη χαρτογραφική απεικόνιση.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια και μου έδωσε τα απαραίτητα εφόδια για να προσηλωθώ στις σπουδές μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	12
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	12
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ	13
1.3 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	15
1.4 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	16
1.5 ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)	17
1.5.1 <i>Η ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ</i>	18
1.5.2 <i>ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΑΘΟΥΣΜΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ</i>	18
1.5.3 <i>ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ CO</i>	19
1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	19
1.7 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΤΑΚΤΗ - ΠΟΛΕΟΔΟΜΟΥ	21
1.8 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	22
1.8.1 <i>ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ</i>	24
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	26
2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ Γ.Σ.Π	26
2.2 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ Γ.Σ.Π ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ..	27
2.3 ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	28
2.4 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	29
2.4.1 <i>ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ</i>	29
2.5 ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟ ΠΗΛΙΚΟ	30
2.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	31
2.7 Η ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ (STATIONARITY).....	32
2.8 ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (INTERPOLATION).....	32
2.9 ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	33
2.9.1 <i>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ (DETERMINISTIC INTERPOLATIONS)</i> ..	33
2.9.2 <i>ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ (KRIGING)</i>	34
2.10 ΤΟ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ	35
2.11 Η ΣΥΝΔΙΑΣΠΟΡΑ	37
2.12 ΘΕΩΡΙΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	38
2.13 Η ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ – ΤΟ ΣΦΑΙΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	38
2.14 ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ KRIGING.....	39
2.14.1 <i>ΣΥΝΗΘΕΣ KRIGING (ORDINARY KRIGING)</i>	39
2.15 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	40

2.16	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΤΟ KRIGING	40
2.16.1	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (CROSS-VALIDATION).....	40
2.17	ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ ΣΕ ΚΑΝΝΑΒΟ.....	41
2.18	ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ - ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ (Φώτης, 2002)	42
2.18.1	ΤΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ P – ΔΙΑΜΕΣΟΣ.....	43
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	45
4.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	46
4.1	Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	46
4.2	Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	47
4.3	ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ.....	49
4.4	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	51
4.4.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟΥ STREETBOX.....	52
4.4.1.1	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	56
4.4.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΥΑΜΒ.....	57
4.5	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	60
4.5.1	ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	60
4.5.2	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	61
4.5.3	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	63
4.6	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	64
4.7	ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	65
4.7.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΝΝΑΒΟΥ.....	65
4.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ.....	68
4.10	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	71
4.11	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	71
4.12	Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΗΘΟΥΣ KRIGING (ORDINARY KRIGING)	74
4.12.1	ΓΕΝΙΚΑ	74
4.12.2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ KRIGING.....	74
4.13	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	76
4.13.1	ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	77
4.13.1.1	ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ (PREDICTION PLOT).....	77
4.13.1.2	ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ.....	78
4.13.1.3	ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ (QQ PLOT)	79
4.14	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ.....	80
4.15	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ.....	91
4.16	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	92
4.16.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ	92
4.16.2	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΒΑΣΗ ΠΑΗΘΥΣΜΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	93
4.16.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ P –ΔΙΑΜΕΣΟΣ	96
4.17	ΣΥΝΟΨΗ	105
5	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	110
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	117

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.2:	Η γενική μορφή του βαριογράμματος.....	36
Εικόνα 2.3:	Το σύννεφο του βαριογράμματος για την περιοχή μελέτης.....	37
Εικόνα 2.4:	Το μοντέλο Ordinary Kriging.....	39
Εικόνα 4.1:	Η θέση της περιοχής μελέτης στο Π.Σ Βόλου.....	45
Εικόνα 4.2.1:	Τυπική μέρα με ισχυρά μελτέμια	49
Εικόνα 4.2.2:	Επικράτηση ασθενών μεταβλητών ανέμων.....	50
Εικόνα 4.3:	Οι αέριες μάζες παρακάμπτουν το φράγμα του Πηλίου.....	50
Εικόνα 4.4:	Ο αναλυτής streetbox	51
Εικόνα 4.5:	Σύνδεση στο πρόγραμμα Etherlog	54
Εικόνα 4.6:	Μεταφορά δεδομένων	54
Εικόνα 4.7 :	Εμφάνιση δεδομένων σε πίνακα	54
Εικόνα 4.8 :	Εμφάνιση δεδομένων σε γράφημα	55
Εικόνα 4.9 :	Εισαγωγή δεδομένων στο Excel, βήμα 1	55
Εικόνα 4.10 :	Εισαγωγή δεδομένων στο Excel, βήμα 2	55
Εικόνα 4.11:	Εισαγωγή δεδομένων στο Excel, βήμα 3	56
Εικόνα 4.12:	Θερμοκρασία και βροχόπτωση κατά την πρώτη συγκριτική αξιολόγηση.....	59
Εικόνα 4.13:	Θερμοκρασία και βροχόπτωση κατά τη δεύτερη συγκριτική αξιολόγηση.....	60
Εικόνα 4.14:	Απεικόνιση των πεδίων του νέου σημειακού αρχείου	72
Εικόνα 4.15:	Εικόνα από το Arc Scene με τα βάρη των σημείων	72
Εικόνα 4.16:	Ενεργοποίηση του εργαλείου Geostatistical Analyst	74
Εικόνα 4.17:	Εισαγωγή στο Ordinary Kriging	75
Εικόνα 4.18:	Τελικά αποτελέσματα παραμετροποίησης του μοντέλου	76
Εικόνα 4.19:	Γραφική απεικόνιση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης.....	77
Εικόνα 4.20:	Σχέση θεωρητικής και πραγματικής κλίσης σε μοντέλο με υψηλή αυτοσυσχέτιση	78
Εικόνα 4.21:	Γραφική απεικόνιση σφάλματος	79
Εικόνα 4.22:	Γραφική απεικόνιση σταθμισμένου σφάλματος.....	79
Εικόνα 4.23:	Γραφική απεικόνιση των θεωρητικών τιμών με βάση την κανονική κατανομή	80
Εικόνες 4.24, 4.25:	Τα δεδομένα του χάρτη πιθανοτήτων με βάση την τιμή κατωφλίου	80
Εικόνα 4.26:	Επιλογή λογαριθμικού μετασχηματισμού log	81
Εικόνα 4.27:	Τα κεντροειδή των Ο.Τ πριν την κατάταξη τους στα αντίστοιχα του καννάβου	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1:	Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών και των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από αυτές στην ατμόσφαιρα	14
Σχήμα 2.1:	Οι προσεγγίσεις στις λειτουργίες ενός Γ.Π.Σ	27

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες κλίμακας και ακτίνα επιρροής.....	15
Πίνακας 4.1 :Ετήσιες εκπομπές ρύπων από την κυκλοφορία (tn/έτος).....	48
Πίνακας 4.2: Μείωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την υποκατάσταση του στόλου.....	48
Πίνακας 4.3: Μεταβολή των ετήσιων εκπομπών με βάση τα ΣΑΕ για τα έτη 2005, 2010.....	48
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά του Streetbox.....	52
Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά ηλεκτροχημικού αισθητήρα.....	53
Πίνακας 4.6: Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδος μέτρησης.....	58
Πίνακας 4.7: Το δειγματοληπτικό υπόβαθρο.....	63
Πίνακας 4.8: Υπολογισμός χωροθετικού πηλίκου και σημείων ανά τομέα.....	67
Πίνακας 4.9: Έλεγχος μεγέθους δείγματος σε κάθε τομέα.....	68
Πίνακας 4.15: Επαλήθευση του μοντέλου.....	76
Πίνακας 4.16: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	97
Πίνακας 4.17: Βέλτιστες θέσεις με βάση το μοντέλο p – διάμεσος.....	98
Πίνακας 7.1: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μετρήσεων.....	118
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα μετρήσεων και σφαλμάτων για τα σημεία του δείγματος.....	119

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Διαφοροποιήσεις στις εκπομπές CO καταλυτικών και συμβατικών οχημάτων.....	21
Διάγραμμα 4.1: Πρώτη συγκριτική αξιολόγηση των δύο οργάνων.....	59
Διάγραμμα 4.2: Δεύτερη συγκριτική αξιολόγηση των δύο οργάνων.....	59
Διάγραμμα 4.3: Συνολικές μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις.....	69
Διάγραμμα 4.4: Μέσος όρος συγκεντρώσεων CO ανά τομέα.....	69
Διάγραμμα 4.5: Μεταβολές CO κατά τις εργάσιμες ημέρες για του τομείς 1 και 2.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 4.1: Σημεία δειγματοληψίας στην περιοχή μελέτης.....	62
Χάρτης 4.2: Τομείς μελέτης.....	66
Χάρτης 4.3: Επίπεδα συγκέντρωσης CO στα σημεία δειγματοληψίας.....	72
Χάρτης 4.4: Χάρτης πρόβλεψης, Επίπεδα CO με βάση τις ωριαίες συγκεντρώσεις.....	82
Χάρτης 4.5: Χάρτης πρόβλεψης, Επίπεδα CO σε κάρναβο 500 x 500.....	83
Χάρτης 4.6: Χάρτης πρόβλεψης, Επίπεδα CO σε κάρναβο 250 x 250.....	84
Χάρτης 4.7: Χάρτης τυπικού σφάλματος.....	85
Χάρτης 4.8: Χάρτης πιθανοτήτων με όριο υπέρβασης 1,75.....	86
Χάρτης 4.9: Χάρτης πιθανοτήτων με όριο υπέρβασης 1,93.....	87
Χάρτης 4.10: Χάρτης ποσόστωσης για $Q_1 = 0,25$	88
Χάρτης 4.11: Χάρτης ποσόστωσης για $Q_2 = 0,5$	89
Χάρτης 4.12: Χάρτης ποσόστωσης για $Q_3 = 0,75$	90
Χάρτης 4.13: Χάρτης κατανομής πληθυσμού.....	94
Χάρτης 4.14: Χάρτης συγκεντρώσεων CO με αναγωγή σε σημεία.....	95
Χάρτης 4.15: Χάρτης συγκεντρώσεων CO με βάση την τοπική διακύμανση.....	99
Χάρτης 4.16: Χάρτης σταθμισμένου δείκτη πληθυσμού – ρύπανσης.....	100
Χάρτης 4.17: Χάρτης 2 ^ο σεναρίου με τη χωροθέτηση τριών νέων σταθμών μέτρησης.....	103
Χάρτης 4.18: Χάρτης 1 ^ο σεναρίου με τη χωροθέτηση ενός επιπλέον σταθμού.....	102
Χάρτης 4.19: Χάρτης μηδενικού σεναρίου για τους υπάρχοντες σταθμούς.....	101
Χάρτης 4.20: Χάρτης συγκεντρωτικής παρουσίαση σεναρίων.....	104

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 - 40 ετών, το πρόβλημα της αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης παραμένει. Τα επίπεδα των σημαντικότερων ρύπων, όπως ο καπνός και το διοξείδιο του θείου (SO₂) έχουν μειωθεί, ως αποτέλεσμα της βιομηχανικής αναδιάρθρωσης, των τεχνολογικών αλλαγών και του ελέγχου της ρύπανσης, αλλά η ταχεία ανάπτυξη της οδικής κυκλοφορίας έχει προκαλέσει νέους ρύπους και νέες ανησυχίες. Μεταξύ 1970 και 1990, για παράδειγμα ο αριθμός των επιβατηγών αυτοκινήτων στην Ευρώπη αυξανόταν κατά 3.4% το χρόνο, ενώ οι πωλήσεις αυτοκινήτων στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης αυξάνεται στις μέρες μας από 7 ως 12% ετησίως (Stanners and Bordeau, 1995).

Ως εκ τούτου, οι εκπομπές πολλών ρύπων αυξάνονται: στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι εκπομπές του διοξειδίου αζώτου (NO₂) - εκ των οποίων το 45- 50 % προέρχεται από τον τομέα των μεταφορών - αυξήθηκαν ως και 120 % μεταξύ 1970 και 1990, πριν αρχίσουν να υποχωρούν ελαφρώς τα τελευταία χρόνια.

Μελλοντικά, αυτές οι τάσεις φαίνεται πως θα παραμείνουν. Ελλείψει σημαντικών αλλαγών στην πολιτική του περιβάλλοντος, ένας περαιτέρω διπλασιασμός στις μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων αναμένεται μέχρι το έτος 2010 στην Ευρώπη (Stanners and Bordeau, 1995). Παρά τις βελτιώσεις στις μηχανές εσωτερικής καύσης και την αύξηση της αποδοτικότητας των καυσίμων, δεν μπορούμε να ελπίζουμε παρά στη συντήρηση των τρέχοντων επιπέδων των εκπομπών στις περισσότερες δυτικοευρωπαϊκές χώρες. Αντίθετα αύξηση αναμένεται στις εκπομπές των κρατών της Ανατολικής Ευρώπης.

Η δυσοίωνη αυτή κατάσταση δημιούργησε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις επιδράσεις της κυκλοφοριακής ρύπανσης στην υγεία. Οι παράγοντες που επέδρασαν προς αυτή την κατεύθυνση ήταν πέρα από τα αποτελέσματα των αριθμητικών προβλέψεων, η σύνδεση μεταξύ ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αναπνευστικών ασθενειών και θνησιμότητας μέσω επιδημιολογικών μελετών.(π.χ., Schwartz 1993, 1994) .Επίσης έρευνες αποκάλυψαν αυξημένα επίπεδα αναπνευστικών παθήσεων σε ανθρώπους που ζουν κοντά σε κύριους οδικούς άξονες ή σε περιοχές με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. (Edwards et al. 1994, Ishizaki et al. 1987). Συγχρόνως, υπάρχει μια προφανής αύξηση των αναπνευστικών νοσημάτων και ιδιαίτερα του άσθματος στις ευάλωτες ομάδες όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι (Anderson et al. 1994, Burney 1988). Σημειωτέον ο Βόλος σύμφωνα με μελέτες του Α.Π.Θ. από το

1990-1992, έχει αυξημένα παιδικά αναπνευστικά νοσήματα, εφάμιλλα με την Πτολεμαΐδα και τη Δυτική Θεσσαλονίκη (Οικο-ενημέρωση, 2001).

Με βάση όλα τα παραπάνω, υπάρχει σαφώς η ανάγκη για την παροχή βελτιωμένων πληροφοριών γύρω από τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία σχετίζεται με την κυκλοφορία των οχημάτων. Αυτές οι πληροφορίες απαιτούνται για μια σειρά από λόγους όπως:

- α) η βοήθεια που προσφέρουν σαν δεδομένα εισόδου σε επιδημιολογικές μελέτες
- β) η καθιέρωση και παρακολούθηση των ορίων για την ποιότητα της ατμόσφαιρας
- β) η συνεισφορά στην αξιολόγηση και σύγκριση μεταφορικών πολιτικών και σχεδίων

Για όλους αυτούς τους λόγους, απαιτούνται πληροφορίες όχι μόνο για την παρακολούθηση των χρονικών τάσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης - πληροφορία που μας παρέχεται μέσω των σταθερών σταθμών μέτρησης - αλλά και των χωρικών διαφοροποιήσεων. Με τον τρόπο αυτό οι χάρτες συνεισφέρουν στην αναγνώριση των «σημείων έξαρσης», την απεικόνιση των αλλαγών στα χωρικά πρότυπα της ρύπανσης και γενικά σε όλους τους προαναφερθέντες λόγους.

Εντούτοις η χαρτογραφική απεικόνιση της αστικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα. Η σύνθετη γεωγραφία των πηγών εκπομπής και η εξίσου πολύπλοκη φύση των διαδικασιών διασποράς στο αστικό περιβάλλον σημαίνουν ότι τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης ποικίλλουν χαρακτηριστικά μέσα σε εξαιρετικά κοντινές αποστάσεις, συχνά μικρότερες και από μερικές δεκάδες μέτρα (Hewitt, 1991). Επιπλέον, τα στοιχεία τόσο των πηγών εκπομπής όσο και των επιπέδων ρύπανσης είναι συχνά ανεπαρκή. Κατά συνέπεια, οι χάρτες που προκύπτουν τείνουν να απεικονίζουν μία γενικευμένη κατάσταση που δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα.

Η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π) αποτελεί ένα ισχυρό μέσο για τη βελτίωση της παρερχόμενης πληροφορίας. Τα ψηφιακά δεδομένα σε συνδυασμό με τα εργαλεία χωρικής ανάλυσης και γεωστατιστικής δίνουν πρώτον τη δυνατότητα για μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του φαινομένου και δεύτερον καθιστούν τα Γ.Σ.Π ένα αξιόπιστο εργαλείο αξιολόγησης και διαμόρφωσης σχεδίων και πολιτικών.

Στόχος επομένως της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρχικά η χρονική ανάλυση των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στο σύνολο του δείγματος που εξήχθη από την περιοχή μελέτης. Σε δεύτερο στάδιο ακολουθεί η καταγραφή και προσομοίωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο δήμο Βόλου με τη βοήθεια της χωρικής ανάλυσης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Στο τελευταίο στάδιο της εργασίας πραγματοποιείται η βέλτιστη χωροθέτηση ενός δικτύου τριών σταθμών

μέτρησης, αφού πρώτα υπολογίζεται ένας σταθμισμένος δείκτης ρύπανσης και πληθυσμού στην περιοχή αναφοράς. Η διάρθρωση της εργασίας έχει ως εξής:

Το πρώτο κεφάλαιο ξεκινά με μια ιστορική αναδρομή στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στη συνέχεια αναφέρονται βασικές έννοιες και ορισμοί σχετικά με τις πηγές ρύπανσης και τους αντίστοιχους εκπεμπόμενους ρύπους. Επίσης προσδιορίζονται οι παράγοντες που συντελούν στην επιδείνωση του φαινομένου και ακολούθως αναλύονται τα γενικά χαρακτηριστικά και οι επιδράσεις του μονοξειδίου του άνθρακα. Το κεφάλαιο συνεχίζει με τη συσχέτιση της επιστήμης της πολεοδομίας και γενικά του αστικού σχεδιασμού με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τελειώνει με τη θεωρητική προσέγγιση του θέματος παρουσιάζοντας εν συντομία τις ως τώρα αναλύσεις που έχουν γίνει μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αρχικά οι μέθοδοι και τεχνικές ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, το θεωρητικό υπόβαθρο της χωρικής παρεμβολής και τα αποτελέσματα της επαλήθευσης του μοντέλου. Ακολουθεί η γενική θεωρία των υποδειγμάτων χωροθέτησης - κατανομής με έμφαση στο υπόδειγμα p -διάμεσος (p – median), το οποίο και χρησιμοποιήθηκε.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία για την προσέγγιση του προβλήματος ξεκινώντας από την εφαρμογή της δειγματοληψίας για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων σε διάφορα σημεία της πόλης, μέχρι την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής, την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και την προτεινόμενη χωροθέτηση σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας, για την περιοχή μελέτης, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο δήμος Βόλου. Το κεφάλαιο ξεκινά με τη παρουσίαση της γενικής εικόνας της πόλης σχετικά το θέμα της ρύπανσης. Έπειτα προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά του καταγραφικού οργάνου, αλλά και ο τρόπος ανάκτησης του δείγματος μέσω μεθόδων δειγματοληψίας. Ακολουθεί μία πρώτη εικόνα των ωριαίων συγκεντρώσεων CO από τις μετρήσεις πεδίου στις διάφορες θέσεις και στη συνέχεια μέσω της χωρικής παρεμβολής παράγονται οι συνολικοί χάρτες απεικόνισης των συγκεντρώσεων για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, πάνω στους οποίους βασίζονται και τα τελικά συμπεράσματα για τη χωρική διάρθρωση του ρύπου. Στο τελευταίο στάδιο υπολογίζεται ο σταθμισμένος δείκτης ρύπανσης – πληθυσμού για όλη την περιοχή μελέτης και ακολούθως εφαρμόζεται το υπόδειγμα χωροθέτησης – κατανομής p – διάμεσος, υποδεικνύοντας τις βέλτιστες θέσεις χωροθέτησης τριών νέων σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή μελέτης.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθεται ένας συνολικός απολογισμός της παρούσας διπλωματικής εργασίας και παράλληλα αξιολογούνται οι μέθοδοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπροσθέτως, διατυπώνονται προτάσεις για την μετεξέλιξη της μεθοδολογίας σε διάφορες περιοχές αστικού χαρακτήρα και διερευνώνται οι εναλλακτικές προσεγγίσεις που μπορούν να εφαρμοσθούν μελλοντικά στο θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ανώτερος σκοπός είναι η εφαρμογή πολιτικών και η ανάληψη δράσεων για την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι νέο φαινόμενο. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές σε νομαδική ζωή ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από την δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα γεμίζοντας τον αέρα στις περιοχές κατοικίας με προϊόντα ατελούς καύσης. Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μετά Χριστόν στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη. Αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου με αποτέλεσμα ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το 1307 την χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Η βιομηχανική επανάσταση τον 19^ο αιώνα οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου κυρίως και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη.

Παρόλο που η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό προνόμιο της σύγχρονης εποχής, μια σειρά από μεγάλα επεισόδια τις τελευταίες δεκαετίες μας υπενθύμισαν το μέγεθος του προβλήματος και την ανάγκη ελέγχου της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η πόλη Donora των Ηνωμένων Πολιτειών όπου κατά την διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης σημειώθηκαν 20 θάνατοι και 6.000 ασθένειες οι οποίες συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόλις 14.000 κάτοικοι. Το μεγαλύτερο, όμως, επεισόδιο συνέβη στο Λονδίνο το 1952 όταν μια εβδομάδα υψηλών επιπέδων ρύπανσης είχε σαν αποτέλεσμα να συμβούν 4.000 «πλεονάζοντες» θάνατοι (σύγκριση των ρυθμών θανάτου πριν και μετά το επεισόδιο) οι οποίοι αποδόθηκαν στην ρύπανση.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας οι συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων όπως το μονοξειδίου του άνθρακα (CO), ο μόλυβδος (Pb) και το διοξείδιο του θείου (SO₂) μειώθηκαν σε πολύ μεγάλο ποσοστό και βρίσκονται σήμερα σε επίπεδα κάτω από τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας της ΕΕ. Η παρατηρούμενη μείωση είναι το αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής πολιτικής, που περιλαμβάνει ένα συνδυασμό μέτρων και παρεμβάσεων που υλοποιήθηκαν ή/και συνεχίζουν να υλοποιούνται όπως: α) η ανανέωση του στόλου των

παλαιών Ι.Χ. αυτοκινήτων, ανανέωση των πετρελαιοκινήτων οχημάτων, η σταδιακή διεύθυνση του φυσικού αερίου κ.α. Εντούτοις νέοι ρύποι , όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀), έχουν εμφανιστεί στο προσκήνιο και οι ποσότητες εκπομπής τους αναμένεται να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια, με αρνητικές για την υγεία επιπτώσεις. (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003)

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ

Με τον όρο ρύπανση του αέρα εννοούμε “την παρουσία στην ατμόσφαιρα ενός ή περισσότερων παραγόντων μόλυνσης σε τέτοιες ποσότητες και τέτοια διάρκεια ώστε να είναι, ή να τείνουν να γίνουν, επιβλαβείς στην ανθρώπινη υγεία ή ευημερία, στην πανίδα και στη χλωρίδα, ή θα μπορούσαν αδικαιολόγητα να επέμβουν στην ανθρώπινη διασκέδαση και ιδιοκτησία”. Ο παραπάνω ορισμός επικυρώθηκε από το ανώτατο δικαστήριο του New Jersey (Γεντεκάκης , 1999).

Πηγές ονομάζονται τα μέρη στα οποία εκπέμπονται οι ρύποι. Διαχωρίζονται με βάση τη χωρική τους ανάλυση σε: σημειακές, γραμμικές και επιφανειακές, ενώ ως προς την προέλευση τους σε φυσικές και ανθρωπογενείς (Μουσιόπουλος, 1999).

- ⇒ Σημειακές πηγές: Αυτές που περιλαμβάνουν τις καμινάδες των βιομηχανικών μονάδων, τις μικρές πόλεις, τα δευτερεύοντα λιμάνια.
- ⇒ Γραμμικές πηγές: Αυτές που περιλαμβάνουν στον κάνναβο μείζονος πολεοδομικού συγκροτήματος όλους τους δρόμους ή στον κάνναβο του νομού ή της χώρας όλο το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο.
- ⇒ Επιφανειακές πηγές: Οι διάσπαρτες πηγές εκπομπής όπως οι εκπομπές από τη γεωργία, από τα αλιευτικά σκάφη, από τη χρήση διαλυτών στην οικιακή χρήση, κ.λ.π

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

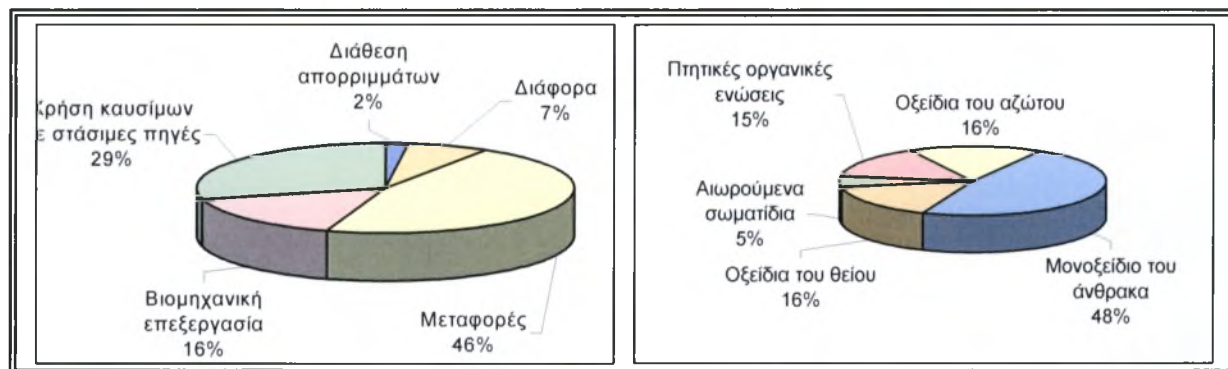
- ◆ Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
- ◆ Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
- ◆ Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).

- ◆ Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
- ◆ Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
- ◆ Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

Η ανθρωπογενής ρύπανση διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες (Μελάς , 1997):

- ◆ Κοινωνική: ονομάζεται η περιβάλλουσα ή εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση την οποία υφίσταται το σύνολο του πληθυσμού.
- ◆ Επαγγελματική: ονομάζεται η ρύπανση του εργασιακού περιβάλλοντος την οποία υφίστανται συγκεκριμένες ομάδες η κατηγορίες εργαζομένων.
- ◆ Προσωπική ρύπανση (κάπνισμα, διάφορα σπρέι κτλ)

Σχήμα 1.1: Κατανομή των ανθρωπογενών πηγών και των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από αυτές στην ατμόσφαιρα.



Πηγή: Μελάς 1997, ίδια επεξεργασία

Οι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ουσίες που εκπέμπονται κατευθείαν από την πηγή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα πρωτογενών ρύπων αποτελούν το CO, το NO, το SO₂ κ.α. Οι δευτερογενείς ρύποι είναι τοξικές ουσίες, οι οποίες προέρχονται από τις αντιδράσεις που γίνονται στην ατμόσφαιρα είτε μεταξύ των ρύπων, είτε ανάμεσα στους ρύπους και σε μόρια που προέρχονται από την καθαρή ατμόσφαιρα. Κλασσικό παράδειγμα δευτερογενούς ρύπου αποτελεί το όζον (O₃) (Κούγκολος, 2005). Για κάθε ρύπο, ο βαθμός επικινδυνότητας της ρύπανσης εξαρτάται από την «έκθεση» σε αυτήν που είναι συνάρτηση της διάρκειας και της έντασης του φαινομένου (Μουσιόπουλος, 1999).

1.3 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα πολυσύνθετο φαινόμενο, το οποίο μεταβάλλεται στο χώρο και το χρόνο. Η διαβάθμισή του σε επιμέρους κλίμακες αποτελεί ένα συμβατικό τρόπο κατανόησης, μελέτης και επιτυχέστερης καταγραφής του φαινομένου, χωρίς αυτό να σημαίνει πως τα όρια που έχουν τεθεί είναι απολύτως διακριτά. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες κλίμακας και ακτίνα επιρροής

Κατηγορία κλίμακας	Ακτίνα επιρροής	Παράδειγμα
Τοπική	ως 5 km	Συγκεντρώσεις CO κοντά σε αυτοκινητόδρομο
Αστική	ως 50 km	Κυκλοφορία οχημάτων
Περιφερειακή	μεγαλύτερη από 50 km	Αερολύματα από μεγάλες αποστάσεις
Διακρατική – διηπειρωτική	-	Όξινη βροχή
Παγκόσμια	-	Φαινόμενο θερμοκηπίου

Πηγή: Γεντεκάκης 1999, ίδια επεξεργασία

Από τις παραπάνω κλίμακες κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια μικρή αναφορά στις δύο πρώτες μιας και εμπεριέχονται στα όρια μελέτης του φαινομένου της αστικής ρύπανσης, η οποία αποτελεί το υπόβαθρο μελέτης στην παρούσα εργασία.

Ειδικότερα, τα τοπικά προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης χαρακτηρίζονται συνήθως από μία ή περισσότερες πηγές έντονης ρυπογόνου δραστηριότητας (π.χ καμινάδες εργοστασίων), ή από ένα μεγάλο αριθμό μικρών εκπομπών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μονοξειδίο του άνθρακα που εκπέμπεται από τα αυτοκίνητα και προκαλεί μεγάλες συγκεντρώσεις κοντά σε αυτοκινητοδρόμους.

Σε επίπεδο αστικής κλίμακας το φαινόμενο εμφανίζεται πιο σύνθετο, αφού συμμετέχουν τόσο πρωτογενείς, όσο και δευτερογενείς ρύποι. Στην πρώτη περίπτωση το κυκλοφοριακό πρόβλημα οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου στις πόλεις, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Στη δεύτερη περίπτωση ο σχηματισμός του όζοντος από τις φωτοχημικές αντιδράσεις, έχει άμεσες

συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία και για το λόγο αυτό θεωρείται ως ένας από του πιο βλαβερούς ρύπους (Γεντεκάκης, 1999).

1.4 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Πριν προχωρήσουμε στους τρόπους προσδιορισμού της ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι χρήσιμο να ξεκαθαρίσουμε τις έννοιες των εκπομπών και της συγκέντρωσης. Οι πρώτες αναφέρονται στις ποσότητες των ρύπων που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα από την έξοδο μιας πηγής ρύπανσης, (π.χ από την καμινάδα εργοστασίου ή την εξάτμιση αυτοκινήτου) Εκφράζονται σε μονάδες παροχής, π.χ. σε τόννους ανά έτος ή ανά ημέρα (tn/a και tn/d αντίστοιχα) ή σε κιλά ανά ώρα (kg/h). Συγκεντρώσεις είναι οι ποσότητες ρύπων που έχουν καταλήξει σε μια συγκεκριμένη περιοχή (αποδέκτης). Η συγκέντρωση ή αλλιώς η τιμή της ρύπανσης μετριέται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και εκφράζεται είτε σε μονάδες πυκνότητας (μάζα ρυπαίνουσας ουσίας σε δοσμένο όγκο αέρα), είτε σε μονάδες αραιώσης (όγκος ρυπαίνουσας ουσίας σε δοσμένο όγκο αέρα). Οι συνηθέστερες μονάδες μέτρησης είναι τα χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (mg/m^3) ή μέρη ανά εκατομμύριο (ppm), ενώ για πολύ μικρές συγκεντρώσεις χρησιμοποιούμε τα μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) (Βαβίζος και Μερτζάνης, 2003).

Γενικά, εκτός από πολύ σπάνιες εξαιρέσεις, οι συγκεντρώσεις είναι πολύ μικρότερες από τις εκπομπές, γεγονός που οφείλεται, στη διασπορά των ρύπων από τη στιγμή που θα διοχετευθούν στην ατμόσφαιρα μέχρι τη στιγμή που θα φτάσουν στους αποδέκτες. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τις συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα για τους παρακάτω λόγους:

- α) σαν δείκτης συνδέεται άμεσα με το μέγεθος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την κυκλοφορία των οχημάτων (Βλ. Πίνακα 1.2).
- β) απαιτεί σχετικά φθηνό εξοπλισμό για τη μέτρησή των συγκεντρώσεών του στο περιβάλλον.
- γ) έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σαν δείκτης έκθεσης κυκλοφοριακών εκπομπών (McElroy and Behar, 1984)

1.5 ΤΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Σαν αέριο είναι άχρωμο και άοσμο, ελάχιστα διαλυτό στο νερό και αναφλέξιμο. Το σύνολο των ανθρωπογενών εκπομπών του είναι χαμηλότερο περίπου κατά μία τάξη μεγέθους από τις φυσικές εκπομπές. Τοπικά όμως μπορεί να ισχύει ακριβώς το αντίστροφο (Κούγκολος, 2005).

Γενικά στις αστικές περιοχές η κύρια ποσότητα του CO προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στα αυτοκίνητα, ενώ σε μικρότερο ποσοστό συνεισφέρουν οι μονάδες κεντρικής θέρμανσης, οι βιομηχανικές δραστηριότητες και η καύση των στερών αποβλήτων (Πίνακας 1.2). Χαρακτηριστικό είναι πώς από τους 94.000.0000 τόνους CO που παράγονταν στην Αμερική τη δεκαετία του '60, οι 67.000.000 προέρχονταν από τα αυτοκίνητα και μόλις 8.600.000 τόνοι προέρχονταν από τις πυρκαγιές δασών (Γεντεκάκης, 1999).

Η μέση συγκέντρωση του CO είναι 0.1 ppm, σε κατοικημένες περιοχές φθάνει τα 15 ppm, ενώ σε σήραγγες αυτοκινητοδρόμων ή σε στενές λωρίδες κυκλοφορίας φθάνει τα 50 ppm (Κούγκολος, 2005). Τα εθνικά όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για το CO καθορίζονται βάση της οδηγίας 2000/69/ΕΚ για τις “οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος”. Σύμφωνα με το παράρτημα II η μέγιστη ημερήσια 8ωρη τιμή συγκέντρωσης είναι τα 10 mg/m³ ή 8.7 ppm περίπου.

Πίνακας 1.2: Οι κυριότεροι ρύποι και οι πηγές τους

ΠΗΓΗ	ΡΥΠΟΣ (ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ΤΟΝΟΙ / ΕΤΟΣ)					
	CO	SO ₂ , SO ₃	NO, NO ₂	H/C	Σωματίδια	Σύνολα
ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ						
Αυτοκίνητο	67.3	0.3	7.0	12.7	0.7	88.0
Άλλα	3.9	0.1	1.0	1.1	0.5	6.6
Σύνολο	71.2	0.4	8.0	13.8	1.2	94.6
ΚΑΥΣΕΙΣ						
Παρ. Ηλεκτρικής Ενέργειας	0.1	14.0	3.5	-	2.3	19.9
Βιομηχανία	0.3	5.5	3.1	0.1	3.0	12.0
Οικιακή θέρμανση	1.3	1.8	0.5	0.6	0.4	4.6
Άλλα	0.2	0.7	0.4	-	0.3	1.6
Σύνολο	1.9	22.0	7.5	0.7	6.0	38.1
Επεξεργασία στερεών αποβλήτων	4.5	0.1	0.7	1.4	1.2	7.9
Διάφορες κατεργασίες	7.8	7.2	0.2	3.5	5.9	24.6
Διάφορα	1.2	0.6	0.2	4.2	0.4	6.6
ΣΥΝΟΛΑ	86.6	30.3	16.6	23.6	14.6	172.8

Πηγή: Γεντεκάκης 1999

1.5.1 Η ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η τοξικότητα του CO σχετίζεται με το αναπνευστικό σύστημα καθώς ανταγωνίζεται έντονα τη δέσμευση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη του αίματος. Η αιμοσφαιρίνη δρα ως μεταφορέας του οξυγόνου από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και του διοξειδίου του άνθρακα από τα κύτταρα στους πνεύμονες. Έτσι η παρουσία του μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα που εισπνέουμε περιορίζει την οξυγόνωση των κυττάρων, επειδή αντικαθιστά το οξυγόνο της οξυαιμοσφαιρίνης (O₂Hb) και σχηματίζει την καρβοξυαιμοσφαιρίνη:



Η καρβοξυαιμοσφαιρίνη προκαλεί ανοξαιμία που εκδηλώνεται στον εγκέφαλο με κεφαλαλγίες, ναυτίες, ελαττωμένη διακριτική ικανότητα κ.λπ. Η συνεχής έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις της τάξεως άνω των 35 mg/m³ προκαλεί απώλεια συνείδησης χωρίς αναπνευστικές διαταραχές, ενώ η συνεχιζόμενη προκαλεί και το θάνατο. Έχουν σημειωθεί πολλοί θάνατοι από CO από τη χρήση μαγκαλιού σε εσωτερικούς χώρους ή ακόμη και σε άτομα που κοιμήθηκαν σε σταματημένο αυτοκίνητο (συμβατικής τεχνολογίας) με αναμμένο το καλοριφέρ (που φέρνει ζεστό αέρα από τη μηχανή, ο οποίος μπορεί να περιέχει και συγκέντρωση CO) (Κούγκολος, 2005). Επίσης τελευταίες ιατρικές μελέτες έχουν δείξει σοβαρή συσχέτιση μόνιμων καρδιακών προβλημάτων από παρατεταμένες εκθέσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις. Το CO φαίνεται να ευθύνεται κατά παρόμοιο ποσοστό με τη χοληστερόλη στη δημιουργία λιπαρού στρώματος στα αιμοφόρα αγγεία (αθηρωματική πλάκα). Η δράση του είναι προσθετική (Γεντεκάκης, 1999).

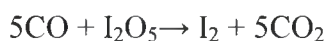
1.5.2 ΕΥΑΙΣΘΗΤΕΣ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ

Τα εθνικά όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας θεσπίζονται με σκοπό την προστασία του κοινού συμπεριλαμβανομένων των ομάδων υψηλού κινδύνου. Για το CO οι ομάδες αυτές είναι οι ηλικιωμένοι, οι εγκυμονούσες, τα μικρά παιδιά και όσοι πάσχουν από αναιμία ή άλλη αιματολογική, καρδιοαγγειακή ή αναπνευστική πάθηση. Τα άτομα που αντιμετωπίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο από την έκθεση στο CO είναι εκείνα που πάσχουν από ισχαιμικές καρδιακές παθήσεις και όσοι αντιμετωπίζουν πρόβλημα στηθάγχης (καρδιακός θωρακικός πόνος). Η τελευταία ομάδα αντιπροσώπευε το 3% του αμερικανικού πληθυσμού το 1994 (U.S Environmental Protection Agency, 2000)

1.5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ CO

Ο προσδιορισμός του CO στον αέρα γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

1. Φασματοφωτομετρικά, από την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας
2. Ηλεκτροχημική μέθοδος
3. Μέθοδος πεντοξειδίου του ιωδίου η οποία στηρίζεται στην αντίδραση:



1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

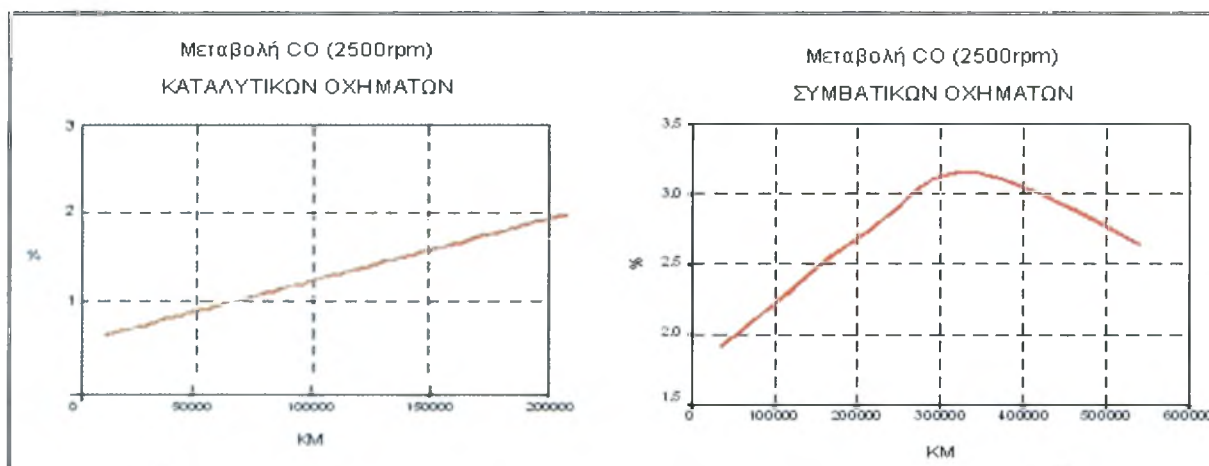
Οι παράγοντες που επιδρούν τη διαμόρφωση των επιπέδων της αστικής¹ ατμοσφαιρικής ρύπανσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: α) στις πηγές, β) στις μετεωρολογικές παραμέτρους και γ) στις πολεοδομικές παραμέτρους.

• Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Επειδή η συγκεκριμένη μελέτη αφορά αποκλειστικά το CO, όπου κύρια πηγή παραγωγής του είναι τα αυτοκίνητα (Βλ. Πίνακα 1.2), θα ασχοληθούμε μόνο με τις γραμμικές πηγές. Γενικά το μέγεθος και η ηλικία του στόλου των οχημάτων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το ποσοστό των συμβατικών αυτοκινήτων, που κυκλοφορούν ακόμη στη χώρα μας ανέρχεται σε 37.6% και είναι το μεγαλύτερο στις χώρες της ΕΕ (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001). Από το διάγραμμα 1.1 είναι εμφανής η διαφορά στις εκπομπές CO σε σχέση με τα διανυθέντα χιλιόμετρα. Στην κατηγορία των συμβατικών οχημάτων, η μείωση που παρατηρείται στα 300.000 χλμ. οφείλεται πιθανά στην αντικατάσταση ή ανακατασκευή των κινητήρων στα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα.

Η διαφοροποίηση πάντως των τιμών των συγκεντρώσεων των καυσαερίων οφείλεται εκτός των τεχνολογικών χαρακτηριστικών και στην ποιότητα των παρεχόμενων εργασιών συντήρησης στο σύστημα after sales των αντιπροσωπειών (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001).

¹ Η διάκριση αυτή γίνεται για να διευκρινίσουμε πως τα αίτια της ρύπανσης προέρχονται εν προκειμένω από πηγές εντός της πόλης και όχι δεν συμπεριλαμβάνονται ρύποι περιφερειακής κλίμακας

Διάγραμμα 1.1: Διαφοροποιήσεις στις εκπομπές CO καταλυτικών και συμβατικών οχημάτων

Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ 2001, ίδια επεξεργασία

● Μετεωρολογικοί παράμετροι

Οι μετεωρολογικοί παράμετροι παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το θέμα αυτό ο καθηγητής Ζιώμας Ι. αναφέρει χαρακτηριστικά: “Για να πει κανείς ότι μειώνονται οι ρύποι ,πρέπει ταυτόχρονα να επιτευχθεί μείωση των συγκεντρώσεων και των εκπομπών. Όταν δε μειώνονται οι εκπομπές, τότε η εμφάνιση ή μη υψηλών συγκεντρώσεων έχει να κάνει αποκλειστικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες”. Οι σημαντικότερες εξ αυτών είναι :

- ⊕ η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου
- ⊕ η ευστάθεια της ατμόσφαιρας
- ⊕ η βροχόπτωση,
- ⊕ η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας,
- ⊕ η θερμοκρασία (έμμεσα)

● Πολεοδομικοί παράμετροι

Τα στοιχεία της κατηγορίας αυτής έχουν να κάνουν με τη σύνθεση και τη μορφή του αστικού χώρου, δηλαδή με την πυκνότητα δόμησης, το ύψος των κτηρίων, το πλάτος των δρόμων, τους ελεύθερους χώρους πρασίνου κ.λπ. Τα στοιχεία αυτά όπως και οι επιπτώσεις τους περιγράφονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

1.7 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΤΑΚΤΗ - ΠΟΛΕΟΔΟΜΟΥ

Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της πολυπλοκότητάς του τόσο στη δημιουργία όσο και στην αντιμετώπισή του απαιτεί μια σφαιρική προσέγγιση από διάφορους κλάδους επιστημόνων. Σε αυτή την πρόκληση δεν θα μπορούσε να απουσιάζει ο ρόλος του πολεοδόμου, ως βασικού εκφραστή ενός σχεδίου που καλείται να αποτελέσει τα θεμέλια για μια βιώσιμη και ζωντανή πόλη.

Σήμερα οι πόλεις αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία ως χώροι κατοικίας και εργασίας, γιατί προσφέρουν πολλές ευκαιρίες διαβίωσης και πνευματικής καλλιέργειας. Υπολογίζεται ότι πάνω από το 80% του πληθυσμού έχει συγκεντρωθεί σε πόλεις μεγέθους άνω των 20.000 κατοίκων. Η συσσώρευση αυτή σίγουρα δεν μπορεί να αποτελέσει ένα υγιές και δημιουργικό περιβάλλον για την ανθρώπινη διαβίωση. Ιδιαίτερα στη χώρα μας, με την άναρχη και χωρίς σχεδιασμό ανάπτυξη οι πόλεις έχουν γίνει αν όχι επικίνδυνες, εχθρικές για τον άνθρωπο.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας των πόλεων παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη ρύπανση τόσο σε στερεά σωματίδια, όσο και σε αέριους ρύπους. Η πυκνότητα δόμησης, η διάταξη και το πλάτος των δρόμων, το ύψος των κτηρίων, η κατανομή των πράσινων υπαιθρίων χώρων κ.τ.λ είναι παράγοντες που επηρεάζουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα. Είναι αναμφίβολο πως το κέντρο των πόλεων θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας περισσότερο από την περιφέρεια (1-3 °C). Το γεγονός αυτό συμβάλλει στη δημιουργία του φαινομένου της «θερμικής νησίδας». Κατά τη διάρκειά του η υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από οικοδομές, πεζοδρόμια και άσφαλτο υφίσταται πολλαπλές αντανακλάσεις και τελικά εγκλωβίζεται μέσα στα κτίρια με τη μορφή θερμότητας. Παράλληλα εμφανίζεται ένα σύστημα κυκλώνων πιέσεων στο κέντρο της πόλης, με κίνηση του αέρα από τη περιφέρεια προς το κέντρο και ένα ανοδικό ρεύμα στο κέντρο των χαμηλών πιέσεων. Το σύστημα αυτό συμβάλλει στην ανανέωση του αέρα των πόλεων και στην είσοδο «φρέσκου» αέρα με την προϋπόθεση ότι η πόλη δεν περιβάλλεται από βιομηχανικές περιοχές ή δακτύλιο ταχείας κυκλοφορίας, αλλά με ζώνη πρασίνου. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει η διάταξη των κεντρικών δρόμων. Ακτινωτή διάταξη διευκολύνει την κίνηση των αέριων μαζών από την περιφέρεια προς το κέντρο, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης. Το φαινόμενο αυτό πρέπει λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τους πολεοδόμους κατά το σχεδιασμό ή τη βελτίωση των συνθηκών ζωής μιας πόλης. Επίσης ο Συντελεστής Δόμησης (Σ.Δ) πρέπει να αυξάνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο και όχι αντίστροφα. Στις πόλεις τα ψηλά

κτήρια επιβραδύνουν την ανανέωση των θερμών μαζών με ψυχρότερες με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται υπερθέρμανση και δημιουργία θερμικού κλίματος κλιβάνου. Το φαινόμενο ήταν ιδιαίτερα έντονο στην Αθήνα και σε άλλες πόλεις της χώρας μας κατά τον καύσωνα του 1985 και 1987.

Επομένως γίνεται αντιληπτό πως η ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με μια πληθώρα παραγόντων, οι οποίοι επηρεάζουν και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ένταση του φαινομένου. Ο ρόλος του χωροτάκτη – πολεοδομίου πρέπει να είναι ενεργός στην διαδικασία δημιουργίας βιώσιμων συνθηκών στις πόλεις. Η δημιουργία ελεύθερων χώρων πρασίνου, ο προσανατολισμός και το πλάτος των δρόμων και ο καθορισμός του Σ.Δ αποτελούν τα μέσα για ένα βιώσιμο πολεοδομικό σχέδιο. Σε ακόμα μικρότερη κλίμακα, οι αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και μορφών ενέργειας είναι η μοναδική λύση επιβίωσης σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο και απειλητικότερο περιβάλλον.

1.8 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Καθώς το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί ένα εξ ορισμού πολυσύνθετο φαινόμενο, ήταν επόμενο και οι προσεγγίσεις επί του θέματος να προέρχονται από διάφορα επιστημονικά πεδία. Πολλές μελέτες προσομοίωσης της ποιότητας του αέρα έχουν αναπτυχθεί εξετάζοντας διαφορετικές πτυχές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η θεματολογία ξεκινά από την επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών και φθάνει μέχρι το οικονομικό κόστος για την εφαρμογή μέτρων καταπολέμησής της. Υπάρχουν πέντε κατηγορίες προσέγγισης (Rahmatizadeh et al. 2006) οι οποίες είναι:

- ⊕ Προσέγγιση βασισμένη σε μοντέλα διάχυσης
- ⊕ Προσέγγιση οικονομικής βελτιστοποίησης
- ⊕ Χωρο – χρονική προσέγγιση
- ⊕ Προσέγγιση μέσω νευρωνικών δικτύων
- ⊕ Προσέγγιση μέσω μοντέλων όξινης βροχής

Οι παραπάνω προσεγγίσεις δεν αποτελούν παρά ένα ενδιάμεσο στάδιο, αφού ο γενικός σκοπός της καταγραφής και απεικόνισης του φαινομένου στοχεύει σχεδόν πάντα στην εξέταση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Δευτερογενείς μελέτες έχουν εστιάσει στο σχεδιασμό δικτύων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα (Trujillo-Ventura and Ellis 1990, Haas 1992) και στη δημιουργία συστημάτων στήριξης αποφάσεων χωρικού

χαρακτήρα (SDSS) (Agrawal et al., 2003) Παρακάτω γίνεται μια συνοπτική αναφορά στις μέχρι τώρα προσεγγίσεις επί του θέματος.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 η χρήση των ΓΠΣ επεκτάθηκε στην προσομοίωση ατμοσφαιρικών μοντέλων που σχετίζονταν με τις επιπτώσεις των μεταφορών και του κυκλοφοριακού φόρτου στην ποιότητα του αέρα. Οι Bruckman et al., 1992 και οι Souleyerette et al., 1992 παρουσίασαν ένα πλαίσιο όπου ενσωμάτωνε τα ΓΠΣ και τα μοντέλα ατμοσφαιρικής διάχυσης συνδυάζοντας πληροφορίες για τον κυκλοφοριακό φόρτο και τις εκπομπές των οχημάτων.

Οι Hallmark and O'Neil 1996 περιέγραψαν τα αποτελέσματα από τη συνδυασμένη εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου ατμοσφαιρικής ρύπανσης (CAL3QHC) και των ΓΠΣ. Στην ίδια κατεύθυνση κινήθηκαν και οι Sharma et al. 2003 για την απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλο αυτοκινητόδρομο της Ινδίας. Οι Andersons et al. 1996 χρησιμοποίησαν τα ΓΠΣ σαν ένα εργαλείο απεικόνισης των χωρικών προτύπων των εκπεμπόμενων ρύπων και οπτικοποίησης των επιπτώσεων της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις εκπομπές. Τέλος ο Sikdar (2001) εφάρμοσε τα ΓΠΣ για την απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Νέο Δελχί, βασιζόμενος σε ωριαίες παρατηρήσεις και απέδειξε τη χρησιμότητα του προγράμματος στο συγκοινωνιακό σχεδιασμό και τη διαχείριση της κυκλοφορίας.

Το ενδιαφέρον για τις δυνατότητες της χωρικής παρεμβολής και ιδιαιτέρως του kriging οδήγησε τους Oliver and Webster 1990, Myers 1994 στη εξέταση των διάφορων παραλλαγών του. Εντούτοις, αν και αρκετές μελέτες ασχολήθηκαν με τη σύγκριση της παρεμβολής kriging με άλλες τεχνικές (Abbass et al. 1990, Dubrule 1984, Laslett et al. 1987, Von Kuilenburg et al. 1982, Weber and Englund 1992, Knotters et al. 1995, Wong et al. 2003), δεν υπάρχει κοινή συναίνεση για το ποια μέθοδος επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα. Αντιθέτως, η επίδοση κάθε μεθόδου τείνει να διαφοροποιείται με κριτήριο το βαθμό χωρικής διαφοροποίησης της παρατηρούμενης μεταβλητής και των αντίστοιχων δεδομένων όπως η πυκνότητα και η κατανομή του δείγματος, (Briggs et al. 1997). Η χωρική παρεμβολή kriging στις διάφορες μορφές της έχει μια πληθώρα εφαρμογών και για το λόγο αυτό αξιοποιήθηκε σε διάφορους τομείς. Ενδεικτικά, οι Gilbert and Simpson, (1983) χρησιμοποίησαν το kriging για την εκτίμηση των χωρικών προτύπων επικίνδυνων ουσιών στο έδαφος, ενώ ο Wartenberg (1993) αναφέρει τη χρήση του kriging σαν εργαλείο εκτίμησης και απεικόνισης της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Στον τομέα της απεικόνισης των συγκεντρώσεων διαφόρων ρύπων ασχολήθηκαν οι Campbell et al. 1994, Ambachtsheer (2004) για το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και για το όζον οι Lefohn et al. 1988, Liu et al. 1995, Rahmatizadeh et al. 2003, Casado et al. 1993, Diem and Comrie, (2001). Στην ίδια λογική ο Dalvi et al. 2005 χρησιμοποίησε τη χωρική παρεμβολή και τα ΓΠΣ με σκοπό την απεικόνιση της κατανομής των εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), βασισμένος σε ένα διευρυμένο σύστημα απογραφής εκπομπών για την Ινδία. Ο Patil, (2003) παρουσίασε μια μεθοδολογία ανάπτυξης ενός ΓΠΣ για την απεικόνιση διάφορων ρύπων, εφαρμόζοντας διαφορετικές τεχνικές χωρικής παρεμβολής προσδιοριστικού χαρακτήρα (Βλ. §2.9.1, σελ. 33) συγκρίνοντας τα μεταξύ τους αποτελέσματα. Μια διαφορετική πτυχή του θέματος εξετάζουν οι (Buckland and Middleton, 1997, Berkowicz, 1997, Croxford and Penn, 1998), όπου μελετώνται οι επιδράσεις του ανέμου και των γενικότερων μετεωρολογικών συνθηκών που συμβάλλουν στην ένταση του φαινομένου. Τέλος, ο Briggs (Briggs et al. 1997, 2000) μελέτησε το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από την κυκλοφορία των οχημάτων χρησιμοποιώντας μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης σε συνδυασμό με τη χρήση των Γ.Π.Σ.

Σημαντικός είναι και ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στη μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, - κυρίως όσον αφορά τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) - μέσω συγκριτικών στοιχείων ανάμεσα σε επίγειες μετρήσεις και δορυφορικά δεδομένα.

1.8.1 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

1.8.1.1 WONG

Μία αρκετά ενδιαφέρουσα μελέτη είναι αυτή των Wong et al 2003, στην οποία εφαρμόστηκαν διαφορετικές τεχνικές χωρικής παρεμβολής με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κάθε μεθόδου ως προς τα επίπεδα των εκτιμώμενων αέριων ρύπων. Σε δεύτερο στάδιο εξετάζεται πως τα αποτελέσματα των παραπάνω τεχνικών μπορούν να χρησιμεύσουν σαν βοηθητικό στοιχείο στη συσχέτιση ανάμεσα στα αναπνευστικά προβλήματα και τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Αναλυτικά στο πρώτο στάδιο εφαρμόζονται τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής (α) spatial averaging, (β) nearest neighbor, (γ) inverse distance weighting και (δ) ordinary kriging, για το όζον (O_3) και τα αιωρούμενα σωματίδια. (PM_{10}) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Έπειτα τα αποτελέσματα των παρεμβολών συγκρίνονται μεταξύ τους υπολογίζοντας το συντελεστή συσχέτισης για διάφορα ζεύγη τεχνικών. Για το θέμα αυτό εξετάζονται οι συνθήκες κάτω από τις οποίες διαφορετικά μοντέλα σημειώνουν σημαντικές

διαφορές στις τιμές συγκέντρωσης. Γενικά τα αποτελέσματα απέδειξαν πως για τα διάφορα είδη παρεμβολής τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις για τις περισσότερες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου η πυκνότητα των σταθμών μέτρησης είναι σχετικά μικρή. Αντίθετα στις περιοχές με υψηλή πυκνότητα παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις επιμέρους μεθόδους εκτίμησης.

1.8.1.2 KANAROGLOU

Η εργασία των Kanaroglou et al. 2005 επικεντρώνεται σε δύο στόχους. Ο πρώτος αφορά στην βέλτιστη χωροθέτηση ενός δικτύου σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ο δεύτερος στην ανάπτυξη ενός μοντέλου έκθεσης πληθυσμού με απώτερο σκοπό τον έλεγχο συσχέτισης ανάμεσα στην ρύπανση που προέρχεται από την κυκλοφορία και τις επιπτώσεις στην υγεία ξεκινώντας από το παιδικό άσθμα και φθάνοντας μέχρι το θάνατο από καρκίνο των πνευμόνων.

Για τον υπολογισμό των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης αρχικά χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις των σταθερών σταθμών μέτρησης. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι γειτονικές χρήσεις γης για κάθε σημείο και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου εντός προκαθορισμένων ζωνών. Κατόπιν τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποκτούν ειδικό βάρος σύμφωνα με τον πληθυσμό μελέτης και για να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις ανάλογα με τη ζήτηση, επιστρατεύεται ο αλγόριθμος Global Regional Interchange σύμφωνα με το κριτήριο της μέγιστης ακολουθίας (*maximum attendance*).

Για την κατανόηση των εφαρμογών και των συναφών τεχνικών είναι αρχικά απαραίτητη η παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου της εργασίας, το οποίο παρατίθεται στο επόμενο κεφάλαιο. Η αξία του δε είναι ακόμη μεγαλύτερη αν αναλογιστεί κανείς ότι ο τομέας των χωρικών παρεμβολών και η εφαρμογή τους, μπορεί θεωρητικά να φαίνεται εύκολη υπόθεση, όμως στην πράξη απαιτεί ειδικές γνώσεις στατιστικής και ορολογίας. Εκτός αυτού εξετάζονται τα βοηθητικά στοιχεία χωρικής ανάλυσης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των επιμέρους προβλημάτων.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ Γ.Σ.Π

Οι διάφοροι ορισμοί που έχουν προταθεί κατά καιρούς για τα Γ.Σ.Π. δεν μπορούν παρά να αποτελούν μικρά τμήματα ενός συνολικού “πάζλ” που αφορά το γεωγραφικό χώρο. Εάν κατηγοριοποιήσουμε αυτές τις ιδέες, τότε μπορούν να εξαχθούν τρεις ξεχωριστές ομάδες αλληλένδετες μεταξύ τους (Κουτσόπουλος, 2002).

Η πρώτη ομάδα (Σχήμα 2.1) μπορεί να χαρακτηριστεί ως **Διαχειριστική προσέγγιση** και βασικός της στόχος είναι η διαχείριση χωρικών στοιχείων. Αποτελείται από δύο υποομάδες. Η πρώτη υποομάδα αφορά τη Χαρτογραφική προσέγγιση οποία εστιάζεται κυρίως στα χαρτογραφικά χαρακτηριστικά των Γ.Σ.Π. Πιο συγκεκριμένα θεωρούν ότι τα Γ.Σ.Π αποτελούν συστήματα για τη δημιουργία και διαχείριση χαρτογραφικών στοιχείων. Επομένως αναφέρονται σε χάρτες, διαχειρίζονται χάρτες και η έξοδος (output) είναι πάλι χάρτες.

Η δεύτερη υποομάδα αφορά την Πληροφοριακή Προσέγγιση που δίνει έμφαση στη σπουδαιότητα των Γ.Σ.Π ως σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζεται με φανατισμό απ’ όσους προέρχονται από τις τάξεις των επιστημόνων των Η/Υ.

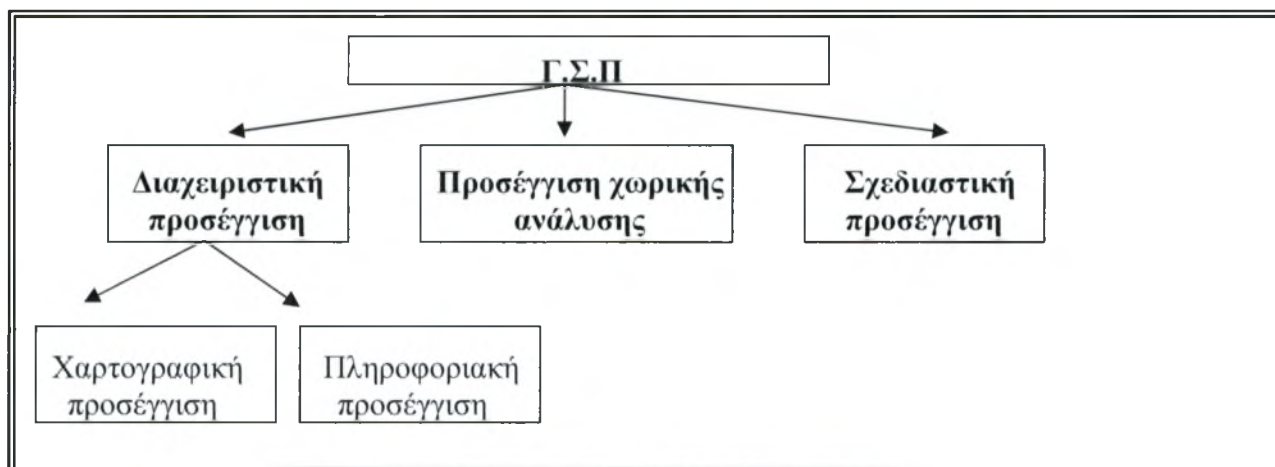
Η δεύτερη ομάδα αναφέρεται σαν **Προσέγγιση Χωρικής Ανάλυσης** και βεβαίως υποστηρίζει της σπουδαιότητα της Γεωγραφικής (Χωρικής) Ανάλυσης. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή τα Γ.Σ.Π αποτελούν τμήμα της επιστήμης της Γεωγραφίας και όχι απλώς μια νέα τεχνολογική εξέλιξη. Η έμφαση στη Χωρική Ανάλυση είναι πλέον αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα, αφού όπως λέει και ο Godchild (1988), “...η δυνατότητα των Γ.Σ.Π να αναλύουν χωρικά δεδομένα είναι το χαρακτηριστικό που τα διαφοροποιεί από τα συστήματα που ο βασικός στόχος είναι η παραγωγή χαρτών”.

Η τρίτη ομάδα αναφέρεται στη **Σχεδιαστική Προσέγγιση** και εστιάζεται στη δυνατότητα των Γ.Σ.Π να βοηθούν στην επίλυση χωρικών προβλημάτων, δηλαδή να συμμετέχουν ενεργά στο χωρικό σχεδιασμό. Αλλά και πάλι μια επιστημονική προσέγγιση ή έστω ένα επιστημονικό εργαλείο, δεν μπορεί να καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από τις εφαρμογές του.

Οι θεωρήσεις αυτές των Γ.Σ.Π (διαχείριση, ανάλυση, σχεδιασμός), που οι επιμέρους υποστηρικτές τους τις θεωρούν ως αντιφατικές, ευτυχώς μπορούν να ιδωθούν σαν επιστημονικά πεδία που έχουν κοινό τόπο τη χωρική διάσταση και επομένως είναι

αλληλοσυσχετιζόμενα και αποτελούν τμήματα μιας ολοκληρωμένης χωρικής προσέγγισης. (Κουτσόπουλος, 2002)

Σχήμα 2.1: Οι προσεγγίσεις στις λειτουργίες ενός Γ.Σ.Π



Πηγή: Κουτσόπουλος 2002, ίδια επεξεργασία

2.2 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ Γ.Σ.Π ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η μελέτη και ανάλυση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει σε γενικές γραμμές δύο βασικούς τρόπους προσέγγισης: α) τη χωρική παρεμβολή και β) τα μοντέλα διασποράς (Briggs, 1992). Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη των Γ.Σ.Π και των γεωστατιστικών τεχνικών, ένα ευρύ φάσμα μεθόδων χωρικών παρεμβολών έκανε την εμφάνισή του. Παρόλ' αυτά δεν υπάρχει ομοφωνία ως προς το ποια μεθοδολογία υπερτερεί. Αντιθέτως, οι επιδόσεις κάθε τεχνικής τείνουν να διαφοροποιούνται ανάλογα με τη μεταβλητότητα της υπό εξέταση μεταβλητής και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δεδομένων αναφοράς, όπως η πυκνότητα και η κατανομή του δείγματος.

Εντούτοις είναι γεγονός πως σε συνθήκες αστικού περιβάλλοντος, όπου οι μεταβολές των συγκεντρώσεων παρουσιάζουν υψηλή μεταβλητότητα ακόμα και σε αποστάσεις μερικών δεκάδων μέτρων, τα μοντέλα διασποράς είναι αναξιόπιστα (Briggs et al. 1997). Επιπλέον σε αντίθεση με τις γεωστατιστικές τεχνικές, αδυνατούν να προβλέψουν τις συγκεντρώσεις ρύπων πέρα από την άμεσα γειτνιάζουσα περιοχή των οδικών αξόνων (35μ για το μοντέλο CAR και 200μ για το CALINE) (Briggs et al. 1997). Ένα ακόμα συγκριτικό πλεονέκτημα των Γ.Σ.Π είναι η επίτευξη αξιόπιστων προβλέψεων με μικρό αριθμό δεδομένων. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατον να επιτευχθεί στα μοντέλα διασποράς, καθώς απαιτούν λεπτομερή στοιχεία τόσο σχετικά με τα χαρακτηριστικά του στόλου των οχημάτων, όσο και με μετεωρολογικές παραμέτρους, γεγονός που τα καθιστά δύσχρηστα στον απλό χρήστη.

Στην περίπτωση των Γ.Σ.Π με τη χρήση διαφόρων μεθόδων χωρικής παρεμβολής μπορούμε να αναλύσουμε φαινόμενα με χωρο – χρονική διάσταση, όπως το θέμα της αέριας ρύπανσης με λιγότερα δεδομένα εισόδου και αποφεύγοντας πολύπλοκους υπολογισμούς χωρικής ανάλυσης. Εκτός αυτού η αξία ενός Γ.Σ.Π είναι ακόμη μεγαλύτερη αν αναλογιστεί κανείς ότι - πέρα από τη διατήρηση βάσης δεδομένων και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων - μπορεί και συγκρίνει τις συγκεντρώσεις ρύπων με άλλα μη σχετιζόμενα δεδομένα. (Charlot et al. 2000).

2.3 ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η χωρική ανάλυση ορίστηκε από τον Bailey (1990) σαν “μια συνολική διαδικασία διαχείρισης – μετασχηματισμού των χωρικών στοιχείων σε διαφορετικές μορφές, δίνοντάς τους σαν αποτέλεσμα, διαφορετική έννοια. Ο ορισμός συμπίπτει απόλυτα με αυτό που ο Κουτσόπουλος (1990) ονόμασε σαν διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία, δηλαδή τη διαφοροποίηση των όρων γεωγραφικά στοιχεία σε γεωγραφική πληροφορία. Σύμφωνα με τον Haining (1994) η ανάλυση του χώρου στοχεύει:

1. Στη σωστή περιγραφή γεγονότων στο χώρο, που περιλαμβάνει κυρίως την περιγραφή των χωρικών προτύπων
2. Στη διερεύνηση των χωρικών προτύπων και των χωρικών σχέσεων
3. Στην αύξηση της ικανότητας πρόβλεψης και ελέγχου γεγονότων που συμβαίνουν στο χώρο
4. Η χρήση αυτών των τεχνικών και μεθόδων σαν εργαλείο λήψης αποφάσεων

Στη χωρική ανάλυση η περιγραφή του χώρου και η εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων και τεχνικών βασίζεται σε τρεις τύπους στοιχείων: τα σημεία, τις γραμμές και τις επιφάνειες. Με τη βοήθεια αυτών των δομικών στοιχείων μπορούμε να περιγράψουμε και τις αντίστοιχες κατανομές, όπως αναφέρονται παρακάτω:

- Κατανομές σημείων : κάθε μέτρηση αναφέρεται σε συγκεκριμένο σημείο στο χάρτη.
- Γραμμικές κατανομές: κάθε μέτρηση αντιπροσωπεύεται από μία γραμμή (ευθεία, τεθλασμένη, ή οποιασδήποτε άλλης μορφής).
- Ασυνεχείς κατανομές επιφανειών: όπου κάθε μέτρηση αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια ενός χάρτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι χωροπληθείς χάρτες.

- Συνεχείς κατανομές επιφανειών : όπου κάθε μέτρηση σχετίζεται με όλα τα σημεία μιας επιφάνειας. Τυπικό παράδειγμα αποτελούν οι χάρτες μόλυνσης του αέρα.

Στην παρούσα μελέτη η ανάλυση ξεκινά από τα τις κατανομές σημείων, αφού τα πρωτογενή δεδομένα αποτελούνται από σημειακές μετρήσεις και καταλήγει στη μελέτη των συνεχών κατανομών σε επιφάνειες. Στην πορεία αυτή χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία ανάλυσης όπως η δειγματοληψία, το χωροθετικό πηλίκιο, η χωρική παρεμβολή και τέλος το υπόδειγμα χωροθέτησης – κατανομής p – median. Το θεωρητικό υπόβαθρο των παραπάνω αναλύεται στις επόμενες ενότητες. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος ανάλυσης των σημειακών προτύπων μέσω των μεθόδων δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκαν.

2.4 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Το δείγμα ως αξιόπιστος αντικαταστάτης του πληθυσμού θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό, δηλαδή να εκφράζει τις διαφοροποιήσεις του πληθυσμού όσο πιο πιστά γίνεται. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο δειγματοληπτικό υπόβαθρο, με το οποίο εννοούμε το στατιστικό πληθυσμό από τον οποίο θα πάρουμε το δείγμα (Φώτης, 2002). Στη συγκεκριμένη περίπτωση το δείγμα αποτελείται από 30 σημεία, τα οποία τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης δημιουργώντας φθίνουσες πυκνότητες καθώς αυξάνεται η απόσταση από κέντρο της πόλης.

2.4.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η στρωματοποιημένη δειγματοληψία θεωρείται σαν μια βελτιωμένη εκδοχή των άλλων δύο διαδικασιών δειγματοληψίας (τυχαία, συστηματική), αφού ο πληθυσμός διαιρείται σε μικρότερες ομάδες, που δειγματοληπτούνται ξεχωριστά. Είναι προτιμότερο να εφαρμόζεται όταν επιδιώκεται η σύγκριση κάποιου χαρακτηριστικού δύο ή περισσότερων περιοχών ή στην περίπτωση που δύο μεταβλητές δεν διαφοροποιούνται ομοιόμορφα στο χώρο του δειγματοληπτικού υποβάθρου (Φώτης, 2002).

Στην κατευθυνόμενη δειγματοληψία η επιλογή του δείγματος δεν είναι τυχαία, αλλά συνειδητή και υποκειμενική. Αυτό σημαίνει πως κάθε στοιχείο του πληθυσμού δεν έχει την ίδια πιθανότητα να περιληφθεί στο δείγμα. Η πιο συνηθισμένη μορφή κατευθυνόμενης δειγματοληψίας είναι η μέθοδος των τυπικών μονάδων, όπου επιλέγονται εκείνες οι μονάδες που θεωρούνται αντιπροσωπευτικές κατά την εκτίμηση του ερευνητή. Για μικρά δείγματα η μέθοδος δίνει περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα από την τυχαία (Ντυκέν, 2002). Σε διαφορετική όμως περίπτωση καλό είναι να αποφεύγεται γιατί η υποκειμενική επιλογή

συνδέεται αυτόματα με μεροληψία, η οποία ακόμη κι αν δεν υπάρχει δεν μπορεί δυστυχώς να αποδειχθεί (Φώτης, 2002).

2.5 ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟ ΠΗΛΙΚΟ (LOCATION QUOTIENT)

Το χωροθετικό πηλίκιο ή δείκτης χωροθέτησης εκφράζει το μέγεθος κατά το οποίο ορισμένες μεταβλητές μιας περιοχής αποκλίνουν από το μέσο όρο μιας ευρύτερης περιοχής (Φώτης, 2002). Συγκρίνει δηλαδή τη συγκέντρωση μίας μεταβλητής σε μία δεδομένη περιοχή και ελέγχει κατά πόσο ακολουθεί το πρότυπο της ευρύτερης περιοχής. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση 2.1

$$\text{Χ.Π} = \frac{\frac{x_i}{x_j}}{\frac{\sum x_i}{\sum x_j}} \quad (2.1)$$

όπου:

x_i = τιμή της μεταβλητής i , για την περιοχή i

x_j = τιμή της μεταβλητής j για την περιοχή j

$\sum x_i$ = το άθροισμα του συνόλου των τιμών της μεταβλητής i για την περιοχή

$\sum x_j$ = το άθροισμα του συνόλου των τιμών της μεταβλητής j για την περιφέρεια

Όταν οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται πάνω από τη μονάδα αντιπροσωπεύουν υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ όταν είναι μικρότερες εκφράζουν χαμηλές συγκεντρώσεις. Στην περίπτωση που $LQ = 1$, υπάρχουν ίσες πιθανότητες καθώς οι συγκεντρώσεις της περιοχής ταυτίζονται με αυτήν της ευρύτερης περιοχής.

2.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οι γεωγραφικές κατανομές με βάση το επίπεδο αναφοράς χωρίζονται σε χωρικές και μη χωρικές. Οι τελευταίες σε αντίθεση με τις πρώτες χαρακτηρίζονται από μία πολυδιάστατη δομή (multi - variable structure), αφού ένα πλήθος μεγεθών ή ιδιοτήτων μπορούν να αποδοθούν σε καθένα από τα σημεία της κατανομής. Επομένως για την απλούστευση της παρουσίασης των στοιχείων απαιτείται η προσοχή ορισμένων μόνο χαρακτηριστικών που μπορούν να περιγραφούν αριθμητικά και να προσδιορίσουν την κατανομή σαν σύνολο.

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με τις συνεχείς κατανομές επιφανειών έχοντας ένα σύνολο παρατηρήσεων $Z_i, i=1, \dots, 30$, για ένα χωρικά συνεχές χαρακτηριστικό, οι οποίες έχουν καταγραφεί σε συγκεκριμένες θέσεις s στην περιοχή μελέτης A . Για τη μοντελοποίηση του προτύπου της μεταβλητότητας των τιμών του υπό εξέταση χαρακτηριστικού και των παραγόντων που την επηρεάζουν χρησιμοποιούμε τη χωρική παρεμβολή (spatial interpolation).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι γενικά η συμπεριφορά των χωρικών φαινομένων είναι συχνά το αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιπτώσεων δύο διαδικασιών που είναι γνωστές ως *πρώτης τάξης* (first order) και *δεύτερης τάξης* (second order). Οι επιπτώσεις της πρώτης σχετίζονται με τη μεταβλητότητα στη μέση τιμή της υπό εξέταση χωρικής διαδικασίας και εκπροσωπούν γενικευμένες ή μεγάλης κλίμακας τάσεις – διαφοροποιήσεις. Οι επιπτώσεις δεύτερης τάξης είναι αποτέλεσμα της δομής της χωρικής συσχέτισης ή της χωρικής εξάρτησης στη διαδικασία. Με άλλα λόγια είναι η τάση για αποκλίσεις στις τιμές από τη μέση τιμή σε γειτονικές θέσεις και εκπροσωπούν τοπικές ή μικρής κλίμακας επιπτώσεις (Κουτσόπουλος, 2002).

Για να γίνει πιο κατανοητή η διαφορά στις ιδιότητες των δύο τάξεων αξίζει να αναφερθεί το εξής παραστατικό παράδειγμα. Αν πάρουμε ρινίσματα σιδήρου και τα σκορπίσουμε σε μια επιφάνεια χαρτιού με αποτυπωμένο κάρναβο τότε έχουμε δημιουργήσει ένα τυχαίο πρότυπο. Αν τώρα βάλουμε κάτω από τα χαρτί σε διάφορα σημεία μικρούς μαγνήτες και τα ξανασκορπίσουμε, τότε το χωρικό πρότυπο που δημιουργείται αποτελεί μια διαδικασία πρώτης τάξης. Σε μία δεύτερη επανάληψη του πειράματος απομακρύνουμε τους μαγνήτες και μαγνητίζουμε ελαφρά τα ρινίσματα προτού σκορπιστούν. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας θα αντανάκλα τις επιπτώσεις από το χωρικό πρότυπο της δεύτερης τάξης. Βέβαια υπάρχει η περίπτωση να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα και τα δύο πρότυπα, ώστε να παραχθεί ένα συνδυαστικό αποτέλεσμα.

2.7 Η ΣΤΑΣΙΜΟΤΗΤΑ (STATIONARITY)

Γενικά, στη γεωστατιστική κάνουμε ορισμένες παραδοχές, που αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία προτύπων, τα οποία μας βοηθούν να εκτιμήσουμε τους κανόνες χωρικής αλληλεξάρτησης στις τιμές μιας μεταβλητής και να προχωρήσουμε τόσο στην εξαγωγή προβλέψεων όσο και στην αξιολόγηση της αβεβαιότητάς τους. Για το λόγο αυτό στη μοντελοποίηση των διαδικασιών δεύτερης τάξης (οικογένεια kriging) χρησιμοποιούμε τη στασιμότητα., η οποία ορίζεται ως η χωρική διαδικασία της οποίας οι στατιστικοί δείκτες είναι ανεξάρτητοι από την απόλυτη θέση της περιοχής μελέτης A . Τα είδη στασιμότητας είναι δύο. Το πρώτο ονομάζεται μέση στασιμότητα (*mean stationarity*) και υποθέτουμε ότι η μέση τιμή $\mu \in (Z(s))$ είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τη θέση s . Το δεύτερο είδος ονομάζεται στασιμότητα δευτέρου βαθμού (*second-order stationarity*) για τη συνδιασπορά (*covariance*) και ενδογενής (*intrinsic*) στασιμότητα για το βαριόγραμμα (*semivariogram*). Η στασιμότητα δευτέρου βαθμού βασίζεται στην υπόθεση ότι η συνδιασπορά $C(s_i, s_j)$ μεταξύ των τιμών δύο σημείων s_i και s_j είναι ανεξάρτητη της φυσικής τους θέσης και εξαρτάται μόνο από τη μεταξύ τους απόσταση και διεύθυνση. Στην περίπτωση του βαριογράμματος, η ενδογενής στασιμότητα εκφράζει την υπόθεση ότι η διασπορά των διαφορών μεταξύ των τιμών δύο σημείων, που η θέση τους απέχει μία συγκεκριμένη απόσταση και διεύθυνση είναι σταθερή.

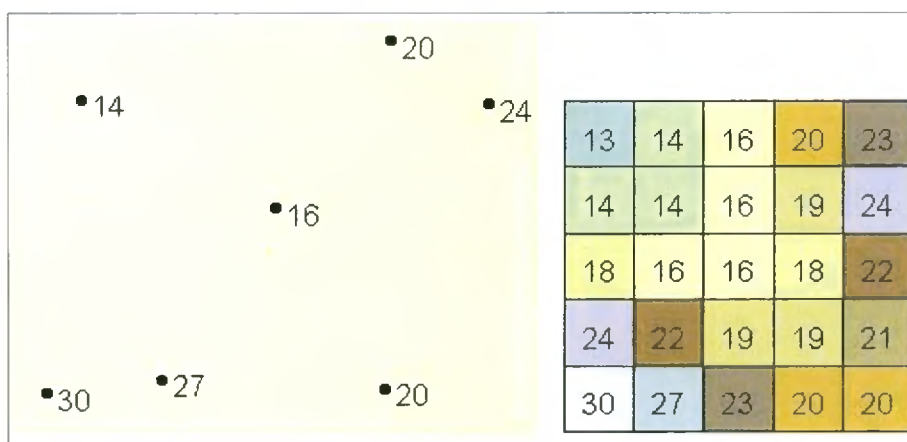
2.8 ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (INTERPOLATION)

Η χωρική παρεμβολή αποτελεί μία διαδικασία εκτίμησης της τιμής ενός χαρακτηριστικού σε σημεία που δεν ανήκουν στο δείγμα, με βάση τις μετρήσεις στα σημεία του δείγματος. Επομένως δύο βασικές υποθέσεις στηρίζουν τη διαδικασία της χωρικής παρεμβολής. Πρώτον, ότι η επιφάνεια που εκφράζει το υπό εξέταση χαρακτηριστικό είναι συνεχής και επομένως η τιμή σε κάθε θέση μπορεί να υπολογιστεί αν υπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία για την επιφάνεια αυτή. Η σαφής αυτή υπόθεση είναι εκείνη που επιτρέπει τη δημιουργία των μεθόδων παρεμβολής. Η δεύτερη υπόθεση είναι έμμεση, αλλά αναφέρεται στη χωρική εξάρτηση των τιμών του υπό εξέταση χαρακτηριστικού, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί επιτρέπει την τεκμηρίωση των μεθόδων αυτών. (Κουτσόπουλος, 2002)

Η εικόνα 2.1 απεικονίζει τη λειτουργία της παρεμβολής. Στην αριστερή πλευρά έχουμε ένα σύνολο μεμονωμένων σημείων με γνωστές τιμές και στα δεξιά παρατηρούμε την πλήρωση και των υπόλοιπων φατνίων του ψηφιδωτού μοντέλου με τη χρήση της

παρεμβολής. Η πρόβλεψη των τιμών γίνεται με μια μαθηματική φόρμουλα που χρησιμοποιεί τις τιμές των γειτονικών πεδίων.

Εικόνα 2.1: Απεικόνιση ψηφιδωτού μοντέλου πριν και μετά τη χρήση παρεμβολής



Πηγή: ίδια επεξεργασία

2.9 ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Όσον αφορά τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής, αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις προσδιοριστικές μεθόδους (deterministic methods) που υποδιαιρούνται σε μεθόδους γενικευμένων προσεγγίσεων και τοπικών εκτιμήσεων και τις γεωστατικές μεθόδους (geostatistical methods) χωρικής συσχέτισης. Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιεί μεθόδους σχετικά απλές που απαιτούν τη γνώση στοιχειωδών στατιστικών ή αιτιοκρατικών μεθόδων. Επειδή δε θα μας απασχολήσουν περαιτέρω, γίνεται απλά μια μνεία για την καθεμιά περιληπτικά. Αντίθετα η δεύτερη κατηγορία (kriging), απαιτεί μία καλή αντίληψη της χωρικής συσχέτισης και πάνω σ' αυτή θα βασιστεί η ανάλυση και ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων της δειγματοληψίας.

2.9.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ (DETERMINISTIC INTERPOLATIONS)

Οι τεχνικές των αιτιοκρατικών παρεμβολών δημιουργούν επιφάνειες με γνώμονα σημεία τα οποία έχουν εκ των προτέρων μετρηθεί και βασίζονται είτε στο βαθμό ομοιότητας (π.χ Inverse Distance Weight), ή στο βαθμό ομαλοποίησης (π.χ Radial Basis Functions).

Οι γενικευμένες μέθοδοι χρησιμοποιούν όλα τα υπάρχοντα στοιχεία – από ολόκληρη την περιοχή μελέτης - επιτυγχάνοντας εκτιμήσεις για το σύνολο της περιοχής που ενδιαφέρει (π.χ *Global Polynomial*). Εντούτοις χρησιμοποιούνται συνήθως εμμέσως για χωρικές παρεμβολές και αυτό γιατί αποτελούν κυρίως εργαλεία εξέτασης και πιθανόν απομάκρυνσης

των γενικευμένων – για ολόκληρη την περιοχή – χωρικών διαφοροποιήσεων που δημιουργούνται από διάφορες περιφερειακές τάσεις ή από διαφορετικές κατηγορίες φαινομένων τα οποία χαρακτηρίζουν περιοχές με διαφορετικές μέσες τιμές. Οι διαδικασίες εκτίμησης τους υπολογίζονται σχετικά απλά και βασίζονται κυρίως σε συνηθισμένες στατιστικές μεθόδους ανάλυσης διασποράς, όπως είναι η παλινδρόμηση ή και η απλή εφαρμογή της ανάλυσης διασποράς (ANOVA).

Οι μέθοδοι τοπικών εκτιμήσεων αναφέρονται στην εκτίμηση ενός χαρακτηριστικού σε μία συγκεκριμένη θέση, με βάση στοιχεία τα οποία προέρχονται από σημεία που βρίσκονται στην άμεση γειτονική περιοχή του (π.χ. Inverse Distance Weighted, Local Polynomial, and Radial Basis Functions). Ένα βασικό πλεονέκτημα αυτών των προσεγγίσεων είναι ότι η εκτίμηση βασίζεται σε πληροφορίες που αφορούν περιοχές κοντά στο υπό εκτίμηση σημείο και επομένως αντανακλούν διαφοροποιήσεις στη “γειτονία” του. Από την άλλη μεριά βέβαια, βασικό μειονέκτημα αποτελεί η ανάγκη καθορισμού αυτής της περιοχής εκτίμησης που θεωρείται ως “γειτονία” (Κουτσόπουλος, 2002).

2.9.2 ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ (KRIGING)

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής του αιτιοκρατικού μοντέλου παρουσιάζουν μια σειρά από αδυναμίες οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Οι μέθοδοι αυτοί αναφέρονται αποκλειστικά μόνο σε χωρικές διαφοροποιήσεις πρώτης τάξης, δηλαδή σε εκτίμηση του τρόπου που η μέση τιμή της υπό εξέταση χωρικής διαδικασίας διαφοροποιείται στην περιοχή μελέτης.
- Δεν μπορούν να δώσουν άμεσες εκτιμήσεις για την ποιότητα των προβλέψεων, δηλαδή μια εκτίμηση της διασποράς των προβλεπόμενων τιμών στα σημεία που δεν ανήκουν στο αρχικό δείγμα..
- Δεν είναι γνωστά τα λάθη (αβεβαιότητες) που σχετίζονται με τις εκτιμηθείσες τιμές της χωρικής παρεμβολής.

Τις παραπάνω αδυναμίες είναι σε θέση να καλύψουν οι γεωστατικοί μέθοδοι επειδή αποτελούν διαδικασίες δεύτερης τάξης, δηλαδή αναφέρονται στη χωρική εξάρτηση της διασποράς των τιμών των χαρακτηριστικών από τη μέση τιμή, μία βασική διαδικασία στην ανάλυση του χώρου, η οποία δεν λαμβάνεται υπόψη στις διαδικασίες πρώτης τάξης.

2.10 ΤΟ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑ

Το βαριόγραμμα εκφράζει μαθηματικά τον πρώτο νόμο της γεωγραφίας σύμφωνα με τον Waldo Tobler όπου “καθετί σχετίζεται με όλα τα υπόλοιπα, αλλά αντικείμενα που βρίσκονται πιο κοντά είναι περισσότερο συσχετισμένα από άλλα που βρίσκονται μακριά”. (Tobler, 1970). Το συμπέρασμα αυτό αντανακλάται σε πολλά συνεχή χωρικά φαινόμενα, όταν μεταξύ σημείων παρατηρούνται υψηλές συνδιασπορές και συσχετίσεις για κοντινές αποστάσεις και μικρές για μεγαλύτερες αποστάσεις. Οι λειτουργίες του βαριογράμματος και της συνδιασποράς είναι θεωρητικές ποσότητες, που εκτιμώνται μέσω των δεδομένων με τη χρήση του πειραματικού βαριογράμματος (empirical semivariogram) και της πειραματικής διασποράς. Για να εκτιμηθούν παίρνουμε όλα τα ζεύγη σημείων με παρόμοια απόσταση και διεύθυνση (Εικόνα 2.3) (διαδικασία binning). Η κατηγοριοποίηση αυτή βοηθάει στη μείωση των απεικονιζόμενων ζευγών² διαφορετικά ο αριθμός τους θα ήταν τόσο μεγάλος που θα καθιστούσε το βαριόγραμμα άχρηστο. Ο τύπος που μας δίνει το βαριόγραμμα είναι:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{s_i - s_j = h}^n (Z(s_i) - Z(s_j))^2 \quad (2.2)$$

όπου:

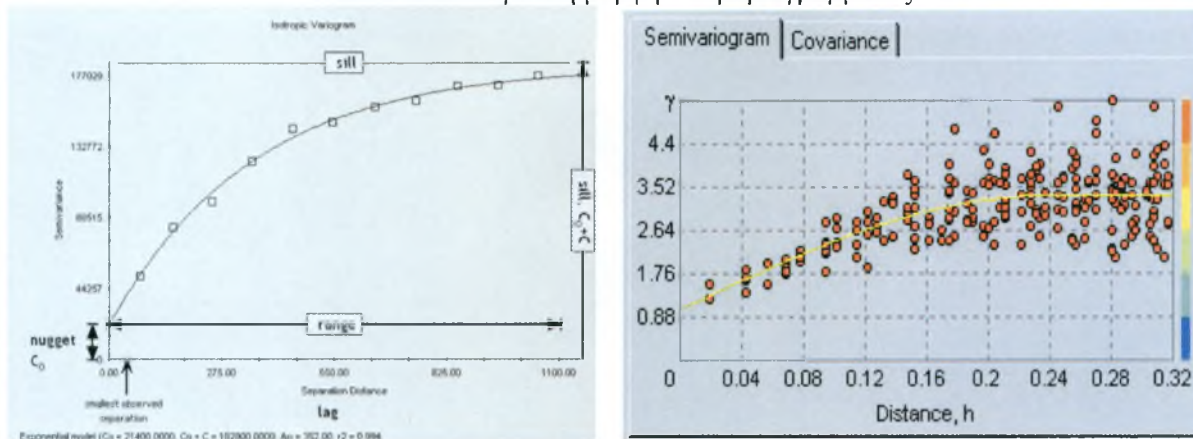
$\sum_{s_i - s_j = h}^n$ το άθροισμα για όλα τα ζευγάρια των παρατηρούμενων σημείων που απέχουν

μεταξύ τους κατά διάνυσμα h .

$z(s_i)$ και $z(s_j + h)$ είναι οι τιμές της μεταβλητής z στα αντίστοιχα σημεία και h (*lag*) καλείται η διανυσματική διαφορά μεταξύ s_i και $s_j + h$ (απόσταση και διεύθυνση). Εάν τα ζεύγη των σημείων s_i και $(s_j + h)$ δεν απέχουν πολύ, τότε αναμένεται και οι τιμές τους να έχουν μικρή απόκλιση, επομένως και το τετράγωνο της διαφοράς τους. Όσο όμως τα σημεία απομακρύνονται τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η διαφορά των τιμών τους και αντίστοιχα η ποσότητα της σχέσης. Όταν αυτές οι χωρικές εξαρτήσεις αναπαρασταθούν γραφικά, με τις τιμές της σχέσης 2.2 στον άξονα ψ και την απόσταση μεταξύ των σημείων στον άξονα χ , παίρνουμε ένα νέφος σημείων γνωστό και ως νέφος του βαριογράμματος (Εικόνα 2.3).

² κάθε κουκίδα δεν αντιπροσωπεύει σημείο, αλλά ζεύγος σημείων

Εικόνα .2.2: Η γενική μορφή του βαριογράμματος



Πηγή: www.spatialanalysisonline.com

Για να γίνει πιο κατανοητό το παραπάνω γράφημα του βαριογράμματος κρίνεται σκόπιμο να αναλύσουμε τις παρακάτω έννοιες:

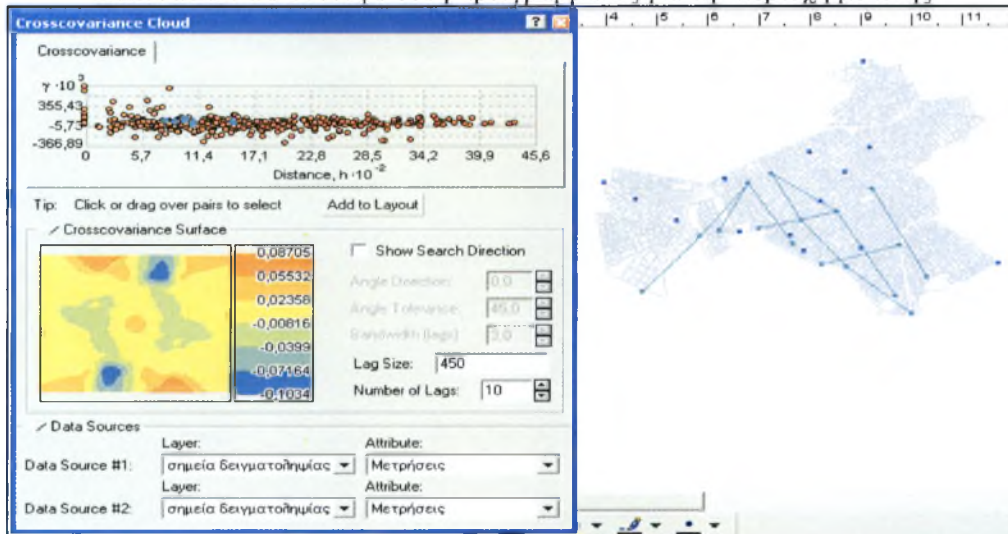
sill (κατώφλι): Ονομάζεται το ανώτερο όριο στο οποίο φθάνει η συνάρτηση ($\gamma(h) = \max$), καθώς κινείται ασυμπτωτικά με την αύξηση της απόστασης h . Αυτό σημαίνει ότι σε μεγάλες αποστάσεις δεν υπάρχει χωρική εξάρτηση μεταξύ των σημείων, αφού οι εκτιμήσεις της διαφοράς της διασποράς παραμένουν σταθερές καθώς η απόσταση των σημείων διαφοροποιείται.

range (ζώνη επιρροής): Καλείται η απόσταση όπου το μοντέλο εξωμαλύνεται για πρώτη φορά. Τα σημεία του δείγματος που χωρίζονται με αποστάσεις μικρότερες από τη ζώνη επιρροής παρουσιάζουν χωρική αυτοσυσχέτιση, ενώ το αντίθετο δεν ισχύει.

nugget: Θεωρητικά σε απόσταση μηδενικής διαφοροποίησης, δηλαδή για $\text{lag} = 0 \rightarrow \gamma(h) = 0$ η τιμή του βαριογράμματος πρέπει να είναι μηδέν και η καμπύλη να περνά από την αρχή των αξόνων, Παρόλ' αυτά σε μία απειροελάχιστη απόσταση, το βαριόγραμμα παρουσιάζει θετική τιμή τέμνοντας τον άξονα των γ . Το αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται σε σφάλματα μέτρησης (ανακρίβεια οργάνου) και μικρής κλίμακας μεταβλητότητα, ή και συνδυασμός των δύο. Βέβαια στην περίπτωση που το βαριόγραμμα παρουσιάζει μόνο τις επιπτώσεις nugget, δηλαδή έχει τη μορφή οριζόντιας γραμμής, τότε η υπό εξέταση διαδικασία δεν έχει χωρικές εξαρτήσεις. Επομένως σε αυτή την περίπτωση η καλύτερη εκτίμηση της μεταβλητής είναι η συνολική μέση τιμή, υπολογιζόμενη από όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης χωρίς να λαμβάνεται υπόψη καμία χωρική εξάρτηση (Κουτσόπουλος, 2002). Αποκλίσεις των τιμών σε μικροκλίμακες μικρότερες από τις αποστάσεις δειγματοληψίας θα εμφανιστούν σαν μέρος του nugget. Για το λόγο αυτό πριν συλλέξουμε τα δεδομένα είναι σημαντικό να

κατανοήσουμε τις κλίμακες χωρικής διαφοροποίησης και τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων.

Εικόνα 2.3: Το σύννεφο του βαριογράμματος για την περιοχή μελέτης



Πηγή : ίδια επεξεργασία

2.11 Η ΣΥΝΔΙΑΣΠΟΡΑ

Στη συνδιασπορά, για όλα τα ζεύγη σημείων στις τοποθεσίες s_i και $s_i + h$ που συνδέονται μεταξύ τους (εικόνα 2.3), υπολογίζεται η ποσότητα

$$\text{average} [z(s_i) - \bar{z}] \cdot [z(s_i + h) - \bar{z}] \quad (2.3)$$

όπου $z(s_i)$ είναι η τιμή της μεταβλητής στο σημείο s_i και \bar{z} ο μέσος όρος όλων των δεδομένων στην περιοχή μελέτης. Αν τα ζεύγη των σημείων είναι κοντά τότε δύο είναι οι πιθανές εκδοχές: ή οι τιμές θα βρίσκονται πάνω από το μέσο όρο είτε και οι δύο θα είναι μικρότερες. Με άλλα λόγια το γινόμενο τους και κατ' εξακολούθηση η μέση τιμή των γινομένων θα είναι αριθμός θετικός. Αν η απόσταση μεταξύ των σημείων είναι μεγάλη τότε αναμένεται τα μισά γινόμενα να είναι θετικά και τα υπόλοιπα αρνητικά, οπότε ο μέσος όρος τους θα είναι κοντά στο μηδέν.

Η συνδιασπορά $C(h)$ και το βαριόγραμμα $\gamma(h)$ περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει σχέση μεταξύ τους αυτή δίνεται από τον τύπο: $\gamma(h) = \sigma^2 - C(h)$ (2.4)
όπου σ^2 η διασπορά.

2.12 ΘΕΩΡΙΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Όλα τα προηγούμενα δε θα είχαν κανένα νόημα αν δεν εξηγούνταν μέσα από τη θεωρία των περιφερειοποιημένων μεταβλητών (*regionalized variable theory*), η οποία υποθέτει ότι η χωρική διαφοροποίηση μιας οποιασδήποτε μεταβλητής μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα των εξής τριών βασικών συνισταμένων (Burrough and McDonell, 1998).

- α) Τη δομική συνισταμένη η οποία έχει μία σταθερή μέση τιμή ή τάση
- β) Μία τυχαία, αλλά χωρικά συσχετισμένη συνισταμένη, την περιφερειοποιημένη μεταβλητή
- γ) Ένα μη χωρικά συσχετισμένο τυχαίο θόρυβο ή ένα υπόλοιπο τυχαίο σφάλμα

Με βάση τα παραπάνω η τιμή της μεταβλητής Z σε ένα σημείο s_i δίνεται από τη σχέση: $z(s_i) = m(s_i) + U(s_i) + \varepsilon$ (2.5)

Όπου $m(s_i)$: είναι μια αιτιοκρατική συνάρτηση που περιγράφει τη δομική συνισταμένη ένας Z στο σημείο s_i

$U(s_i)$: είναι ένας στοχαστικός όρος που εκφράζει τα υπόλοιπα από την $m(s_i)$ που μεταβάλλονται τοπικά, αλλά είναι χωρικά συσχετισμένα, δηλαδή την περιφερειοποιημένη μεταβλητή.

ε : είναι τα χωρικά ανεξάρτητα σφάλματα που ακολουθούν μία κανονική κατανομή με μέση τιμή μηδέν και διασπορά σ^2

2.13 Η ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ – ΤΟ ΣΦΑΙΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Για τη μορφή του βαριογράμματος υπάρχει μία πληθώρα επιλογών μέσω του εργαλείου Geostatistical Analyst. Μερικά από αυτά είναι το σφαιρικό, το εκθετικό, το κυκλικό, το γκαουσιανό και άλλα με πιο δημοφιλή τα δύο πρώτα. Το σφαιρικό μοντέλο είναι το πιο κοινό και επιλέγεται όταν οι επιπτώσεις nugget είναι σημαντικές, αλλά όχι ιδιαίτερα μεγάλες, ενώ παράλληλα παρατηρείται ένα ξεκάθαρο κατώφλι και ζώνη επιρροής. Η σχέση που εκφράζει το σφαιρικό μοντέλο δίνεται από τον τύπο:

$$\gamma(h) = \begin{cases} a + (\sigma^2 - a) \cdot \left(\frac{3h}{2r} - \frac{h^3}{2r^3} \right) & \text{για } 0 < h < r \\ 0 & \text{για } h = 0 \\ \sigma^2 & \text{για } h > r \end{cases} \quad (2.6)$$

Όπου r : η ζώνη επιρροής (range) ακολουθεί πορεία αντίθετη του βαριογράμματος,

σ^2 : το κατώφλι - διασπορά

h : η απόσταση μεταξύ των σημείων

a : το τμήμα της διασποράς που αφορά το nugget

2.14 ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ KRIGING

Πήρε το όνομά της από τον G. Matheron, που χρησιμοποίησε το όνομα του Νοτιοαφρικανού μηχανικού μεταλλείων D.G Krige, ο οποίος είχε αναπτύξει τη δεκαετία του '50 μεθόδους για την εκτίμηση της κατανομής μεταλλευμάτων, βασίζόμενος στις τιμές των δειγμάτων. Σαν μέθοδος είναι εξαιρετικά απλή στη σύλληψή της και βασίζεται σε στατιστικά μοντέλα, που απαιτούν ένα σύνολο δεδομένων για μία συνεχή μεταβλητή και ένα μοντέλο χωρικής διακύμανσης με τη μορφή βαριογράμματος. Το πρόβλημα είναι να βρεθεί η αναμενόμενη τιμή μιας χωρικής διαδικασίας με βάση το σύνολο των τιμών σε διαφορετικές θέσεις (δείγμα) στο χώρο.

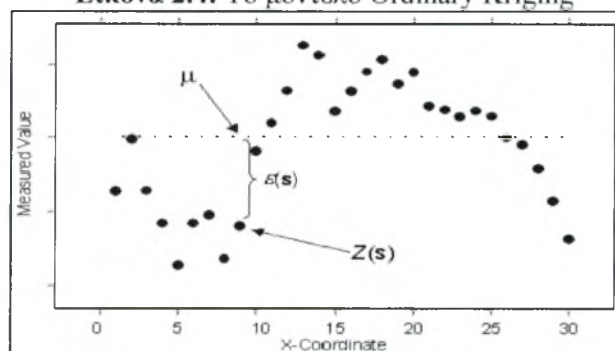
2.14.1 ΣΥΝΗΘΕΣ KRIGING (ORDINARY KRIGING)

Ο τύπος που δίνει το μοντέλο της κατηγορίας αυτής είναι της μορφής

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s) \quad (2.7)$$

Βασίζεται στη θεωρία της περιφερειοποιημένης μεταβλητής (εξίσωση 2.5) και αποτελείται από το άθροισμα δύο συνισταμένων, μίας πρώτης και μίας δεύτερης τάξης (Εικόνα 2.4) Υποθέτουμε ότι η συνισταμένη πρώτης τάξης είναι γενικευμένος μέσος όρος μ , ο οποίος είναι σταθερός (στασιμότητα) Αν η τιμή αυτή αφαιρεθεί από τις παρατηρηθείσες τιμές του δείγματος, τότε έχουμε τα υπόλοιπα $\varepsilon(s)$ με γνωστή διακύμανση σ^2 και συνδιασπορά C .

Εικόνα 2.4: Το μοντέλο Ordinary Kriging



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Επομένως η εκτίμηση της τιμής της τυχαίας μεταβλητής $V(s_0)$ στη θέση s_0 , με βάση τις παρατηρηθείσες τιμές $V(s_i)$ στις θέσεις s_i δίνεται από τον τύπο:

$$V(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot V(S_i) \quad (2.8)$$

$$\sum_i \lambda_i = 1 \quad (2.9)$$

όπου λ_i τα βάρη που αντιστοιχούν σε κάθε σημείο του δείγματος s_i , δηλαδή εξαρτώνται από τη θέση τους σε σχέση με την υπό εκτίμηση θέση s_0 .

2.15 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες kriging υπάρχουν ορισμένες λεπτές, αλλά ουσιαστικές διαφορές. Μία από αυτές είναι οι ιδιότητες της μέσης τιμής (τάσης). Στο Ordinary Kriging θεωρείται σταθερή και άγνωστη (στασιμότητα), δηλαδή $\mu(s) = m$ για όλα τα σημεία του δείγματος. Όταν η μέση τιμή δεν είναι σταθερή, δηλαδή έχουμε διαδικασίες μη στάσιμες, (βλ. § 2.7) τότε έχουμε το μοντέλο του Universal Kriging. Τέλος, όταν η τάση είναι γνωστή (μπορούμε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους), ανεξάρτητα από τη σταθερότητά της, τότε έχουμε το μοντέλο του Simple Kriging.

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές για το κάθε μοντέλο και δεδομένου ότι για τη μελέτη του φαινομένου της διασποράς ενός ρύπου όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, δεν είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε τους αστάθμητους παράγοντες, κρίθηκε σκόπιμη και περισσότερο κατάλληλη η εφαρμογή του Ordinary Kriging.

2.16 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΤΟ KRIGING

2.16.1 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (CROSS-VALIDATION)

Η εκτίμηση των δυνατοτήτων του μοντέλου στην πρόβλεψη των άγνωστων τιμών γίνεται μέσω του ελέγχου εγκυρότητας, δηλαδή με τον υπολογισμό του (θεωρητικού) σφάλματος. Το ενδιάμεσο αυτό στάδιο είναι πολύ σημαντικό στο να εξαχθούν συμπεράσματα κυρίως για την ορθή παραμετροποίηση του μοντέλου όσον αφορά το βαριόγραμμα και τον καθορισμό της απόστασης από τα γειτονικά σημεία (*neighborhood*). Η διαδικασία ελέγχου ονομάζεται επαλήθευση (*Cross-validation*).

Στη επαλήθευση χρησιμοποιούνται όλα τα δεδομένα για την εκτίμηση των τάσεων και της αυτοσυσχέτισης. Αρχικά αφαιρείται ένα σημείο του δείγματος και κάθε φορά εκτιμάται η

τιμή στη θέση αυτή με βάση όλα τα υπόλοιπα σημεία. Στη συνέχεια αφαιρούνται οι εκτιμώμενες από τις πραγματικές τιμές και παίρνουμε το σφάλμα πρόβλεψης (prediction error). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης. Το ζητούμενο είναι οι τιμές πρόβλεψης να έχουν μικρή διαφορά από τις πραγματικές (αμεροληψία). Σε γενικές γραμμές ισχύουν τα παρακάτω:

- Εάν οι διαφορές των σφαλμάτων είναι μικρές τότε το μέσο σφάλμα πρόβλεψης πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν. Το ίδιο ισχύει και για το μέσο σταθμισμένο σφάλμα (*average standard error*). Καθοριστικό παράγοντα για τη διαμόρφωση του μέσου σφάλματος αποτελεί και η χωρική κλίμακα των δεδομένων.
- Αν τα μέσα τυπικά σφάλματα πρόβλεψης (*average standard errors*) έχουν μικρή διαφορά από τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα πρόβλεψης (*root-mean-squared prediction errors*), η πρόβλεψη είναι σωστή
- Αν τα μέσα τυπικά σφάλματα είναι μεγαλύτερα από τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα πρόβλεψης, τότε οι προβλέψεις είναι υπερεκτιμημένες.
- Αν τα μέσα τυπικά σφάλματα είναι μικρότερα από τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα πρόβλεψης, τότε οι προβλέψεις είναι υποτιμημένες.
- Τέλος αν τα σφάλματα πρόβλεψης είναι έγκυρα θα πρέπει και τα μέσα τετραγωνικά σταθμισμένα σφάλματα (*root-mean-squared standardized errors*) να είναι κοντά στη μονάδα. Αν είναι μεγαλύτερα από τη μονάδα, τότε οι τιμές πρόβλεψης είναι υποτιμημένες. Αν είναι μικρότερα από τη μονάδα, τότε οι τιμές είναι υπερεκτιμημένες.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.13 της εφαρμογής.

2.17 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΙΜΩΝ ΣΕ ΚΑΝΝΑΒΟ

Η αποτύπωση ψηφιδωτών δεδομένων (vector) αναφέρεται στη διαδικασία απόδοσης τιμών σε κάθε φατνίο του καννάβου, έτσι ώστε από τα στοιχεία του αρχικού χάρτη να δημιουργηθεί ένας κάνναβος τιμών. Η διαδικασία αυτή δε γίνεται αυτόματα, αλλά πρέπει να καθοριστεί από τον χρήστη κάποιος κανόνας που θα αποδίδει τιμές στα φατνία. Τέσσερις είναι οι βασικές μέθοδοι απόδοσης τιμών και συνοψίζονται στις εξής:

- Μέθοδος του κεντροειδούς
- Μέθοδος της μεγαλύτερης κάλυψης
- Μέθοδος του σημαντικότερου

- ♦ Ιεραρχική μέθοδος

Από τις παραπάνω μεθόδους στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε εκείνη του κεντροειδούς. Με τη μέθοδο αυτή η τιμή του φατνίου καθορίζεται σύμφωνα με την τιμή που παρατηρείται στο κεντροειδές του. Η μέθοδος ενδείκνυται ιδιαίτερα όταν αντιμετωπίζονται περιπτώσεις με μικρές χωρικές διαφοροποιήσεις (Κουτσόπουλος, 2002) Το μόνο πρόβλημα είναι πως ακόμα κι αν το χαρακτηριστικό που καλύπτει το κεντροειδές αναφέρεται σε ένα μικρό μόνο μέρος του φατνίου, εντούτοις το φατνίο αποδίδεται σε αυτό το χαρακτηριστικό.

2.18 ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ - ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ (Φώτης, 2002)

Όταν το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στη χωροθέτηση όχι ενός κέντρου, αλλά πολλών κέντρων μαζί, τότε μιλάμε για το πρόβλημα χωροθέτησης – κατανομής. Συγκεκριμένα, επειδή για κάθε κέντρο παροχής μιας ορισμένης υπηρεσίας, υπάρχει μια δοσμένη και καθορισμένη ζώνη επιρροής και ένα ανώτατο όριο χωρητικότητας, η κατανομημένη στο χώρο υπηρεσία δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα και μόνο κέντρο, αλλά από περισσότερα, δηλαδή από ένα σύστημα τέτοιων κέντρων. Σαν αποτέλεσμα, ο συνδυασμός των θέσεων που πρέπει να χωροθετηθούν τα κέντρα και ο συσχετιζόμενος σχεδιασμός των περιοχών που πρέπει να αποτελέσουν τις περιοχές εξυπηρέτησης των κέντρων, πρέπει να καθορισθούν ταυτόχρονα. Ο καθορισμός αυτός πρέπει σε γενικές γραμμές να γίνει κάτω από τον περιορισμό ότι η συνολική ζήτηση θα καλυφθεί. Επομένως τα βασικά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν παράλληλα είναι :

- Ποιος είναι ο βέλτιστος αριθμών κέντρων που πρέπει να χωροθετηθούν
- Ποια πρέπει να είναι η περιοχή εξυπηρέτησης για καθένα από τα κέντρα

Στη γενική της μορφή η μεθοδολογία της χωροθέτησης – κατανομής μπορεί να τεθεί ως εξής: Έχοντας ένα χωρικό σύστημα ζήτησης, να χωροθετηθούν σε αυτό το χώρο (*location*), η κέντρα εξυπηρέτησης και να περιφερειοποιηθεί (*allocation*) ο χώρος ως προς τα κέντρα αυτά. Να αποφασιστεί δηλαδή ποια μέρη του χωρικού συστήματος θα εξυπηρετούνται και από ποια κέντρα με τον καλλίτερο δυνατό τρόπο. Η γενικευμένη έκφραση « καλλίτερος δυνατός τρόπος », γενικά ερμηνεύεται σαν προσπάθεια βελτιστοποίησης κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης (μεγιστοποίησης κάποιου κέρδους ή ελαχιστοποίησης κάποιου κόστους).

Τα είδη των υποδειγμάτων ως προς τη μεταβλητότητά τους διακρίνονται σε αιτιοκρατικά και στοχαστικά. Στα μεν πρώτα οι αποστάσεις των σημείων ζήτησης από τα

κέντρα, η ζήτηση και η δυνατότητα παροχής από τα κέντρα, θεωρούνται σταθερές διαχρονικά. Αντίθετα στα στοχαστικά υποδείγματα ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω μεγέθη μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Τα στοχαστικά υποδείγματα θεωρούνται περισσότερο ρεαλιστικά και βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην περίπτωση των κέντρων άμεσης εξυπηρέτησης.

Τα προβλήματα χωροθέτησης κατανομής μπορούν να διακριθούν σε προβλήματα στον συνεχή χώρο, όπου το χωρικό σύστημα προσφοράς είναι το επίπεδο και στο διακριτό χώρο, όπου η προσφορά και η ζήτηση βρίσκονται σε κόμβους κάποιου δοσμένου δικτύου. Το διακριτό υπόδειγμα που εφαρμόστηκε σε αυτή την εργασία είναι αυτό του p -διάμεσου (p -median) και περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

2.18.1 ΤΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ P – ΔΙΑΜΕΣΟΣ

Η θεωρητική και ιστορική απαρχή των υποδειγμάτων χωροθέτησης – κατανομής είναι το υπόδειγμα p – διάμεσος (p – median), που προτάθηκε πρώτα από τον Hakimi (1965), όταν προσπάθησε να λύσει τη χωροθέτηση κέντρων σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Φάνηκε όμως ότι μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλες περιπτώσεις. Το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: Σε δοσμένο δίκτυο n κόμβων ζητείται η τοποθέτηση p κέντρων εξυπηρέτησης και η κατανομή των υπόλοιπων $n-p$ κόμβων στα κέντρα αυτά, ώστε η συνολική απόσταση μετακίνησης των τελευταίων προς τα κέντρα αυτά να είναι η ελάχιστη δυνατή. Μια και τα κέντρα δε διακρίνονται ως προς το μέγεθός τους ή την ειδικότητά τους, υποθέτουμε ότι ο κάθε χρήστης θα πάει στο πλησιέστερο κέντρο. Η μαθηματική έκφραση του υποδείγματος έχει ως εξής:

$$\min F(X, Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{i,j} a_{i,j} \quad (2.10)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{i,j} = 1, \quad \text{για } i = 1, \dots, n \quad (2.11)$$

$$0 < a_{i,j} < y_i \quad \text{για } i = 1, \dots, n \text{ και } j = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

$$a_{i,j} \in \{0,1\} \quad \text{για } i = 1, \dots, n \quad (2.13)$$

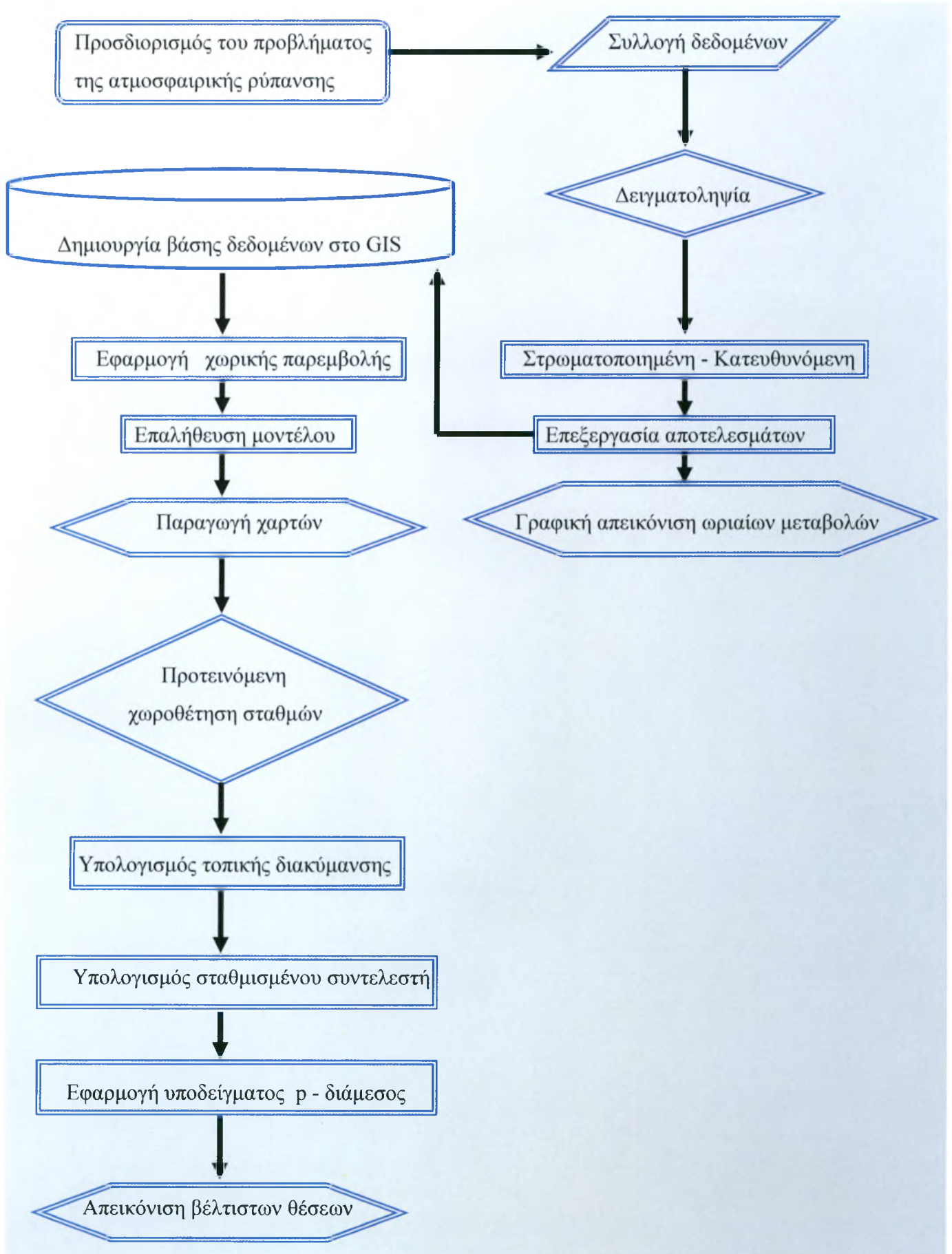
$$\sum_{j=1}^n a_j = p \quad (2.14)$$

όπου p = αριθμός κέντρων παροχής υπηρεσιών

Ο περιορισμός 2.14 εξασφαλίζει ότι ακριβώς p – κέντρα χωροθετούνται. Η μεταβλητή a_{ij} δείχνει την αναλογία ζήτησης, που προέρχεται από το χρήστη i και επομένως η αντικειμενική συνάρτηση 2.11, αντιστοιχεί στο συνολικό κόστος προσιτότητας για τα p – κέντρα. Ο περιορισμός 2.12 εξασφαλίζει την πλήρη ικανοποίηση της ζήτησης από το χρήστη i . Τέλος, ο περιορισμός 2.13 εξασφαλίζει ότι καμιά ζήτηση δεν καλύπτεται από τη θέση j , αν δεν είναι τοποθετημένο εκεί κέντρο. Δηλαδή η ζήτηση από ένα χρήστη i , μερικά ή ολικά, μπορεί να ικανοποιηθεί από τη θέση j , μόνο αν τοποθετήσουμε κέντρο εκεί.

Το υπόδειγμα p – διάμεσος, όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, είναι μία από τις πολλές εκφράσεις του υποδείγματος αυτού. Διαφορετικοί περιορισμοί ή αντικειμενικές συναρτήσεις, δίνουν διαφορετικές εκφράσεις στο υπόδειγμα που μπορούν να βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης – κατανομής.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ



4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.1 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η πόλη του Βόλου ανήκει στις έξι μεγαλύτερες πόλεις του ελληνικού χώρου (πέμπτη στη σειρά) με πληθυσμό που φθάνει τους 82.439 κατοίκους. Αποτελεί την πρωτεύουσα του Νομού Μαγνησίας και τοποθετείται γεωγραφικά στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδος. Βρίσκεται στο μυχό του Παγασητικού κόλπου, σε μικρή απόσταση από τον κύριο οδικό άξονα της χώρας (ΠΑΘΕ) με τον οποίο συνδέεται σε δύο σημεία, στις Μικροθήβες και στο Βελεστίνο και σε απόσταση 330 χλμ. από την πρωτεύουσα Αθήνα και 214 χλμ. από τη συμπρωτεύουσα Θεσσαλονίκη. Η περιοχή που καταλαμβάνει ο οικιστικός ιστός περιβάλλεται βορειοανατολικά από τον ορεινό όγκο του Πηλίου, νότια από το υγρό στοιχείο της θάλασσας και δυτικά από τις πεδινές εκτάσεις της Θεσσαλίας. Είναι κτισμένη με μέτωπο κυρίως στον Παγασητικό κόλπο και εκτείνεται ως τις παρυφές του Πηλίου (Περιφερειακό Στρατηγικό Σχέδιο Ανάπτυξης Θεσσαλίας 2007-2013).

Στην παρούσα εργασία ως περιοχή μελέτης θεωρείται αποκλειστικά ο δήμος Βόλου (εικόνα 4.1) χωρίς την περιοχή Πευκάκια. Το υποσύνολο αυτό έχει έκταση περί τα 8.000 στρέμματα. Η περιοχή μελέτης καθορίστηκε με αυτό τον τρόπο πρωτίστως για την ευκολότερη εφαρμογή του καννάβου και δευτερεύοντος διότι οι μετρήσεις προσανατολίζονται σε ένα ακτινωτό φάσμα γύρω από το κέντρο της πόλης.

Εικόνα 4.1: Η θέση της περιοχής μελέτης στο Π.Σ Βόλου



Πηγή: Google Map, ίδια επεξεργασία

4.2 Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου μπορεί να θεωρηθεί σε μεγάλο ποσοστό ως η συνισταμένη των εκπομπών που προέρχονται από τη βιομηχανία, την κυκλοφορία και την κεντρική θέρμανση. Η κατάσταση στον κάθε τομέα έχει ως εξής:

α) Βιομηχανία: Στην ευρύτερη περιοχή είναι εγκατεστημένες μια σειρά από βιομηχανίες όλων των κατηγοριών: χημικές, επεξεργασίας μετάλλων, τροφίμων – ποτών, παραγωγής τσιμέντου κλπ. Πρόκειται για 347 μονάδες εκ των οποίων ποσοστό περίπου 15% είναι εγκατεστημένες εντός των δύο ΒΙΠΕ. Είναι δε χαρακτηριστικό ότι το 80% της εγκατεστημένης ισχύος καλύπτεται από 10 μονάδες. (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003). Ιδιαίτερα σημαντική πηγή εκπομπών (σκόνης και αερίων καύσης) στην περιοχή αποτελεί η μονάδα της ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ, που βρίσκεται κοντά σε κατοικημένη περιοχή.³ Άλλες μεγάλες βιομηχανίες της περιοχής είναι η Ασβεστοποιία Βελεστίνου, η Χαλυβουργία Θεσσαλίας, η ΣΟΒΕΛ και άλλες. Επιπλέον υπάρχει στην περιοχή σημαντικός αριθμός μικρότερων μονάδων που προκαλούν οχλήσεις και κυρίως ελαιοτριβεία, εγκαταστάσεις μη μεταλλικών ορυκτών, χυτήρια και δεξαμενές καυσίμων. Για το μονοξείδιο του άνθρακα, οι εκπομπές από τη βιομηχανία είναι περιορισμένες και σχεδόν αμελητέες για την ατμόσφαιρα της πόλης, εάν ληφθεί υπόψη και η μεγάλη απόσταση και το ύψος των σημείων εκπομπής (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003).

β) Κυκλοφορία: Η ρύπανση από αέριες εκπομπές κυκλοφορίας οχημάτων οφείλεται στην υπεραστική και τοπική κυκλοφορία. Σύμφωνα με τα σενάρια αναμενόμενης εξέλιξης (ΣΑΕ) για την κυκλοφορία εκτιμάται ότι μέχρι το 2010 η εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στην πόλη (Πίνακας 4.3). Οι πολιτικές αυτές συνίστανται κυρίως στην υποκατάσταση του στόλου των οχημάτων μέσω της χρήσης νέου τύπου κινητήρων και στη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, δεδομένης της πληθυσμιακής εξέλιξης του δήμου.

³ Με το νέο διευρυνμένο ΓΠΣ ενδέχεται να θεωρείται και εντός κατοικημένης περιοχής

Πίνακας 4.1 : Ετήσιες εκπομπές ρύπων από την κυκλοφορία (tn/έτος)

	PM ₁₀	CO	SO ₂	NO _x	NMVOC	Βενζόλιο
2002	29,59	1022,74	22,13	107,39	108,97	2,18
2005	30,51	967,82	6,76	90,96	97,06	1,94
2010	30,78	899,18	8,24	75,09	82,99	1,66

Πηγή: (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003).

Πίνακας 4.2: Μείωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την υποκατάσταση του στόλου

	PM ₁₀ (kg/d)	CO (t/d)	SO ₂ (kg/d)	NO _x (kg/d)	NMVOC (kg/d)	Βενζόλιο (kg/d)
2002	86,22	2,98	64,48	312,91	317,51	6,35
2005	88,91	2,82	19,70	265,04	282,81	5,65
2010	89,68	2,62	24,01	218,78	241,81	4,83

Πηγή: (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003).

Πίνακας 4.3: Μεταβολή των ετήσιων εκπομπών με βάση τα ΣΑΕ για τα έτη 2005, 2010

	PM ₁₀	CO	SO ₂	NO _x	NMVOC	Βενζόλιο
2005	3,12	-5,37	-69,45	-15,30	-10,93	-10,93
2010	4,01	-12,08	-62,77	-30,08	-23,84	-23,84

Πηγή: (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003).

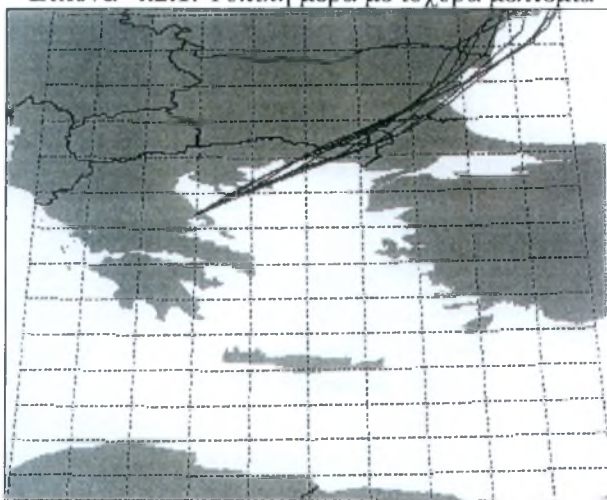
γ) Κεντρική θέρμανση: Οι κεντρικές θερμάνσεις για την πόλη του Βόλου αποτελούν σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να δημιουργούν προβλήματα και αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων κατά τη χειμερινή περίοδο. Παρόλ' αυτά η συντριπτική πλειοψηφία για τις συγκεντρώσεις CO βαρύνει την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, ενώ η κεντρική θέρμανση ευθύνεται για το 2-3% περίπου. Σύμφωνα με τα ΣΑΕ η μεταβολή του CO από το 2002 ως το 2008 υπολογίζεται σε 4,06 % .

4.3 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΡΥΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ

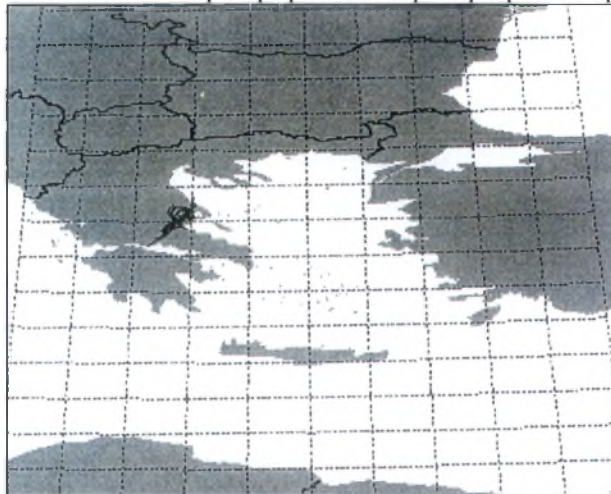
Η γενική εικόνα σύμφωνα τα αποτελέσματα του Επιχειρησιακού Σχεδίου έχει ως εξής:

- Η τοπική γεωμορφολογία και μετεωρολογία ευνοούν τα υψηλά ποσοστά άπνοιας και γενικά θεωρούνται ευνοϊκές για τη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης, με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη του φαινομένου σε επίπεδο περιφερειακής κλίμακας. Ως δείκτης χρησιμοποιείται το CO μιας και έχει αρκετά μεγάλο χρόνο ζωής (20 – 200 ημέρες). Γενικά, οι φυσιολογικές τιμές του ρύπου κυμαίνονται γύρω στα 150ppb. Υπάρχουν όμως και ημέρες που οι συγκεντρώσεις ανεβαίνουν στα 300 ή 400ppb. Όταν στο Βόλο έχουμε ισχυρή κυκλοφορία από μελτέμια, τα επίπεδα του CO είναι χαμηλά (Εικόνα 4.2.1). Ακόμη και όταν οι αέριες μάζες είναι από περιοχές της ΒΑ Ευρώπης, η ρύπανση δεν επηρεάζει το Βόλο δεδομένο ότι υπάρχουν τα βουνά του Πηλίου σαν φράγμα στη ρύπανση. Όταν η κυκλοφορία αυτή εξασθενεί (Εικόνα 4.2.2) ή όταν οι αέριες μάζες παρακάμπτουν τα βουνά του Πηλίου και εισέρχονται από τον Παγασητικό κόλπο (Εικόνα 4.3), τότε η ρύπανση στο Βόλο είναι αυξημένη.

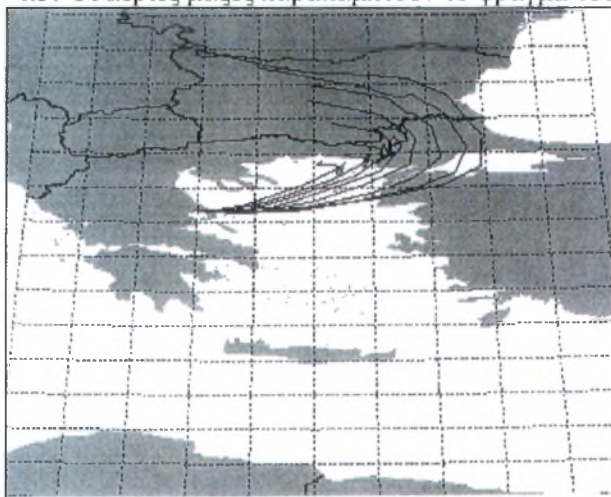
Εικόνα 4.2.1: Τυπική μέρα με ισχυρά μελτέμια



Πηγή: Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003

Εικόνα 4.2.2: Επικράτηση ασθενών μεταβλητών ανέμων

Πηγή: Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003

Εικόνα 4.3: Οι αέριες μάζες παρακάμπτον το φράγμα του Πηλίου

Πηγή: Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003

- Οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα κα πολύ κάτω από τα νομοθετημένα όρια.
- Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου είναι κάτω από τα όρια ποιότητας, αλλά σε όχι σε χαμηλά επίπεδα (στα επίπεδα της ατμόσφαιρας των Αθηνών) και αυτό αποδίδεται στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες και την παρουσία βιομηχανικών πηγών.
- Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου είναι σε σχετικά υψηλά επίπεδα, αλλά κάτω από τα όρια ποιότητας.
- Οι συγκεντρώσεις όζοντος είναι σε υψηλά επίπεδα και οριακά κάτω από τα όρια ποιότητας. Τα υψηλά επίπεδα συνδέονται με τη διάχυτη περιφερειακή ρύπανση της περιοχής.

- Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 είναι σε υψηλά επίπεδα και πάνω από τα νομοθετημένα όρια ποιότητας. Η παρουσία τους συνδέεται με τις αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες της περιοχής και ενδεχομένως με τη διάχυτη περιφερειακή ρύπανση. Δεν είναι τυχαίο εξάλλου ότι σύμφωνα με μελέτη του ΑΠΘ, ο Βόλος έχει αυξημένα παιδικά αναπνευστικά νοσήματα, εφάμιλλα με την Πτολεμαΐδα και τη Δυτική Θεσσαλονίκη. (Περιβαλλοντική Πρωτοβουλία Μαγνησίας, 2004). Το μέγεθος του προβλήματος έχει διαπιστωθεί και από τον καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βόλου, κύριο Σταπουντζή⁴. Τη στιγμή που εκπονείται η παρούσα διπλωματική έχει υπογραφεί σύμβαση για τον προσδιορισμό της ποσοστιαίας συμβολής των διαφόρων πηγών στις συγκεντρώσεις των σωματιδίων στον αέρα του Βόλου.

4.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Τα στοιχεία σχετικά με τις συγκεντρώσεις του CO στην πόλη του Βόλου προήλθαν τόσο από το φορητό αναλυτή streetbox, όσο και από τις μετρήσεις του σταθερού σταθμού της Δημοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης – Αποχέτευσης Μείζονος περιοχής Βόλου (ΔΕΥΜΑΒ). Ο τελευταίος χρησίμευσε σαν μέσο αξιολόγησης της ακρίβειας του οργάνου, όπως περιγράφεται παρακάτω. Δεδομένου ότι αντίστοιχο σταθμό μέτρησης διαθέτει και η Νομαρχία, υπήρχε η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σαν επιπλέον σημείο δειγματοληψίας. Εν τέλει η περίπτωση αυτή αποκλείστηκε, διότι ο σταθμός είναι τοποθετημένος σε ύψος 12 μέτρων από το έδαφος τη στιγμή που το φυσιολογικό εύρος των μετρήσεων κυμαίνεται από 1,5 ως 4 μέτρα (ζώνη αναπνοής). Το γεγονός αυτό δεν έρχεται σε άμεση αντίθεση με τις υπάρχουσες προδιαγραφές χωροθέτησης μικρής κλίμακας (βλ. § 4.6, σελ 64), καθώς αναφέρεται πως σε περιπτώσεις που ο σταθμός αντιπροσωπεύει μια εκτεταμένη περιοχή (δεν ορίζεται επιφάνεια), η χωροθέτηση είναι επιτρεπτή και σε ύψος άνω των 8 μέτρων (Αδαμόπουλος, 2002) Η διάχυση όμως των ρύπων σε αυτό το ύψος οδηγεί σε συγκεντρώσεις αισθητά μειωμένες σε σχέση με εκείνες εντός της ζώνης αναπνοής. Στις επόμενες ενότητες αναλύονται τα χαρακτηριστικά των δύο σταθμών και παρουσιάζεται η συγκριτική αξιολόγηση των δεδομένων τους.

⁴ Το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών έχει εγκαταστήσει σταθμό μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στο Πεδίον του Άρεως, οι μετρήσεις του οποίου είναι προσβάσιμες μέσω της ιστοσελίδας http://www.mie.uth.gr/n_chart10p.asp

4.4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟΥ STREETBOX

Ο καταγραφικός φορητός αναλυτής streetbox χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή δείγματος των συγκεντρώσεων CO στην πόλη του Βόλου. Παραχωρήθηκε από την εταιρεία Datec Electronic ABEE. Το πακέτο περιλάμβανε επίσης το CD του προγράμματος εγκατάστασης και το καλώδιο μεταφοράς δεδομένων που συνδέει τη θύρα εξόδου του Streetbox με τον Η/Υ.

Ο αναλυτής μετρά σε πραγματικό χρόνο τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης προερχόμενα από τις επιδράσεις της κυκλοφοριακής ροής. Χρησιμοποιώντας ένα μικροεπεξεργαστή δεδομένων, η συσκευή έχει τη δυνατότητα να καταγράφει πληροφορίες για ένα μεγάλο αριθμό αέριων ρύπων και δευτερεύουσες πληροφορίες όπως η θερμοκρασία.. Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε μόνο ο ηλεκτροχημικός αισθητήρας για το CO. Στους παρακάτω πίνακες καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του οργάνου με βάση τις συνολικές του δυνατότητες.

Εικόνα 4.4: Ο αναλυτής streetbox



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά του Streetbox

Διαστάσεις	280mm x 168 mm x 123 mm ύψος
Βάρος	8 kg
Διάρκεια ζωής μπαταρίας	Έξι μήνες
Αισθητήρες	Μέχρι 3: (CO, NO ₂ , SO ₂) Επιπλέον: Αισθητήρας θερμοκρασίας και κατάστασης μπαταρίας
Μνήμη	500 KB με δυνατότητα αναβάθμισης ως 8 MB

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά ηλεκτροχημικού αισθητήρα

Ρύπος	Εύρος	Ανάλυση
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	0 - 1000 ppm	0.1 ppm
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	0 - 10 ppm	20 ppb
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	0 - 10 ppm	25 ppb
Χρόνος απόκρισης	40 δευτερόλεπτα	
Θερμοκρασία	-20°C - 50 °C	
Διάρκεια ζωής αισθητήρα	Ως δύο χρόνια ανάλογα με τη χρήση	

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Το μηχάνημα περιβάλλεται από αδιάβροχο κάλυμμα και είναι εξοπλισμένο με μπαταρία λιθίου, η οποία έχει λειτουργική διάρκεια ζωής έξι μήνες ανάλογα με το βαθμό χρήσης της. Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων δίνονται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) , λαμβάνονται ανά 15 λεπτά της ώρας⁵ (Εικόνα 4.7) και αποθηκεύονται στη μνήμη του οργάνου. Για την ανάκτηση των δεδομένων απαιτείται η εγκατάσταση του συνοδευτικού προγράμματος Etherlog 3000 (Version 4.6). Όταν ο υπολογιστής συνδεθεί με το όργανο μέτρησης μέσω της σειριακής θύρας (USB), επιλέγουμε την εντολή connect (Εικόνα 4.5) για να εισέλθουμε στο περιβάλλον του προγράμματος. Από το menu επιλογής, επιλέγουμε το εικονίδιο data και κατόπιν *transfer data* (Εικόνα 4.6). Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε μορφή κειμένου (txt) και έπειτα μπορούμε να τις επεξεργαστούμε στο πρόγραμμα excel του Microsoft Office, αφού ακολουθήσουμε τα απαραίτητα βήματα για την εισαγωγή των δεδομένων (Εικόνες 4.9 – 4.11). Παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα οπτικοποίησης των μετρήσεων και μέσω του προγράμματος Etherlog επιλέγοντας απλά *graph data* ή *tabulate data* για να παρουσιάσουμε τα δεδομένα είτε με τη μορφή γραφήματος (Εικόνα 4.8) είτε με τη μορφή πίνακα αντίστοιχα (Εικόνα 4.7).

Η επεξεργασία αρχικά αφορά:

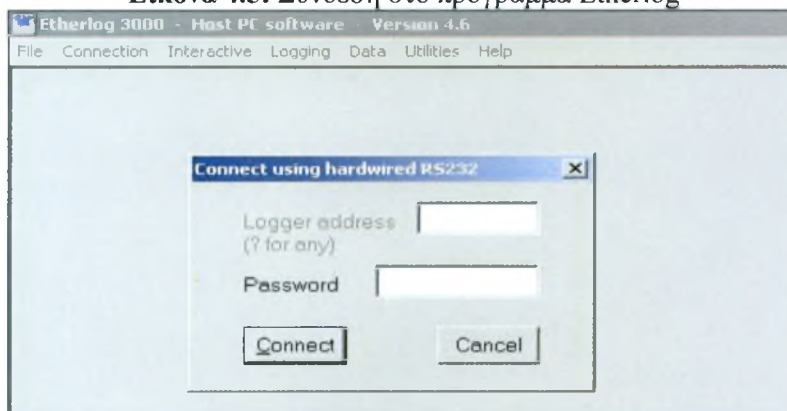
- α) τη μετατροπή των μονάδων από ppm σε mg/m³ που είναι και ο επίσημος τρόπος καταγραφής του ρύπου βάση της κείμενης νομοθεσίας⁶.

⁵ Ο χρόνος απόκριση του οργάνου καθορίζεται με βάση το είδος του προς εξέταση ρύπου. Ο χρόνος αυτός για το CO κυμαίνεται ανάμεσα σε '5 και '15, ενώ για άλλους ρύπους φθάνει και το '1.

⁶ Οδηγία 2000/69/EK

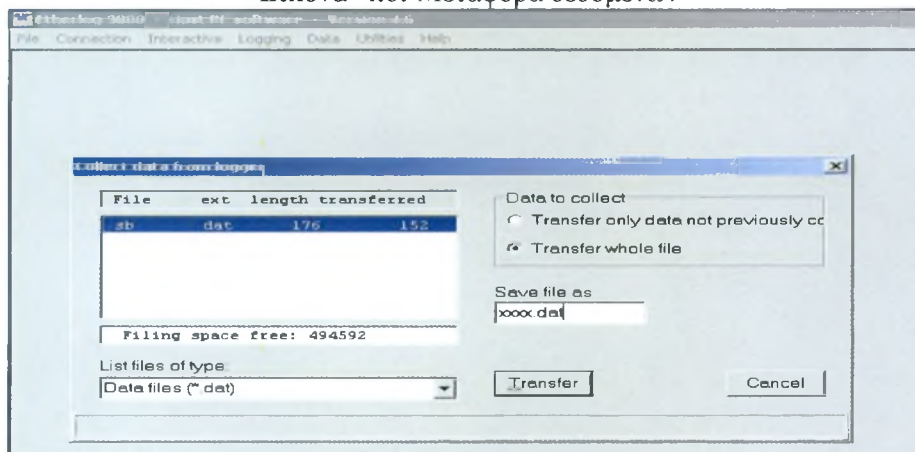
- β) τον έλεγχο της ακρίβειας του οργάνου μέσω της σύγκρισης των συγκεντρώσεων με τις αντίστοιχες από το σταθμό της ΔΕΥΑΜΒ.
- γ) την κατασκευή πινάκων με τις ωριαίες και οκτάωρες συγκεντρώσεις ανά ημέρα και ανά τοποθεσία (Βλ. πίνακα 7.1, Παράρτημα)

Εικόνα 4.5: Σύνδεση στο πρόγραμμα Etherlog



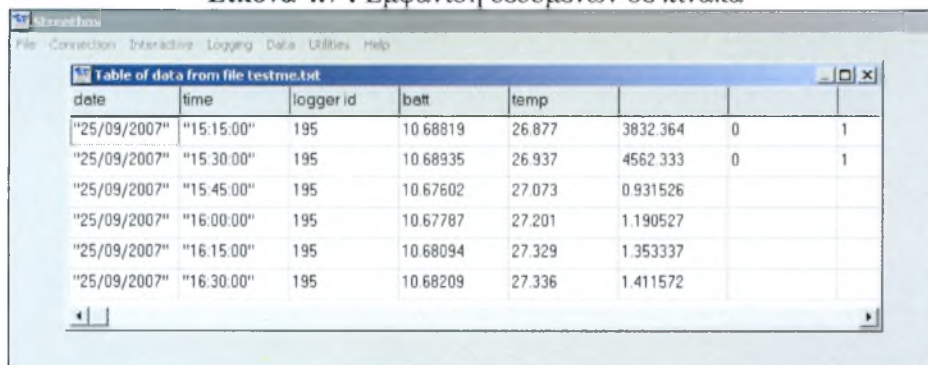
Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.6: Μεταφορά δεδομένων



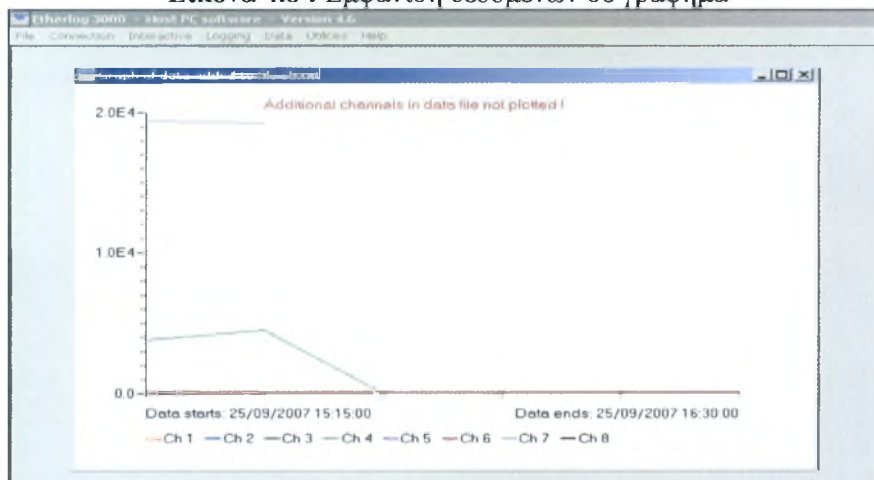
Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.7 : Εμφάνιση δεδομένων σε πίνακα



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.8 : Εμφάνιση δεδομένων σε γράφημα



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.9 : Εισαγωγή δεδομένων στο Excel, βήμα 1

Ο "Οδηγός κειμένου" προσδιόρισε ότι τα δεδομένα σας είναι οριοθετημένα.
Εάν αυτό είναι σωστό, επιλέξτε το κουμπί "Επόμενο" ή τον τύπο που περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα σας.

Αρχικός τύπος δεδομένων
Επιλέξτε τον τύπο αρχείου που περιγράφει καλύτερα τα δεδομένα σας:

- Οριοθετημένο -Πεδία διαχωρισμένα με χαρακτήρες όπως κόμματα ή tab.
- Σταθερού μήκους -Πεδία στοιχισμένα αριστερά ή δεξιά, με κενά ανάμεσα.

Έναρξη εισαγωγής στη γραμμή: 1 Προέλεση αρχείου: 1253, Εκτύπωση (Windows)

Προεπισκόπηση αρχείου C:\Program Files\RDLC\Winhost\sb.txt

1	"25/07/2007", "17: 15: 00", 195, 10. 70129, 28. 87649, 2. 051029, 0, 1
2	"25/07/2007", "17: 30: 00", 195, 10. 72358, 29. 00256, 1. 940246, 0, 1
3	"25/07/2007", "17: 45: 00", 195, 10. 80446, 29. 11801, 1. 899798, 0, 1
4	"25/07/2007", "18: 00: 00", 195, 10. 86651, 29. 15411, 1. 999007, 0, 1
5	"25/07/2007", "18: 15: 00", 195, 10. 87036, 29. 36529, 1. 981403, 0, 1

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.10 : Εισαγωγή δεδομένων στο Excel, βήμα 2

Αυτή η οθόνη σας επιτρέπει να ορίσετε τους οριοθέτες που περιέχονται στα δεδομένα σας.
Μπορείτε να δείτε πώς επηρεάζεται το κείμενο στην παρακάτω προεπισκόπηση.

Οριοθέτες

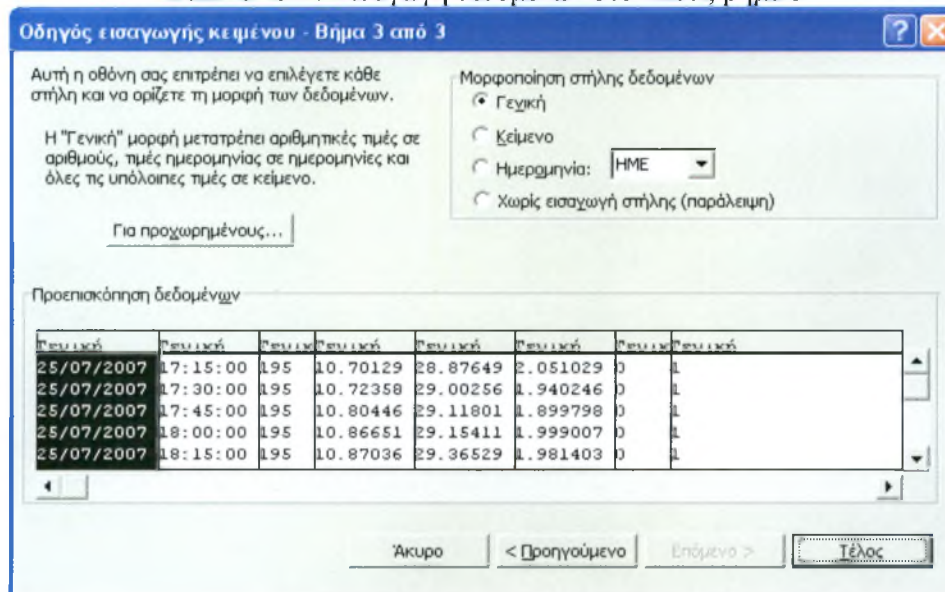
- Χαρακτήρας tab
- Ερωτηματικό
- Κόμμα
- Χειρισμός διαδοχικών οριοθετών ως ενός
- Διάστημα
- Άλλοι

Προεπισκόπηση δεδομένων

25/07/2007	17: 15: 00	195	10. 70129	28. 87649	2. 051029	0	1
25/07/2007	17: 30: 00	195	10. 72358	29. 00256	1. 940246	0	1
25/07/2007	17: 45: 00	195	10. 80446	29. 11801	1. 899798	0	1
25/07/2007	18: 00: 00	195	10. 86651	29. 15411	1. 999007	0	1
25/07/2007	18: 15: 00	195	10. 87036	29. 36529	1. 981403	0	1

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.11: Εισαγωγή δεδομένων στο Excel, βήμα 3



Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.4.1.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Για τη μετατροπή των μονάδων χρησιμοποιήθηκε ο σχετικός τύπος (Βλ. Κούγκολος, 2005, Άσκηση 1.1 σελ. 5) σύμφωνα με τον οποίο:

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{P_1}{P_0 T_1} \cdot \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \quad (4.1)$$

όπου M : το μοριακό βάρος του αερίου

T_0, P_0 : κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ($T_0 = 273 \text{ }^\circ\text{K}$ και $P_0 = 1 \text{ atm}$)

T_1, P_1 : δεδομένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας

Θεωρώντας ότι $T_1 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ }^\circ\text{K}$, $P_1 = 1 \text{ atm}$ και $M = 28^7$ και λύνοντας την εξίσωση (4.1) βρίσκουμε ότι 1 ppm CO αντιστοιχεί σε 1,145 mg / m³. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζουμε τις αντίστοιχες τιμές για το σύνολο των μετρήσεων.

⁷ Το μοριακό βάρος του CO υπολογίζεται με βάση τον πίνακα των περιοδικών αριθμών, όπου C = 12 και O = 16

4.4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΥΑΜΒ

Κάθε επίγειος σταθερός σταθμός μέτρησης έχει ορισμένα χαρακτηριστικά με βάση τα οποία κατατάσσεται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι:

- Εμπορικός – αστικός
- Κατοικίας
- Αγροτικός
- Βιοτεχνικός

Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται με γνώμονα τον τύπο της θέσης του σταθμού (αστικού, περιφερειακού υποβάθρου, κλ.π), με βάση το χαρακτήρα της περιοχής (π.χ αστική, αγροτική) και με κριτήριο τις πηγές ρύπανσης από τις οποίες θα προέρχονται οι προς καταγεγραμμένοι ρύποι. (www.minenv.gr)

Ο σταθμός της ΔΕΥΑΜΒ λειτουργεί από τον Οκτώβριο του 2006 στο πάρκο επί των οδών Γ. Λαμπράκη, Σαρανταπόρου και Μ. Γρηγορίου στα Παλαιά. Η προηγούμενη θέση του ήταν επί των οδών Κασσαβέτη και Πολυμέρη. Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ωρου. Ο χρόνος απόκρισης των αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή κάθε αναλυτής δίνει μία τιμή ανά λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Επιχείρησης, μέσω τηλεφωνικής γραμμής. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής.

Για τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων απαιτείται η βαθμονόμησή τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η διαδικασία βασίζεται στη διαβίβαση μέσω του οργάνου, αερίου με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου. Η παρασκευή του πρότυπου αερίου γίνεται με διάταξη δυναμικής αραιώσης, που συνδέεται αφενός με μια πηγή καθαρού αέρα και αφετέρου με ένα κύλινδρο που περιέχει μίγμα του εν λόγω αερίου με άζωτο σε γνωστή πρότυπη συγκέντρωση. Ο “καθαρός αέρας”, δηλαδή ο αέρας απαλλαγμένος από τους κύριους ρύπους, παράγεται διαβιβάζοντας αέρα μέσα σε ειδικά φίλτρα συγκράτησης των ρύπων. Μεταβάλλοντας την παροχή καθαρού “αέρα” και του αερίου της φιάλης είναι δυνατή η επίτευξη μιγμάτων αερίων που περιέχουν τον αντίστοιχο ρύπο σε γνωστές συγκεντρώσεις. (Διεύθυνση Προγραμματισμού και Ανάπτυξης, ΔΕΥΑΜΒ). Στον πίνακα 4.6 αναλύονται τα χαρακτηριστικά του σταθμού.

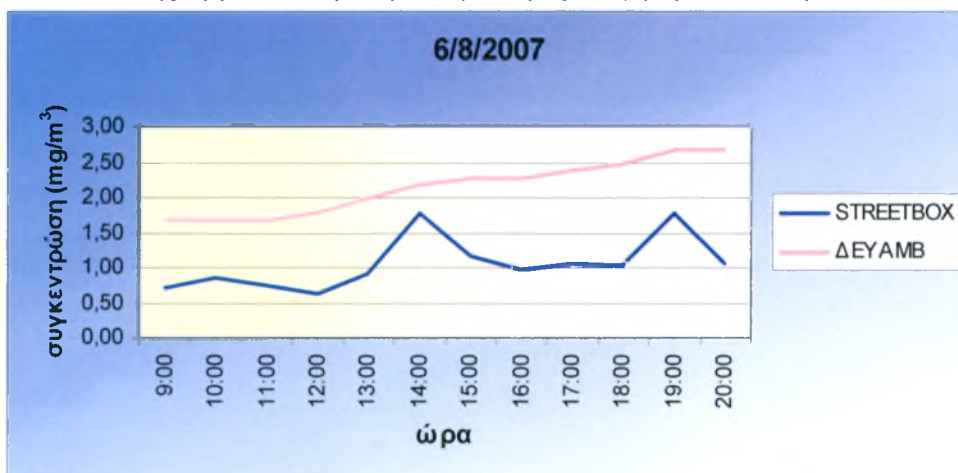
Πίνακας 4.6: Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδος μέτρησης

		Χρονική βάση μετρήσεων	Μέθοδος μέτρησης
Ρύπος	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	1 ώρα / 8 ώρες	Απορρόφηση στο υπέρυθρο
Όργανο μέτρησης	Advanced Pollution Instrumentation Model 300		
Ρύπος	Οξείδια του αζώτου (NO, NO ₂)	1 ώρα	Χημειοφωταύγεια
Όργανο μέτρησης	Advanced Pollution Instrumentation Model 200A		
Ρύπος	Όζον (O ₃)	1 ώρα / 8 ώρες	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Όργανο μέτρησης	Advanced Pollution Instrumentation Model 400		
Ρύπος	Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	1 ώρα	Φθορισμομετρία
Όργανο μέτρησης	Advanced Pollution Instrumentation Model 100A		
Ρύπος	Αιωρούμενα σωματίδια	1 ώρα / 24 ώρες	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
Όργανο μέτρησης	Environment S.A Model MP 101M		
Ρύπος	Βενζόλιο - Τολουόλιο - Αιθυλοβενζόλιο, m-p-o Ξυλόλιο (BTEX)	1 ώρα	Αέρια χρωματογραφία
Όργανο μέτρησης	Environment S.A Model VOC71M		

Πηγή: Διεύθυνση Προγραμματισμού και Ανάπτυξης, ΔΕΥΑΜΒ

Οι συγκεντρώσεις του εν λόγω σταθμού χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο ακριβείας του αναλυτή streetbox., κατόπιν τοποθέτησης του τελευταίου σε απόσταση ενός μέτρου και αντίστοιχης υψομετρικής διαφοράς από τον πρώτο. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δύο μετρήσεις σύγκρισης (Βλ. Διαγράμματα 4.1, 4.2) κάτω από διαφορετικές καιρικές συνθήκες (Βλ. εικόνες 4.12, 4.13), με σκοπό την απόκτηση πλήρους εικόνας των δυνατοτήτων και των αδυναμιών του καταγραφικού streetbox.

Διάγραμμα 4.1: Πρώτη συγκριτική αξιολόγηση των δύο οργάνων



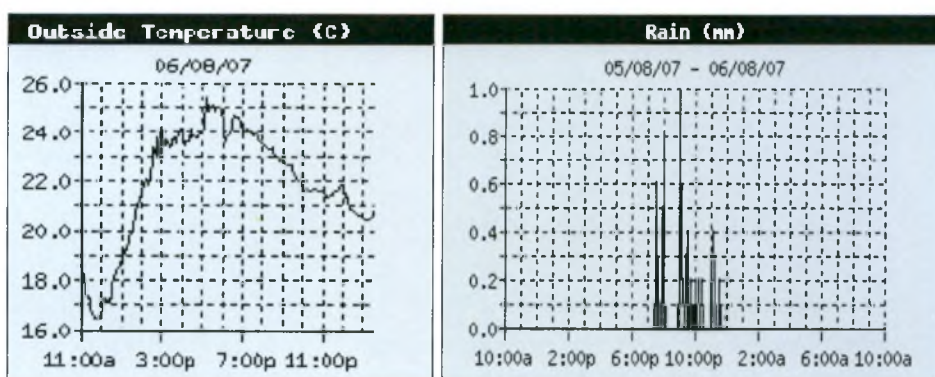
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Διάγραμμα 4.2: Δεύτερη συγκριτική αξιολόγηση των δύο οργάνων



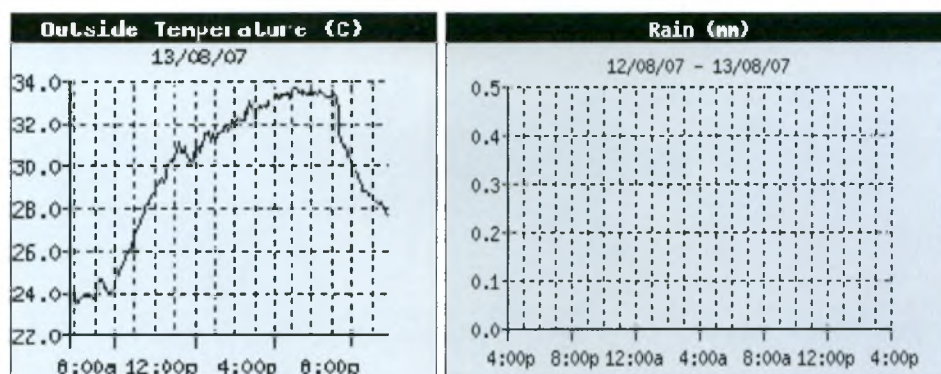
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Εικόνα 4.12: Θερμοκρασία και βροχόπτωση κατά την πρώτη συγκριτική αξιολόγηση



Πηγή: www.meteo.gr/stations/Volos

Εικόνα 4.13: Θερμοκρασία και βροχόπτωση κατά τη δεύτερη συγκριτική αξιολόγηση



Πηγή: www.meteo.gr/stations/Volos

Τα αποτελέσματα των δύο μετρήσεων είναι σε γενικές γραμμές ικανοποιητικά. Στις 6/8, λόγω της απότομης αλλαγής του καιρού και της πτώσης της θερμοκρασίας (εικόνα 4.12), οι τιμές του streetbox παρουσιάζονται σχεδόν παράλληλα μετακινημένες προς τα κάτω με τη μέση διαφορά των ωριαίων τιμών των δύο οργάνων να φθάνει το 0, 4,82 . Το γεγονός αυτό εξηγείται αν αναλογιστεί κανείς ότι ο ηλεκτροχημικός αισθητήρας του φορητού οργάνου δεν είναι σε θέση να προσαρμοστεί άμεσα στις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών, πόσο μάλλον δε όταν αυτές οι μεταβολές συμβαίνουν απότομα.

Το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τη δεύτερη σύγκριση (εικόνα 4.13), όπου η θερμοκρασία κυμάνθηκε σε φυσιολογικά για την εποχή επίπεδα σε συνδυασμό με την απουσία βροχόπτωσης. Η μέση διαφορά των ωριαίων τιμών υπολογίστηκε σε 1,090 , γεγονός που αποδεικνύει πως οι μετρήσεις είχαν ελάχιστη απόκλιση και επομένως η ακρίβεια του οργάνου είναι πράγματι πολύ υψηλή.

4.5 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

4.5.1 ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τις 27 Ιουλίου έως τις 27 Αυγούστου. Αν και ο μήνας Αύγουστος προέκυψε καθαρά λόγω συνθηκών , εντούτοις συγκεντρώνει ορισμένα χαρακτηριστικά που ευνοούν την αντιπροσωπευτικότητα των μετρήσεων. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι κλιματολογικές συνθήκες της περιόδου αυτής χαρακτηρίζουν ένα τυπικό ελληνικό καλοκαίρι με αρκετές ημέρες με ετησίες (μελτέμια) και αρκετές με εξασθένιση ετησιών και επικράτηση θαλάσσιας αύρας ή άπνοιας (Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε, 2003)

Οι συνθήκες αυτές σε συνδυασμό με την εποχή μπορούν να μας δώσουν ένα από τα χειρότερα αναμενόμενα σενάρια όσον αφορά το συγκεκριμένο ρύπο, δηλαδή τις μέγιστες τιμές που μπορούν να εμφανιστούν στην πόλη σε ετήσια βάση.⁸

Το γεγονός ότι καθόλη τη διάρκεια του Αυγούστου η ευστάθεια της ατμόσφαιρας κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα αποτελεί ένα πρώτο σημαντικό παράγοντα για την εγκυρότητα των μετρήσεων. Για να γίνει κατανοητό αυτό πρέπει να αναλογιστούμε ότι η εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής στο επόμενο στάδιο βασίζεται σε μετρήσεις που έχουν παρθεί σε διαφορετικές τοποθεσίες μία και μοναδική φορά σε αντίθεση με τον αρχικό σχεδιασμό (Βλ. § 4.5.2). Παρόλ' αυτά οι τιμές συγκρίνονται σα να προέρχονταν από μετρήσεις της ίδιας μέρας σε διαφορετικές τοποθεσίες. Δηλαδή κάνουμε την παραδοχή ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες εμφάνισαν μεγάλη ομοιομορφία, το οποίο από την άποψη της τρέχουσας κακοκαιρίας⁹ είναι σε μεγάλο ποσοστό ορθό. Η σταθερότητα αυτή εξομαλύνει επομένως τα σφάλματα ανάμεσα στις τιμές παρατήρησης και στις τιμές πρόβλεψης (Βλ. Παράρτημα).

4.5.2 ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε τη διεξαγωγή 60 μετρήσεων σε 30 σημεία, δηλαδή 2 μετρήσεις ανά σημείο σε διαφορετική χρονική στιγμή. Με τον επανέλεγχο των αρχικών τιμών θα εξασφαλίσαμε μια πιο σαφή εικόνα για τη ρύπανση σε κάθε σημείο. Κάτι τέτοιο όμως, λόγω των στενών χρονικών περιθωρίων που είχαμε στη δυνατότητα χρήσης του μετρητή κατέστη ανέφικτο. Τελικά μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του CO σε 30 διαφορετικά σημεία της περιοχής μελέτης (χάρτης 4.1) χωρίς επανέλεγχο. Οι μετρήσεις έγιναν σε 11ωρη βάση και συγκεκριμένα από τις 9:00 π.μ μέχρι τις 20:00 μμ. Η πρώτη μέτρηση της κάθε ημέρας ενέχει αρκετές πιθανότητες να μην είναι σωστή, δεδομένου ότι ο χρόνος απόκρισης του οργάνου δεν συμπίπτει πάντα με το χρόνο προσαρμογής του αισθητήρα στο εκάστοτε περιβάλλον. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως η πρώτη ένδειξη κάθε ημέρας μπορεί να είναι παρόμοια με την τελευταία της επόμενης, ανάλογα με την ώρα παύσης και έναρξης λειτουργίας του οργάνου. Το πρόβλημα παρουσιάστηκε ελάχιστες φορές και επιλύθηκε προσαρμόζοντας την πρώτη τιμή (9:00 π.μ) με βάση την αμέσως επόμενη (10:00 π.μ).

⁸ Οι τιμές του CO είναι πάντα ελαφρώς υψηλότερες το χειμώνα λόγω των κεντρικών θερμάνσεων. Εντούτοις το γεγονός αυτό δεν σημαίνει πως οι μετρήσεις κατά τους καλοκαιρινούς μήνες δεν είναι ικανές να αποδώσουν εξίσου υψηλές συγκεντρώσεις.

⁹ Από τις 30 ημέρες των μετρήσεων, βροχοπτώσεις είχαμε μόνο κατά τη διάρκεια 2 ημερών στις 2 και 6/8

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΣΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΛΥΣΗ ΓΕΩΤΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΛΟΓΟΘΕΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαργαρίτης Ευστάθιος

ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Σημεία δειγματοληψίας
-  Οικοδομικά τετράγωνα
-  Κύριοι οδοί άξονες
-  Περιφερειακός
-  Λοιπό οδικό δίκτυο
-  Ακτογραμμή



4.5.3 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Σαν δειγματοληπτικό υπόβαθρο επιλέξαμε αρχικά τους βασικούς οδικούς άξονες της περιοχής μελέτης, οι οποίοι ανήκουν σε τμήματα του οδικού δικτύου απ' όπου διέρχονται οι περισσότερες γραμμές των λεωφορείων. Στην παραπάνω κατηγορία δεν συμπεριλήφθηκε ο Περιφερειακός κυρίως για τεχνικούς λόγους. Για τον καθορισμό του αρχικού μεγέθους του πληθυσμού θεωρήθηκε πως από τη στιγμή που οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κόμβους ο αντίστοιχος πληθυσμός ορίζεται ως το σύνολο των κόμβων που δημιουργείται επί των οδών αυτών από τις διασταυρώσεις με τους κάθετους άξονες. Από το σύνολο αυτό δεν υπολογίζονται οι διασταυρώσεις με πεζοδρόμους και αδιέξοδα, καθώς και τα σημεία που αντιστοιχούν στη μία λωρίδα κυκλοφορίας σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Άρα η αντιστοιχία που δημιουργείται είναι κατά μέσο όρο ένα σημείο ανά οικοδομικό τετράγωνο. Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 4.7 συμπεραίνουμε πως το δείγμα (30 σημεία) καλύπτει περίπου το 10 % του πληθυσμού (302 σημεία).

Πίνακας 4.7: Το δειγματοληπτικό υπόβαθρο

	Γραμμές		Σημεία
	Οδικοί άξονες	Μήκος (μ)	Αριθμός κόμβων
1	Ιωλκού	3.210	38
2	Αναλήψεως	2.000	32
3	Γ. Δήμου	2.000	32
4	Κ. Καρτάλη	1.780	25
5	Αθηνών	1.400	13
6	Πολυμέρη	1.380	18
7	Κύπρου	1.300	13
8	Λαρίσης	1.280	15
9	Κασσαβέτη	1.170	13
10	Δημητριάδος	1.120	23
11	Γ. Λαμπράκη	1.020	9
12	Ορμινίου	860	13
13	Ιάσονος	890	21
14	2ας Νοεμβρίου	785	12
15	Παγασών	770	13
16	Αγ. Δημητρίου	580	1
17	Θησέως	300	7
18	Ολυμπιάδος	190	1
19	Σταδίου	175	3
20	Φιλελλήνων	90	0
	Σύνολο	22.300	302

Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.6 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Στη μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ο αριθμός και τα σημεία δειγματοληψίας εξαρτώνται από:

- το βαθμό έκθεσης του κοινού στην περιοχή μελέτης
- τη χωρική κατανομή των ρύπων που πρόκειται να μετρηθούν

Για τους παραπάνω λόγους έχουν καθοριστεί κριτήρια μακροχωροθέτησης και μικροχωροθέτησης των σημείων δειγματοληψίας (Οδηγία 2000/69/ΕΚ), βάση των οποίας επιδιώκονται τα παρακάτω:

1) Μακροχωροθέτηση

- παροχή στοιχείων για περιοχές μέσα σε ζώνες και οικισμούς όπου απαντώνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις, στις οποίες είναι ενδεχόμενο να εκτεθεί άμεσα ή έμμεσα ο πληθυσμός.
- αποφυγή μέτρησης σε μικροπεριβάλλοντα¹⁰ πολύ μικρής έκτασης.

2) Μικροχωροθέτηση

- Τα ρεύματα γύρω από το δειγματοληπτικό αισθητήρα εισόδου θα πρέπει να είναι ελεύθερα χωρίς εμπόδια που να επηρεάζουν τη ροή του αέρα (κανονικά, μερικά μέτρα μακριά από κτήρια, εξώστες, δένδρα και άλλα εμπόδια και 0,5 μέτρα τουλάχιστον από το πλησιέστερο κτήριο στην περίπτωση των σημείων δειγματοληψίας που αντιπροσωπεύουν την ποιότητα του αέρα στην οικοδομική γραμμή.
- Το σημείο εισόδου του δείγματος θα πρέπει να απέχει 1,5 έως 4 μέτρα από το έδαφος (ζώνη αναπνοής).
- Ο δειγματοληπτικός αισθητήρας εισόδου δε θα πρέπει να τοποθετείται σε άμεση γειτνίαση με πηγές για να αποφεύγεται η απευθείας είσοδος εκπομπών πριν αναμειχθούν με τον αέρα του περιβάλλοντος.
- Η έξοδος αερίων του δειγματολήπτη θα πρέπει να τοποθετείται κατά τρόπον, ώστε να αποφεύγεται η ανακυκλοφορία του εξερχόμενου αέρα στο στόμιο εισόδου των δειγμάτων
- Για το μονοξείδιο του άνθρακα συγκεκριμένα, το στόμιο εισόδου δε θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 5μ. από το κράσπεδο.

¹⁰ Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι ορισμένες θέσεις εμφανίζουν επαρκώς ομογενείς συγκεντρώσεις, οι οποίες διαφέρουν αρκετά από τις συγκεντρώσεις σε άλλες θέσεις. (Duan, 1982)

4.7 ΣΤΡΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

4.7.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΝΝΑΒΟΥ

Για την εφαρμογή της στρωματοποιημένης δειγματοληψίας απαιτείται αρχικά η εφαρμογή καννάβου στην περιοχή μελέτης. Επειδή το μέγεθος των φατνίων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα που θα προκύψουν, η επιλογή του απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Ένας εμπειρικός και εύχρηστος κανόνας που έχει προταθεί από τους Curtis και Macintosh (1950). Ο εμπειρικός αυτός κανόνας καθορίζει πως το βέλτιστο μέγεθος ενός φατνίου πρέπει να είναι το διπλάσιο της επιφάνειας ανά σημείο, δηλαδή $2A/N$, όπου A η συνολική επιφάνεια. Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής είναι αρκετά ικανοποιητικά όταν το μέγεθος του φατνίου κυμαίνεται ανάμεσα σε A/N και $2A/N$ ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες (Taylor, 1977). Με βάση τον παραπάνω κανόνα και σύμφωνα με το μέγεθος της περιοχής μελέτης το μέγεθος του κάθε φατνίου θα πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα σε 516 και 730 μέτρα. Εντούτοις τα σημεία δειγματοληψίας στη συγκεκριμένη μελέτη αποδεικνύονται οριακά επαρκή και το μέγεθος της περιοχής μελέτης σχετικά μικρό. Επιπλέον όπως θα δούμε και παρακάτω η διακύμανση του CO κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Για όλους τους παραπάνω λόγους ο χωρικός προσδιορισμός των σημείων του δείγματος γίνεται σε κάνναβο 500x 500 και η χωρική απεικόνιση της ρύπανσης προσομοιώθηκε σε κάνναβο 250 x 250. Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου η κατεύθυνση του καννάβου ακολουθεί εκείνη του δήμου Βόλου, δηλαδή τα φατνία είναι παράλληλα προς τους κάθετους οδικούς άξονες της πόλης.

Ο χωρικός προσδιορισμός των σημείων δειγματοληψίας έγινε με βασικό κριτήριο ότι οι σημαντικότερες τοποθεσίες είναι εκείνες όπου οι συγκεντρώσεις CO αναμένεται να είναι υψηλές. Για το λόγο αυτό καθορίστηκαν αυθαίρετα τρεις τομείς με κριτήριο την απόσταση από το κέντρο της πόλης, όπου κέντρο θεωρούμε το κεντροειδές του πρώτου τομέα (χάρτης 4.2).

Ο πρώτος τομέας ονομάζεται κεντρικός, αφού περιλαμβάνει το εμπορικό και διοικητικό κέντρο της πόλης, όπου αναμένεται να συναντήσουμε τη μεγαλύτερη κυκλοφορία οχημάτων. Ο δεύτερος τομέας αποτελεί την περιμετρική ζώνη, ενώ ο τρίτος καταλαμβάνει το εναπομείναν τμήμα της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια πρέπει να καθοριστεί ο αριθμός των σημείων, ώστε η πυκνότητα τους στους τομείς μελέτης να εμφανίζει φθίνουσα πορεία καθώς κινούμαστε από το εσωτερικό προς το εξωτερικό. Ο προσδιορισμός αυτός έγινε μέσω του χωροθετικού πηλίκου.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΦΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΔΥΝΗΤΕΣΤΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΑΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΣΤΑΘΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαθησάρχης: Ευσταθίου

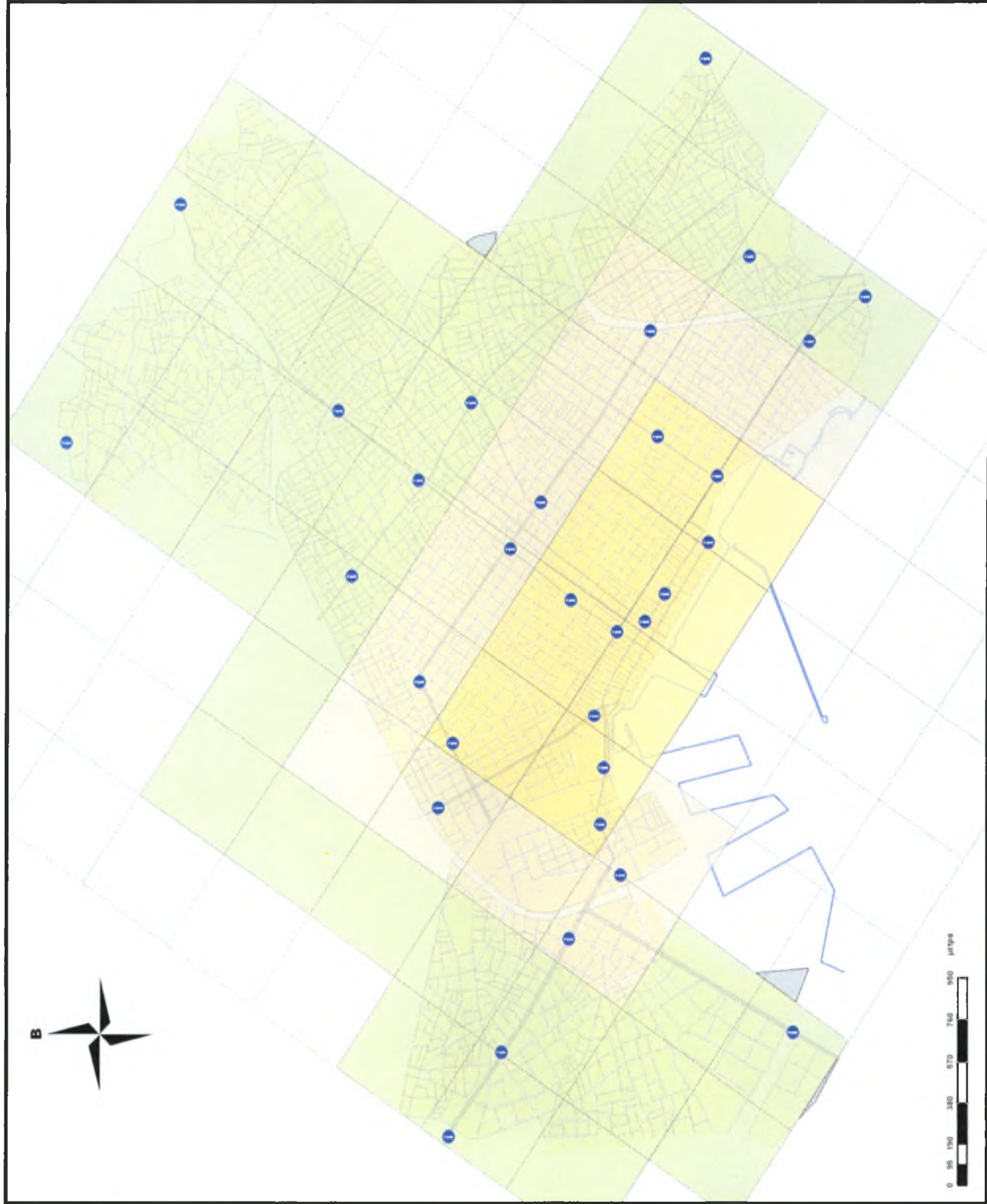
4.2

ΤΟΜΕΙΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 1 Σημεία δεγματοληψίας
- Τομέας 1
- Τομέας 2
- Τομέας 3
- Κάναβος 500 x 500
- Κύριοι οδικοί άξονες
- Περιφερειακός
- Λοιπό οδικό δίκτυο
- Ακτογραμμή



4.8 ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟ ΠΗΛΙΚΟ

Προσαρμόζοντας το γενικό τύπο, όπως παρουσιάστηκε στο θεωρητικό πλαίσιο, στις ανάγκες της εργασίας έχουμε τις παρακάτω μεταβλητές:

$$X.P = \frac{\frac{x_i}{x_j}}{\frac{\sum x_i}{\sum x_j}} \quad (1.1)$$

X_i = μήκος βασικού οδικού δικτύου για τον τομέα i

X_j = επιφάνεια οικοδομικών τετραγώνων στον τομέα i

ΣX_i = άθροισμα του συνολικού μήκους του οδικού δικτύου

ΣX_j = άθροισμα της επιφάνειας όλων των τομέων

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός χωροθετικού πηλίκου και σημείων ανά τομέα

	Αριθμός φατνίων	Επιφάνεια Ο.Τ (m ²)	Μήκος βασικού οδικού δικτύου (m)	Χωροθετικό Πηλίκο (Χ. Π)	Αναλογία Χ.Π	Χ.Π * 26	Αριθμός σημείων
Τομέας 1	8	1.027.954	5.107	1,3737	0,4281	11,130	11
Τομέας 2	12	1.424.015	4.638	0,9006	0,2806	7,297	7
Τομέας 3	36	3.713.552	12.554	0,9347	0,2913	7,573	8
Σύνολο	56	6.165.521	22.300	3,2089	1	26	26

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Λόγω της ιδιαιτερότητας της εφαρμογής της χωρικής παρεμβολής απαιτούνται συνολικά τέσσερα σημεία, ένα για κάθε σημείο του ορίζοντα στην περιοχή μελέτης. Οπότε η χωροθέτηση αφορούσε τα υπόλοιπα 26 σημεία.

Ένας τρόπος για να ελέγξουμε εάν το μέγεθος του δείγματος ανά τομέα είναι το σωστό είναι να εξισώσουμε τα βάρη B_i και b_i (Περάκης, 2000), όπου:

$$B_i = N_i / N \text{ και } b_i = n_i / n$$

N = μέγεθος πληθυσμού

N_i = μέγεθος υποπληθυσμού τομέα i , $i= 1-3$

n_i : μέγεθος δείγματος στρώματος τομέα i

B_i : ποσοστό βάρους στρώματος N_i ως προς το συνολικό πληθυσμό

b_i : ποσοστό βάρους του μεγέθους του δείγματος n_i του τομέα i ως προς το μέγεθος του συνολικού δείγματος n

Πίνακας 4.9: Έλεγχος μεγέθους δείγματος σε κάθε τομέα

	Μέγεθος υποπληθυσμού (Ni)	Βάρος τομέα Ni / N	Βάρος δείγματος ni / Σ ni	Αριθμός σημείων ni	Πυκνότητα σημείων
Τομέας 1	95	0,32	0,37	11	1,075
Τομέας 2	77	0,25	0,23	7	0,493
Τομέας 3	130	0,43	0,40	12	0,216
Πληθυσμός (N)	302	1,00	1,00	30	

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές πως οι αποκλίσεις ανάμεσα στα δύο βάρη είναι ελάχιστες, οπότε η κατανομή των σημείων θεωρείται επιτυχημένη. Επίσης από τη στήλη της πυκνότητας (σημεία ανά επιφάνεια) εκπληρώνεται ο αρχικός στόχος της διαβαθμισμένης πυκνότητας ανά τομέα.

Στο στάδιο της κατευθυνόμενης δειγματοληψίας καθορίστηκε ο τρόπος με τον οποίο θα επιλέγονταν τα σημεία εντός του κάθε τομέα. Επιλέγη ο έλεγχος των επιπέδων ρύπανσης σε διασταυρώσεις του βασικού οδικού δικτύου. Γενικά οι μετρήσεις σε διασταυρώσεις, επιτρέπονται μόνο για να εκτιμηθεί η συνεισφορά τους στη συνολική επιβάρυνση του πληθυσμού¹¹.

4.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Στην πρώτη φάση της εφαρμογής έχουμε μια πρώτη εικόνα για τα επίπεδα CO στην πόλη από το σύνολο των μετρήσεων. Η ιδιαιτερότητα όμως των σημειακών μετρήσεων είναι ότι μπορεί κανείς να εξάγει συμπεράσματα όχι τόσο για τα χωρικά πρότυπα της ρύπανσης αλλά για τα χρονικά. Από τα γραφήματα που ακολουθούν αποτυπώνονται οι διακυμάνσεις για το σύνολο της περιοχής όσο και για τα πρότυπα που χαρακτηρίζουν κάθε τομέα.

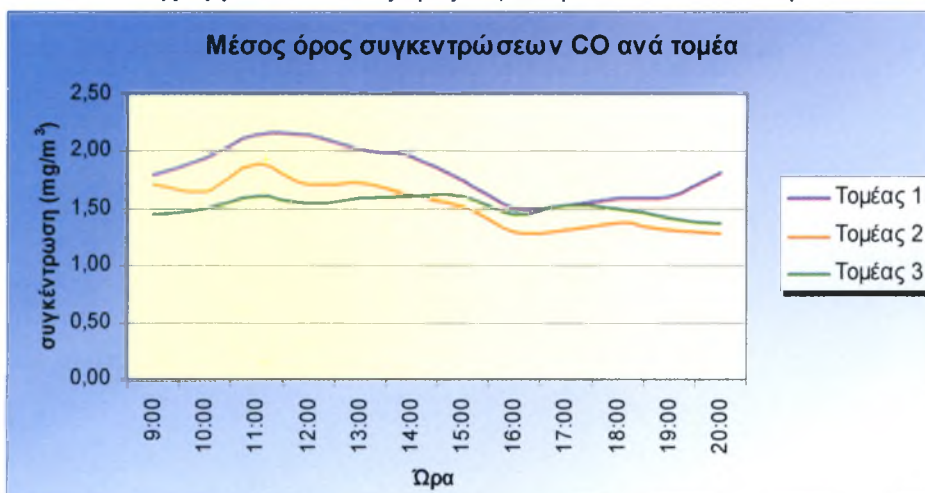
¹¹ Η χωροθέτηση σταθμών δεν επιτρέπεται να γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 25 μέτρων από μεγάλες διασταυρώσεις και γενικά οι μετρήσεις σε διασταυρώσεις αντενδείκνυνται ως μη αντιπροσωπευτικές της συνολικής έκθεσης του πληθυσμού.

Διάγραμμα 4.3: Συνολικές μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις



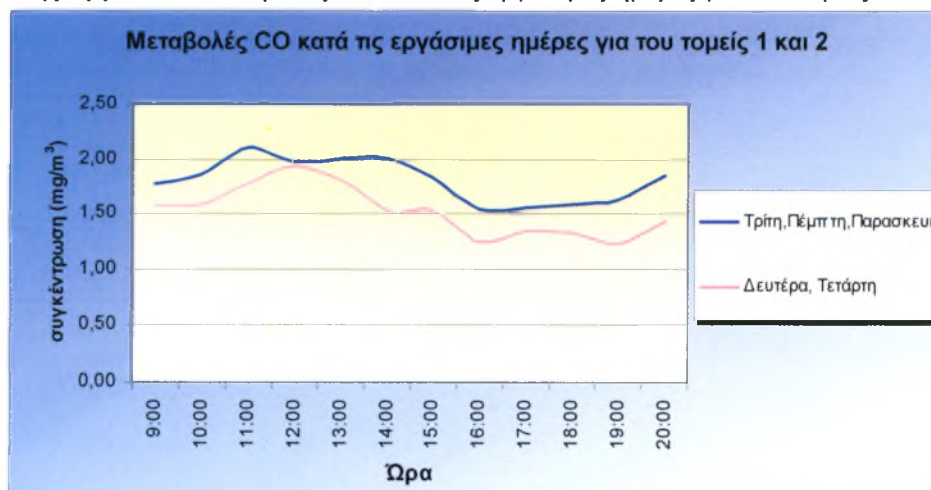
Πηγή: ίδια επεξεργασία

Διάγραμμα 4.4: Μέσος όρος συγκεντρώσεων CO ανά τομέα



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Διάγραμμα 4.5: Μεταβολές CO κατά τις εργάσιμες ημέρες για του τομείς 1 και 2



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Το διάγραμμα 4.3 παρουσιάζει την ημερήσια διακύμανση των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα με κριτήριο τις μέγιστες ωριαίες τιμές που παρατηρήθηκαν σε κάθε τοποθεσία. Από τα αποτελέσματα προκύπτουν δύο κορυφές οι οποίες αντιστοιχούν στον πρωινό και μεσημεριανό φόρτο με βάση το κατά συνθήκη ωράριο εργασίας 07:00 – 15:00. Η κορύφωση της πρώτης καμπύλης παρατηρείται περίπου στις 11:00 π.μ ενώ της δεύτερης στις 14:00 μ.μ. Το ενδιάμεσο διάστημα (11:00 – 14:00) χαρακτηρίζεται από ύφεση των μετακινήσεων η οποία επαναλαμβάνεται σε μεγαλύτερο βαθμό κατά το διάστημα 16:00 -18:00. Τις απογευματινές ώρες τα επίπεδα CO ακολουθούν και πάλι ανοδική πορεία τείνοντας να αγγίζουν εκείνα της πρωινής και μεσημεριανής κορύφωσης, χωρίς ωστόσο να μπορούμε να εξάγουμε ένα ασφαλές συνολικό συμπέρασμα, δεδομένου του χρονικού περιορισμού των μετρήσεων.

Στα διαγράμματα 4.4 και 4.5 τα επίπεδα του CO αναλύονται σε σχέση με τις διακυμάνσεις ανά τομέα γενικά και ειδικότερα σε συνάρτηση με τις επιπτώσεις από το ωράριο εργασίας κατά τη διάρκεια της εβδομάδας. Πιο συγκεκριμένα στο διάγραμμα 4.4 τα επίπεδα του CO παρουσιάζουν εμφανείς διαφοροποιήσεις στον κάθε τομέα ακολουθώντας φθίνουσα πορεία όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο. Η κατάσταση ομαλοποιείται από το μεσημέρι και μετά, όπου οι συνολικές συγκεντρώσεις συγκλίνουν προς τα κάτω. Από το χρονικό αυτό σημείο και έπειτα οι συγκεντρώσεις του δεύτερου τομέα επικαλύπτονται από το σταθερό ημερήσιο πρότυπο του τρίτου, αποδεικνύοντας πως ο κυκλοφοριακός φόρτος της δεύτερης ζώνης μετακινήσεων συμπίπτει με το ωράριο εργασίας, αλλά και πως δεν είναι δυνατόν πάντα να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα έχοντας κατά νου μόνο ένα κριτήριο (π.χ απόσταση από το κέντρο).

Στο διάγραμμα 4.5 τα δεδομένα προέρχονται αποκλειστικά από τις μετρήσεις στον πρώτο και δεύτερο τομέα, αφού στην επιφάνεια αυτή εμφανίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό των υπηρεσιών του τριτογενούς τομέα και των εμπορικών χρήσεων. Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται πως τα συνολικά επίπεδα μονοξειδίου επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις του ωραρίου κατά τη διάρκεια της εβδομάδας. Συγκεκριμένα τα απογεύματα Δευτέρας και Τετάρτης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 1,20 και 1,50mg/m³, ενώ τις υπόλοιπες μέρες από 1,50 ως 1,80mg/m³.

4.10 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Πέρα από τα δεδομένα των μετρήσεων τόσο του φορητού καταγραφικού streetbox, όσο και των μετρήσεων από το σταθμό της ΔΕΥΑΜΒ, χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα εξής στοιχεία:

- ◆ Ψηφιακό υπόβαθρο πολυγωνικής μορφής με τα οικοδομικά τετράγωνα του δήμου Βόλου
- ◆ Ψηφιακό υπόβαθρο γραμμικών οντοτήτων με το οδικό δίκτυο του δήμου Βόλου
- ◆ Πληθυσμιακά στοιχεία, με πληροφορία για τον πληθυσμό ανά οικοδομικό τετράγωνο βάση της απογραφής του 1991. Αντίστοιχα δεδομένα με την απογραφή του 2001 μέχρι την ώρα που γράφεται αυτή η διπλωματική δεν υπάρχουν .

Τα παραπάνω στοιχεία παραχωρήθηκαν από το Εργαστήριο Χωρικής Ανάλυσης, Gis και Θεματικής Χαρτογραφίας του τμήματος.

4.11 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε πρώτη φάση εισάγουμε τα στοιχεία των μετρήσεων σε ένα καινούργιο επίπεδο πληροφορίας. Για το λόγο αυτό δημιουργούμε ένα νέο σημειακό shapefile και προσθέτουμε τα απαραίτητα πεδία, όπως απεικονίζονται συμπληρωμένα στην εικόνα 4.14. Για να φτάσουμε όμως σε αυτό το στάδιο απαιτείται η μονόδρομη ακολουθία των παρακάτω βημάτων. Αρχικά, από το περιβάλλον του Arc Catalog επιλέγουμε το φάκελο στον οποίο θέλουμε να δημιουργήσουμε το νέο αρχείο και στη συνέχεια με δεξί κλικ επιλέγουμε New → Shapefile και στο παράθυρο που εμφανίζεται καθορίζουμε το είδος του αρχείου, εν προκειμένω point αφού είναι σημειακό και το όνομά του. Κατόπιν επιβάλλεται να καθορίσουμε το προβολικό σύστημα. Για το λόγο αυτό επιλέγουμε Edit → Select → Projected Coordinate Systems → Greek Grid.prj → Add → Ok → Ok. Για τη δημιουργία των πεδίων πρέπει να εισέλθουμε στη βάση δεδομένων (Attribute table) του αντίστοιχου shapefile και εκεί από την επιλογή Options επιλέγουμε Add Field και καθορίζουμε το είδος του πεδίου και τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται (length, precision, scale) ανάλογα με τον τύπο του. Στη συνέχεια εισάγουμε το αρχείο σε περιβάλλον ArcMap και ξεκινάμε την ψηφιοποίηση των σημείων αφού ενεργοποιήσουμε την επιλογή Editor και επιλέξουμε το ανάλογο layer. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και για τη δημιουργία του βασικού οδικού δικτύου. Συγκεκριμένα αφού καθοριστούν οι δρόμοι που θα το αποτελούσαν, τους επιλέγουμε μέσω του attribute table του οδικού και στη συνέχεια με δεξί κλικ στο shapefile επιλέγουμε Data → Export Data και δημιουργούμε το νέο shapefile με τα επιλεγμένα στοιχεία. Μετά το πέρας της διαδικασίας έχει σχηματιστεί ο χάρτης 4.3.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
 ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
 ΠΛΗΘΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΧΑΡΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ
 ΑΠΛΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΩΔΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΑΥΞΗΝ ΤΕΤΡΑΓΩΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΘΡΟΦΟΡΙΑΣ:
 ΔΥΡΟΦΕΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διοργάντης: Ευστάθιος

ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ CO
 ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΧΑΡΤΗΣ
 4.3

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 1.21 - 1.29
- 1.30 - 1.36
- 1.37 - 1.49
- 1.50 - 1.61
- 1.62 - 1.82
- 1.83 - 2.14
- 2.15 - 2.46

Οικοδομικά τετράγωνα

Κύριοι οδικοί άξονες

Περιφερειακός

Λοιπό οδικό δίκτυο

Ακτογραμμή



0 100 200 400 600 800 1.000 μέτρα

Εικόνα 4.14: Απεικόνιση των πεδίων του νέου σημειακού αρχείου

Attributes of d_points						
FID	Shape*	Id	Ημερομηνία	Τοποθεσία	Μετρήσεις	max_θ
0	Point	1	27/7/2007	Ιωλκού - Γαζή	2	2,12
1	Point	2	28/7/2007	Αναλήμωας - Παγασών	1,77	1,93
2	Point	3	29/7/2007	Πολυμέρη (Νασσοκομεία)	1,71	1,77
3	Point	4	30/7/2007	Αναλήμωας - Κύπρου	1,98	2,22
4	Point	5	31/7/2007	Δημητριάδος - Αγ. Νικολάου	2,41	2,5
5	Point	6	1/8/2007	Λαρίσης (Βερόπουλος)	1,61	1,66
6	Point	7	2/8/2007	Γ. Δήμου - Κύπρου	1,48	1,53
7	Point	8	3/8/2007	Κασσαβέτη - Α. Γαζή	1,54	1,62
8	Point	10	5/8/2007	Ιωλκού - Περιφερειακός	1,35	1,40
9	Point	11	6/8/2007	Λαμπράκη (ΔΕΥΜΑΒ)	1,43	1,51
10	Point	12	7/8/2007	Ιωλκού - Ερμού	2,14	2,28
11	Point	9	4/8/2007	Ζακ Νοεμβρίου - Αγ. Παντελεήμωνα	1,41	1,51
12	Point	13	8/8/2007	Ιάσσανος - Φιλιππίων	1,49	1,57
13	Point	14	9/8/2007	Αγ. Δημητρίου - Απολλωνας	1,52	1,61
14	Point	15	10/8/2007	Γ. Δήμου - Ιωλκού	1,57	1,68
15	Point	16	11/8/2007	Σέκερη (Αστικό ΚΤΕΛ)	1,34	1,43
16	Point	17	14/8/2007	Λαμπράκη - Ζακ Νοεμβρίου	1,93	2
17	Point	18	15/8/2007	Κ. Καρτάλη - Δημητριάδος	1,54	1,61
18	Point	19	16/8/2007	Λαμπράκη - Παπαδιαμάντη	2,46	2,68
19	Point	20	17/7/2007	Ιωλκού - Αναλήμωας	1,46	1,5
20	Point	21	18/7/2007	Παγασών - Α. Γαζή	1,33	1,47
21	Point	22	19/7/2007	Σταδίου - Πολυμέρη	1,36	1,49
22	Point	23	20/7/2007	Αναλήμωας - Φιλιππίδη (Αναύρος)	1,21	1,28
23	Point	24	21/7/2007	Γ. Δήμου - 54ου Συντάγματος	1,82	1,94
24	Point	25	22/7/2007	Βόρειο τέρμα (Αγ. Παρασκευή)	1,25	1,36
25	Point	26	23/7/2007	Σταδίου τέρμα	1,29	1,37
26	Point	27	24/8/2007	Λαρίσης τέρμα	1,61	1,66
27	Point	28	25/8/2007	Πολυμέρη - Κασσαβέτη	1,72	1,81
28	Point	29	26/8/2007	Αθηνών τέρμα	1,51	1,59
29	Point	30	27/8/2007	Λαρίσης - Μπότσαρη	1,72	1,77

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.15: Εικόνα από το Arc Scene με τα βάρη των σημείων



Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.12 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΝΗΘΟΥΣ KRIGING (ORDINARY KRIGING)

4.12.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής αποτελεί το κυρίως κεφάλαιο της εργασίας. Τα αποτελέσματα του συνήθους kriging είναι η βάση για τη δημιουργία μιας σειράς χαρτών, όπως:

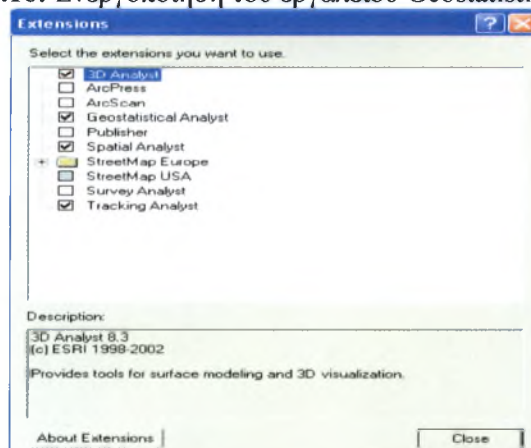
- ◆ Χάρτες πρόβλεψης (prediction map)
- ◆ Χάρτης τυπικού σφάλματος (standard error map)
- ◆ Χάρτης πιθανοτήτων (probability map)
- ◆ Χάρτης ποσοτώσεων (quantile map)

Οι συγκεντρώσεις στο σύνολο της πόλης απεικονίζονται τόσο μέσω του αρχικού επιπέδου (*layer*) του συνήθους kriging στο γεωστατιστικό αναλυτή (*geostatistical analyst*), όσο και με αναγωγή σε κανναβικό σύστημα. Αν και η αρχική προσομοίωση της πρόβλεψης γίνεται σε κάρναβο 500 x 500, εντούτοις η πληροφορία που «χάνεται» σε αυτή την ανάλυση είναι σημαντική για μια περιοχή σαν το Βόλο. Για το λόγο αυτό οι υπόλοιπες αναγωγές έγιναν σε κάρναβο μεγέθους 250 x 250

4.12.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ KRIGING

Αφού ενεργοποιήσουμε την επέκταση του γεωστατιστικού αναλυτή¹² (εικόνα 4.16), επιλέγουμε το Geostatistical Wizard και έπειτα το μοντέλο της παρεμβολής που επιθυμούμε να εφαρμόσουμε, εν προκειμένω το Ordinary kriging (εικόνα 4.17).

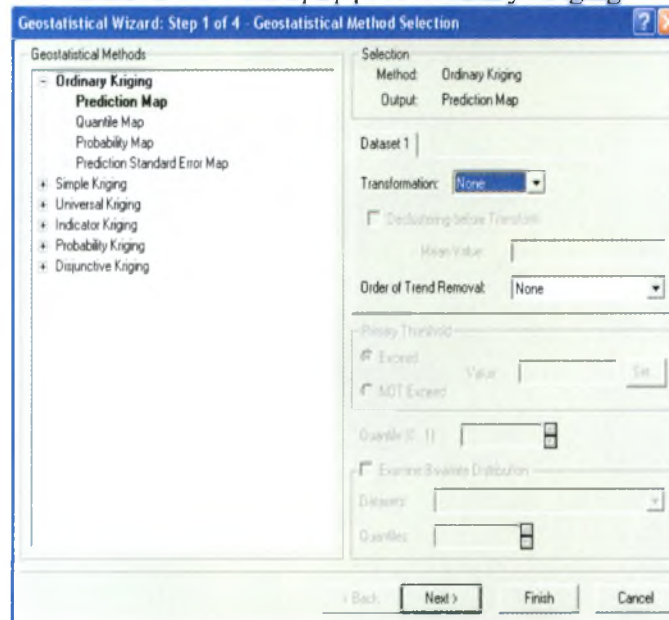
Εικόνα 4.16: Ενεργοποίηση του εργαλείου Geostatistical Analyst



Πηγή: ίδια επεξεργασία

¹² Η ενεργοποίηση των επεκτάσεων (extensions), προϋποθέτει την πλήρη εγκατάσταση του προγράμματος και όχι την τυπική που εφαρμόζεται συνήθως

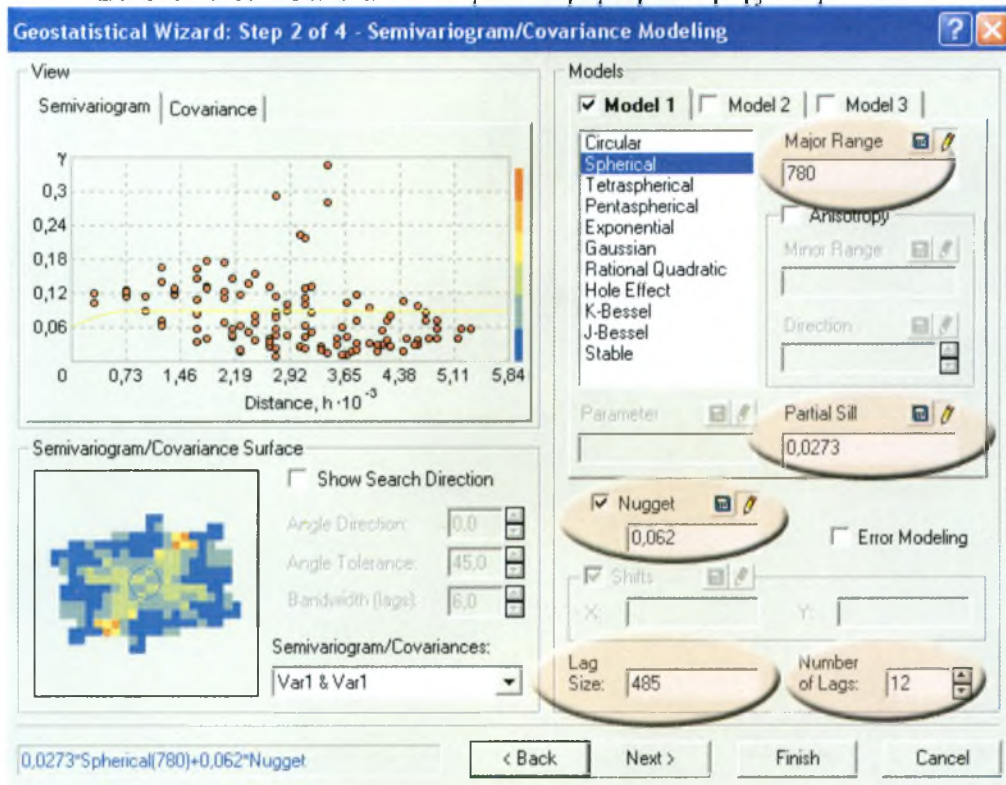
Εικόνα 4.17: Εισαγωγή στο Ordinary Kriging



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Για τη δημιουργία των χαρτών πρόβλεψης και τυπικού σφάλματος δεν είναι απαραίτητη η μετατροπή της κατανομής σε κανονική, πράγμα που απαιτείται όμως στους χάρτες πιθανοτήτων και ποσοτώσεων. Για το λόγο αυτό στην επιλογή transformation επιλέγουμε None και συνεχίζουμε στην επιλογή της αφαίρεσης της τάσης (trend removal). Για την κατάλληλη επιλογή πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η τάση επειδή εκφράζει την μέση τιμή του δείγματος μ δεν μεταβάλλεται γρήγορα κατά την προσομοίωση ενός φαινομένου. Οι όποιες αλλαγές οφείλονται στη ταχεία μεταβολή των σφαλμάτων $\varepsilon(s)$ (βλ. και § 2.14.1). Επειδή λοιπόν είναι δύσκολο να πούμε ποιες μεταβολές αποδίδονται στην τάση και ποιες στα σφάλματα, το καλύτερο είναι να κρατάμε το μοντέλο όσο πιο απλό γίνεται (επιλογή None), εκτός αν υπάρχουν αδιαμφισβήτητες ενδείξεις για αφαίρεση της τάσης. Τα υπόλοιπα μεγέθη καθορίστηκαν ύστερα από συνεχείς επαναλήψεις και αφού τα σφάλματα της διασταυρωμένης εκτίμησης ελαχιστοποιήθηκαν. Τα τελικά χαρακτηριστικά φαίνονται στην εικόνα 4.18

Εικόνα 4.18: Τελικά αποτελέσματα παραμετροποίησης του μοντέλου



Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.13 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στην επαλήθευση του μοντέλου το ζητούμενο είναι οι τιμές πρόβλεψης να έχουν μικρή διαφορά από τις πραγματικές (αμεροληψία), ώστε να είναι βέβαιο πως το μοντέλο ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν περισσότερες την πραγματικότητα. Με βάση τις ιδανικές προϋποθέσεις έτσι όπως παρατέθηκαν στο κεφάλαιο 2.16 και τα αποτελέσματα της παραμετροποίησης σχηματίζεται ο πίνακας 4.15 όπως παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 4.15: Επαλήθευση του μοντέλου

Σφάλματα πρόβλεψης	Ιδανική περίπτωση	Αποτελέσματα μοντέλου
Μέσο σφάλμα πρόβλεψης	→ 0	0,02412
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα	Μέσο τυπικό σφάλμα	0,3039
Μέσο τυπικό σφάλμα	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα	0,3096
Μέσο σταθμισμένο σφάλμα	→ 0	0,07242
Μέσο σταθμισμένο τετραγωνικό σφάλμα	→ 1	1,004

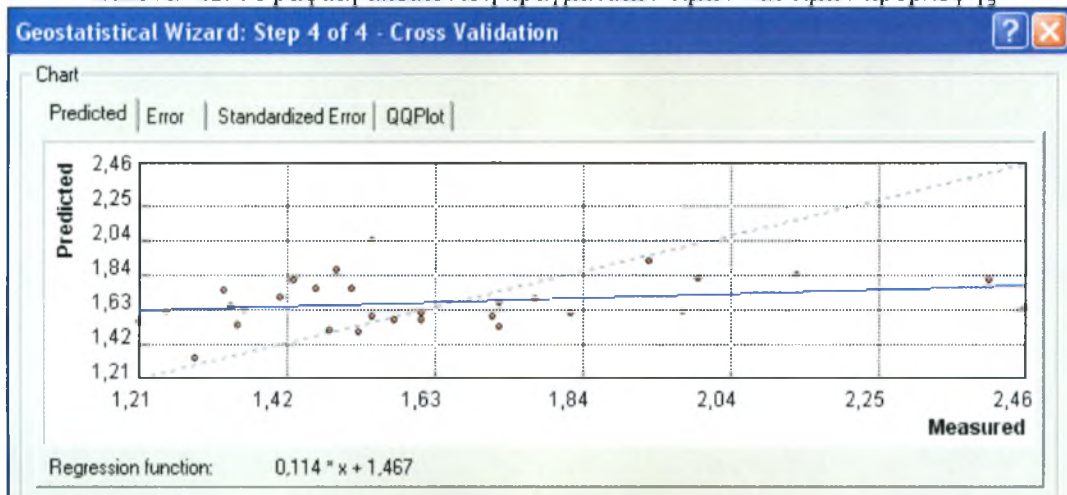
Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.13.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

4.13.1.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ (PREDICTION PLOT)

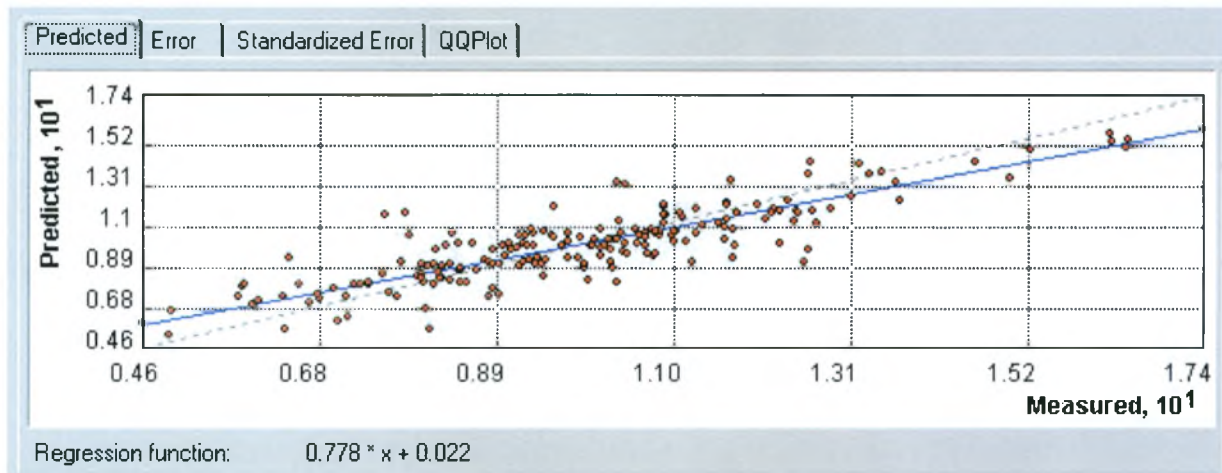
Στη γραφική αναπαράσταση των προβλεπόμενων (*predicted*) και των πραγματικών (*measured*) τιμών παρατηρούμε τις τιμές να συγκεντρώνονται γύρω από τη γαλάζια γραμμή, (η εξίσωσή της φαίνεται κάτω αριστερά) η οποία αποτελεί την πραγματική κλίση της ευθείας και είναι πάντα μικρότερη της θεωρητικής κλίσης που αναπαρίσταται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή (Εικόνα 4.19). Το γεγονός αυτό δεν είναι τυχαίο, αλλά αποτελεί ιδιότητα του kriging, ώστε οι μεγάλες τιμές να υποτιμώνται και οι μικρές να υπερτιμώνται.

Εικόνα 4.19: Γραφική απεικόνιση πραγματικών τιμών και τιμών πρόβλεψης



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Από το παραπάνω σχήμα είναι εμφανές πως η κλίση της ευθείας είναι αρκετά μικρή, διότι οι τιμές προβλέψεις συγκεντρώνονται γύρω από το μέσο όρο των πραγματικών δεδομένων. Αυτό αποδεικνύει πως η αυτοσυσχέτιση των δεδομένων βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Αντίθετα σε δεδομένα με υψηλή αυτοσυσχέτιση (Εικόνα 4.20) και ένα σωστά παραμετροποιημένο μοντέλο kriging, η πραγματική κλίση της ευθείας έχει ελάχιστες αποκλίσεις από τη θεωρητική, και το σμήνος των σημείων να είναι όσο γίνεται λιγότερο απομακρυσμένο.

Εικόνα 4.20: Σχέση θεωρητικής και πραγματικής κλίσης σε μοντέλο με υψηλή αυτοσυσχέτιση

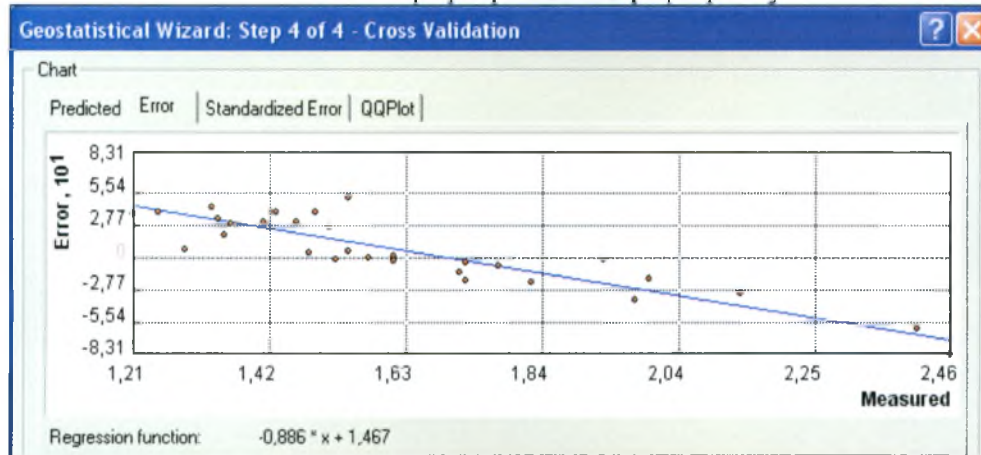
Πηγή: ίδια επεξεργασία

Η ύπαρξη χαμηλής αυτοσυσχέτισης εξαρτάται άμεσα από τις αποστάσεις των σημείων δειγματοληψίας και κατ' επέκταση από τον αριθμό τους. Στην παρούσα εργασία το οριακό μέγεθος του δείγματος (30 σημεία), όσο και το γεγονός ότι οι μετρήσεις έγιναν σε διαφορετικές ημέρες (Βλ. χρονική περίοδο δειγματοληψίας), αυξάνει τα περιθώρια σφάλματος και περιορίζει την αυτοσυσχέτιση. Βέβαια οι επιπτώσεις της χαμηλής αυτοσυσχέτισης στη χαρτογραφική απόδοση της ρύπανσης εμφανίζονται απλά με τη μορφή ενός πιο ομοιόμορφου προτύπου, το οποίο δεν παύει να αντιπροσωπεύει την πραγματική κατάσταση της πόλης.

4.13.1.2 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ

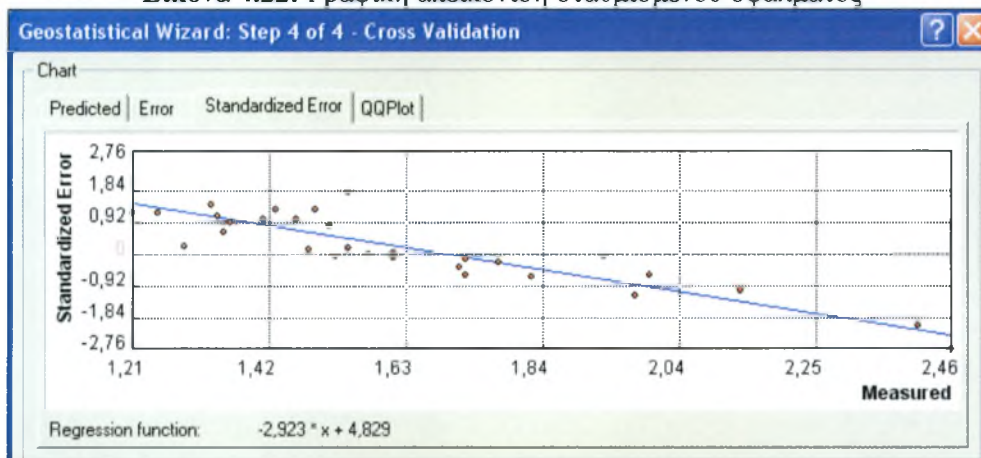
Η γραφική αναπαράσταση του σφάλματος (Εικόνα 4.21) απεικονίζει τη διαφορά ανάμεσα στις πραγματικές και τις προβλεπόμενες τιμές σε σχέση με τις πραγματικές. Η γραφική παράσταση του σταθμισμένου σφάλματος (Εικόνα 4.22) ακολουθεί την ίδια διαδικασία με το επιπλέον στοιχείο ότι οι διαφορές μετά διαιρούνται με τα εκτιμώμενα τυπικά σφάλματα του μοντέλου. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των αναπαραστάσεων είναι να δείξουν την αξιοπιστία του μοντέλου κάτω από τις συνθήκες που όρισε ο αναλυτής.

Εικόνα 4.21: Γραφική απεικόνιση σφάλματος



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 4.22: Γραφική απεικόνιση σταθμισμένου σφάλματος

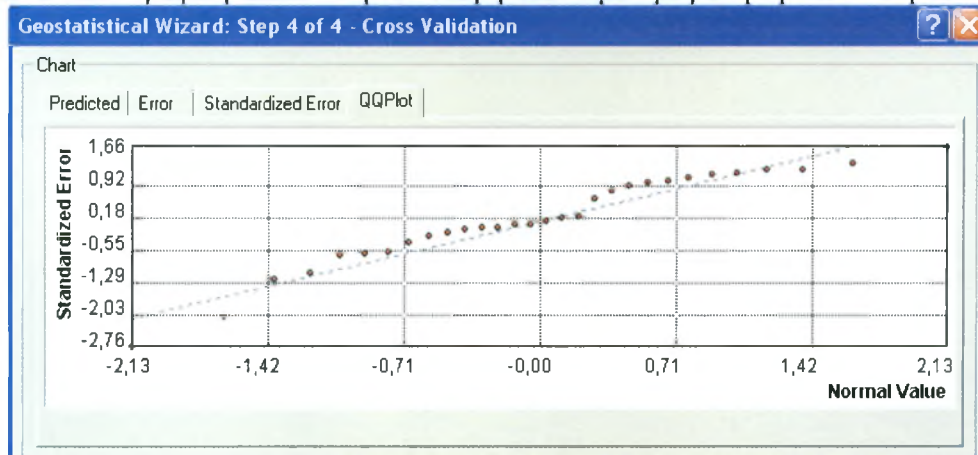


Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.13.1.3 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ (QQ PLOT)

Το διάγραμμα των ποσοστιαίων σημείων εκφράζει τις τιμές της μεταβλητής αν ακολουθούσε κανονική κατανομή σε συνάρτηση με τις τιμές του σταθμισμένου σφάλματος. Αν τα σφάλματα των προβλέψεων ακολουθούν κανονική κατανομή, τότε τα σημεία πρέπει να βρίσκονται σε ελάχιστη απόσταση από τη διακεκομμένη γραμμή (εικόνα 4.23). Με αυτή είναι ασφαλές να προχωρήσουμε στη δημιουργία χαρτών με βάση τα σημεία ποσόστωσης.

Εικόνα 4.23: Γραφική απεικόνιση των θεωρητικών τιμών με βάση την κανονική κατανομή

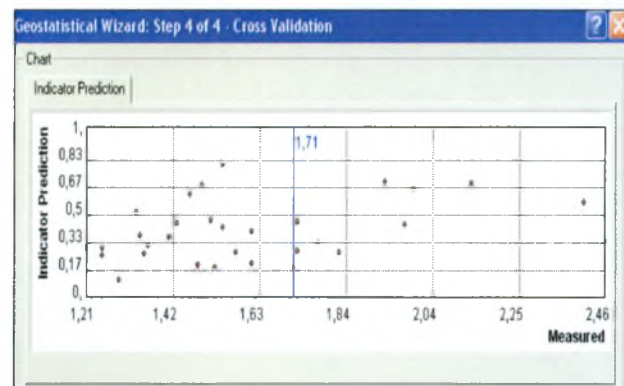
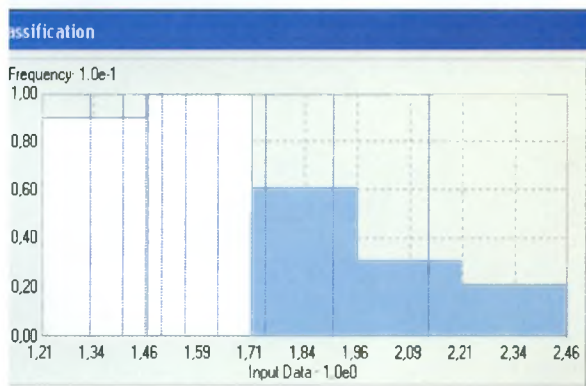


Πηγή: ίδια επεξεργασία

4.14 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

Με βάση την καμπύλη της κανονικής κατανομής ο χάρτης πρόβλεψης δημιουργείται λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του γενικευμένου μέσου όρου που υπολογίζει το μοντέλο του kriging (Βλ. § 2.14.1) και ανάλογα με το είδος της κατανομής ο τελευταίος μπορεί να συμπίπτει ή όχι με την κορυφή της. Στους χάρτες πιθανοτήτων δίνεται αρχικά μία τιμή κατωφλίου και το μοντέλο υπολογίζει την πιθανότητα κάθε σημείου στο χάρτη να εμφανίσει τιμή μεγαλύτερη από εκείνη που ορίστηκε (Εικόνες 4.24, 4.25). των αναφερόμαστε στη χρωματισμένη περιοχή της εικόνας 4.24. Γενικά οι χάρτες πιθανοτήτων μπορούν να αποδώσουν με πιο αντιπροσωπευτικό τρόπο τη ρύπανση, αφού «απορροφούν» σε μεγάλο βαθμό τα όποια σφάλματα έγιναν κατά τη μέτρηση και έχουν αποτυπωθεί στο χάρτη πρόβλεψης.

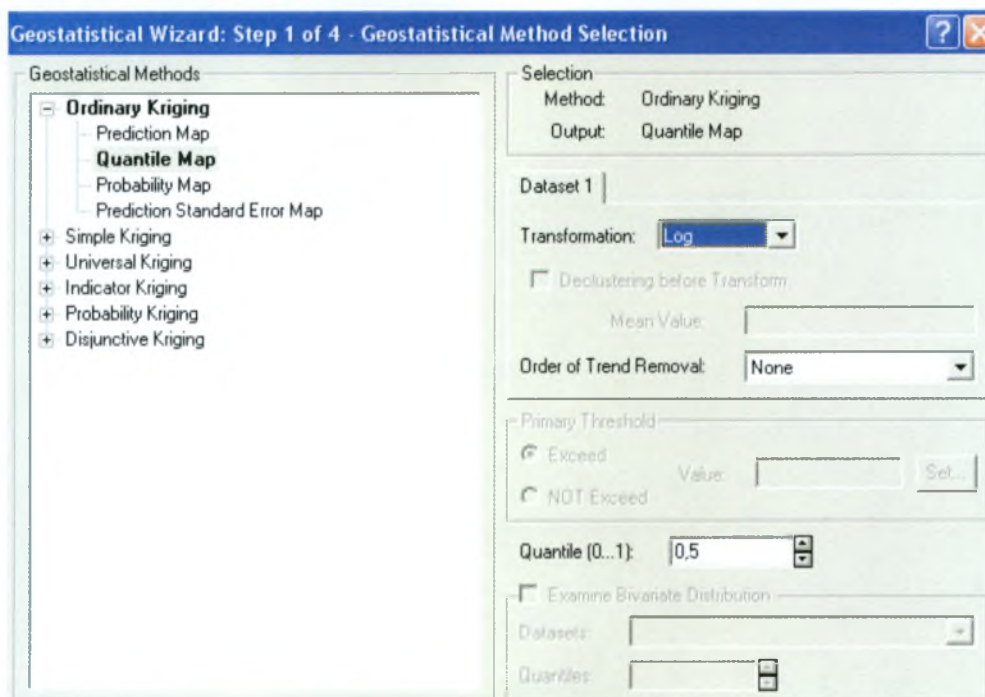
Εικόνες 4.24,4.25: Τα δεδομένα του χάρτη πιθανοτήτων με βάση την τιμή κατωφλίου



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Για τη δημιουργία του χάρτη ποσοτώσεων πρέπει να καθοριστεί το $100p$ – ποσοστιαίο σημείο, δηλαδή η τιμή η οποία χωρίζει την κατανομή συχνοτήτων έτσι ώστε το $100p$ του χωρίου κάτω από την κατανομή συχνοτήτων να είναι αριστερά του ποσοστιαίου σημείου και το $100(1-p)$ να είναι δεξιά του. Το ποσοστιαίο σημείο ουσιαστικά καθορίζει το εύρος των τιμών που θα εμφανιστούν στο χάρτη και μας βοηθάει να αντιληφθούμε καλύτερα την κατανομή των συχνοτήτων. Τα κυριότερα ποσοστιαία σημεία είναι το 25 (Q1), το 50(Q2), το 75(Q3) και το 100. Τα τρία πρώτα είναι αυτά που απεικονίζονται στους επόμενους χάρτες. Για τη δημιουργία των χαρτών πρόβλεψης και πιθανοτήτων απαιτείται να μετασχηματιστεί η αρχική κατανομή σε κανονική. Για το λόγο αυτό επιλέγουμε το λογαριθμικό μετασχηματισμό log (Εικόνα 4.26), δεδομένου ότι υπάρχουν ελάχιστες τιμές με υψηλή συχνότητα. Ο μετασχηματισμός log βοηθάει στην εξομάλυνση των τιμών και τη σταθεροποίηση των διακυμάνσεων.

Εικόνα 4.26: Επιλογή λογαριθμικού μετασχηματισμού log



Πηγή: ίδια επεξεργασία

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ:
ΑΞΙΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διδάσκων: Ευστάθιος

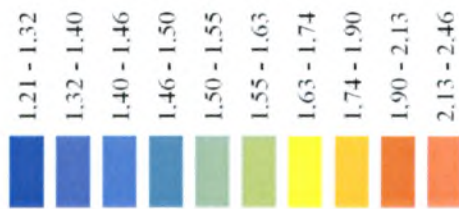
ΣΧΗΜΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ

ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ CO
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΩΡΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ

4.4

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 200*

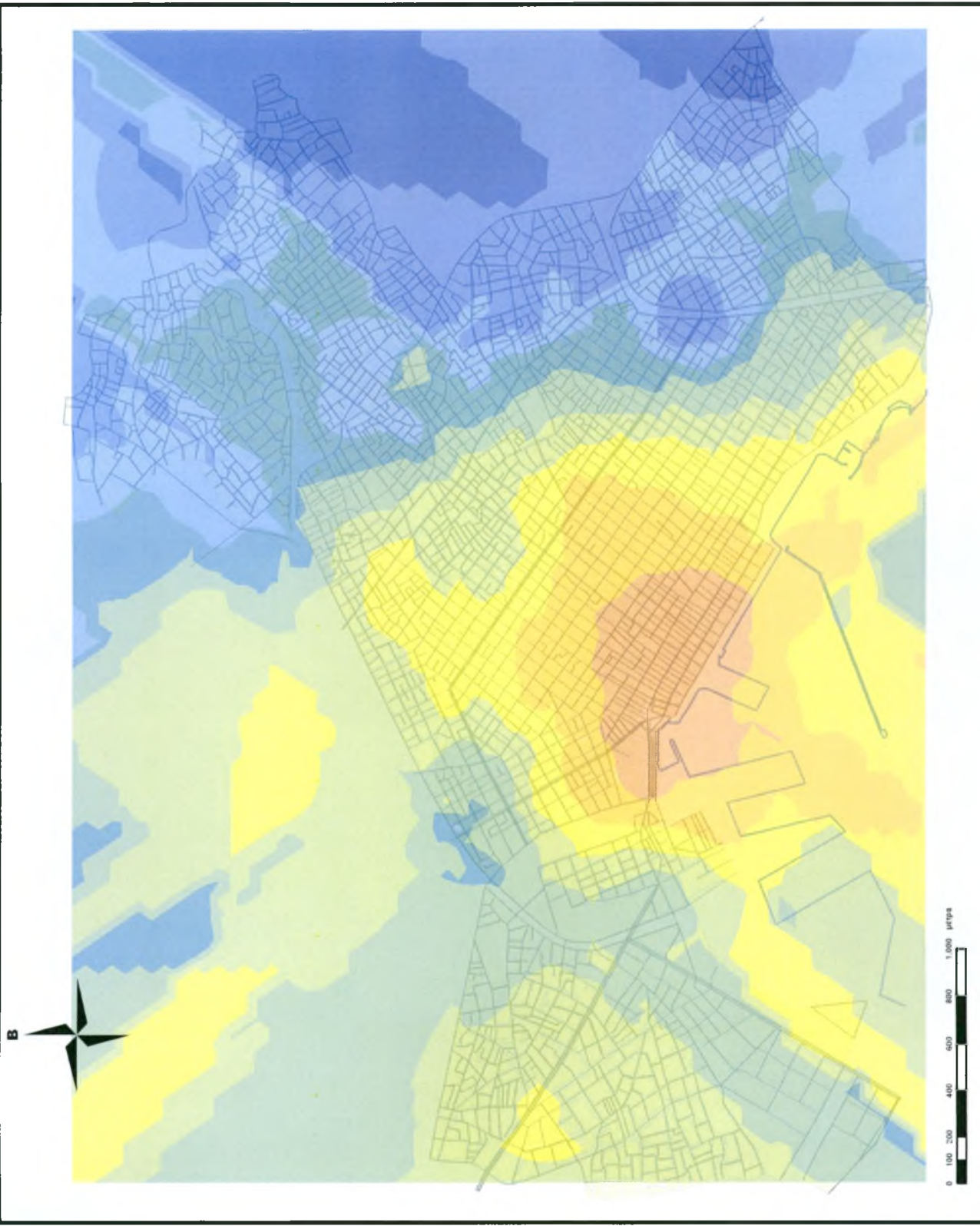
ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Κύριοι οδικοί άξονες

Λοιπό οδικό δίκτυο

Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΥΨΙΚΗΣ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΛΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΘΜΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΔΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.
ΑΞΙΟΠΡΟΣΩΠΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαθησάρχης: Ευστάθιος

ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

ΕΠΙΠΕΔΟ

ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΟΡΙΑΣΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ

4.5

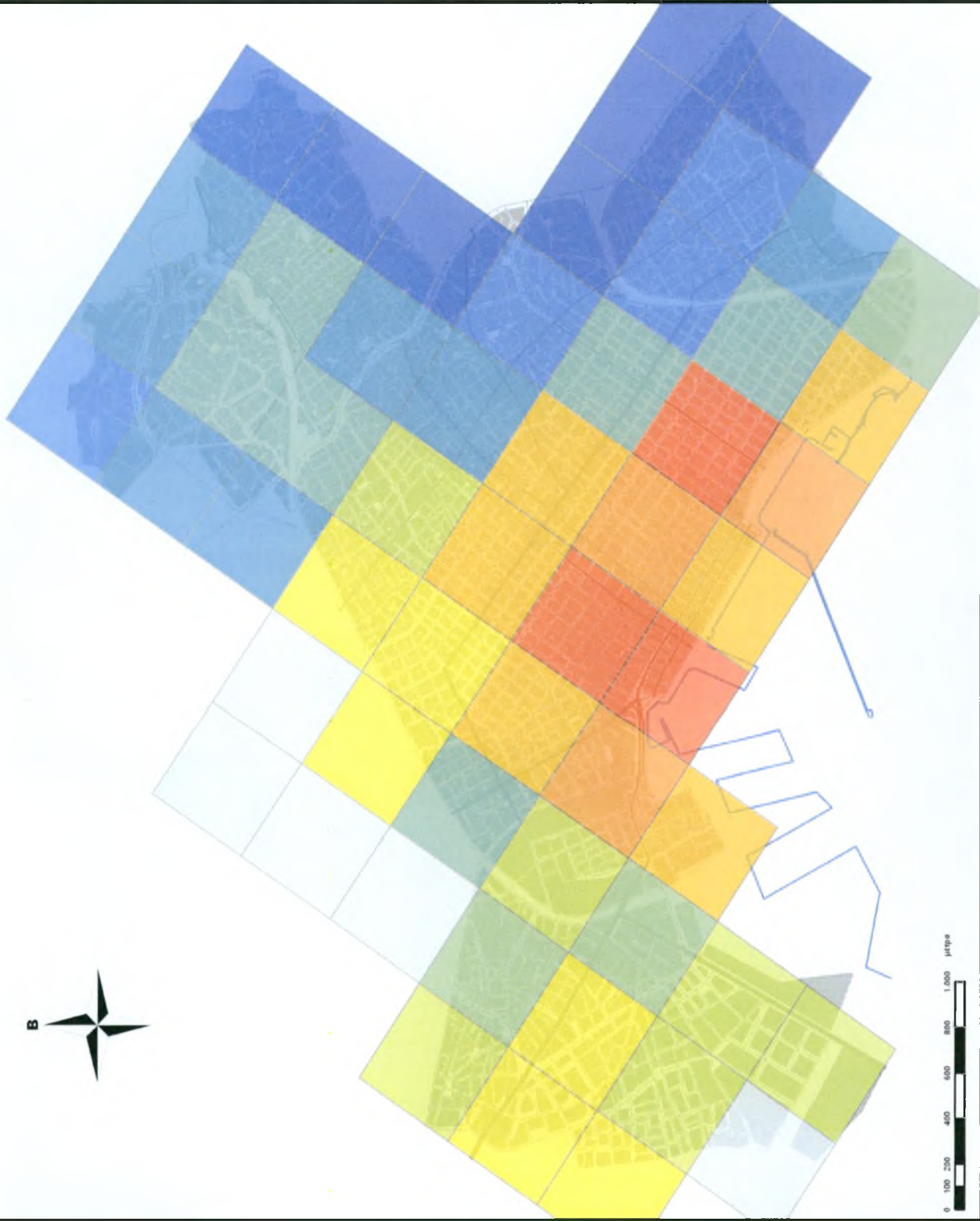
ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 0,00 - 1,21
- 1,21 - 1,32
- 1,32 - 1,40
- 1,40 - 1,46
- 1,46 - 1,50
- 1,50 - 1,55
- 1,55 - 1,63
- 1,63 - 1,74
- 1,74 - 1,90
- 1,90 - 2,13
- 2,13 - 2,46
- Κάναβος 500 x 500
- Κύριοι οδοί άξονες
- Ακτογραμμή



0 100 200 400 600 800 1.000 μέτρα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΔΕΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΛΗΘΥΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΙΣΟΜΕΤΡΗΤΗ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ
ΑΥΤΟΦΩΤΟΦΩΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ:
ΑΥΡΟΦΩΤΗΤΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαργαρίτης Ευσταθίου

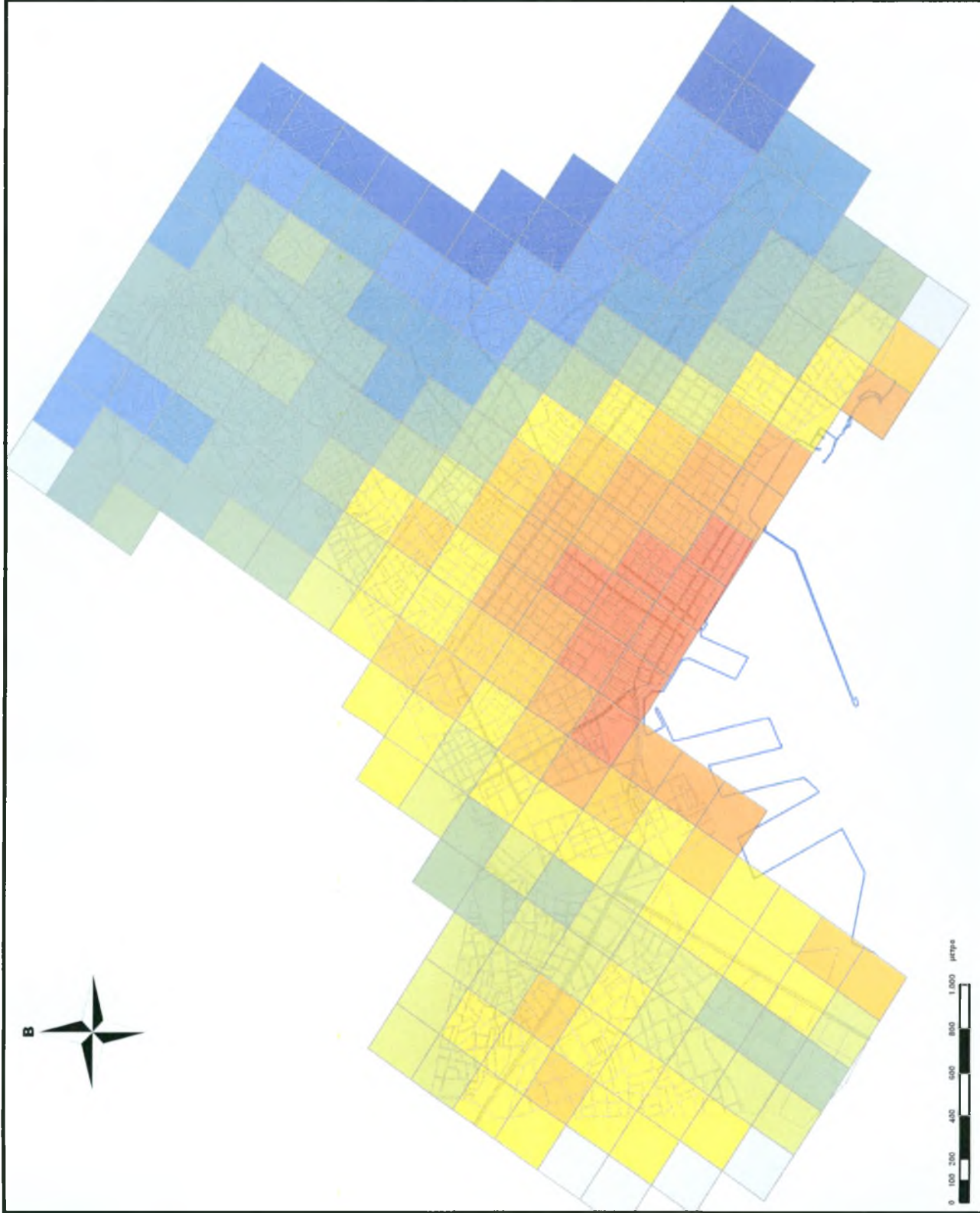
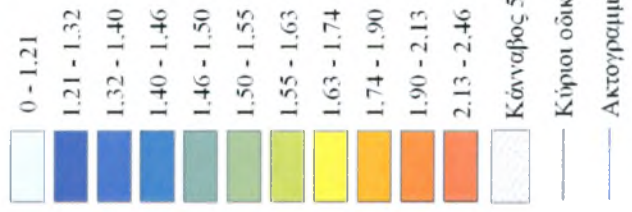
ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

ΕΠΙΠΕΔΑ CO
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΟΡΙΑΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ

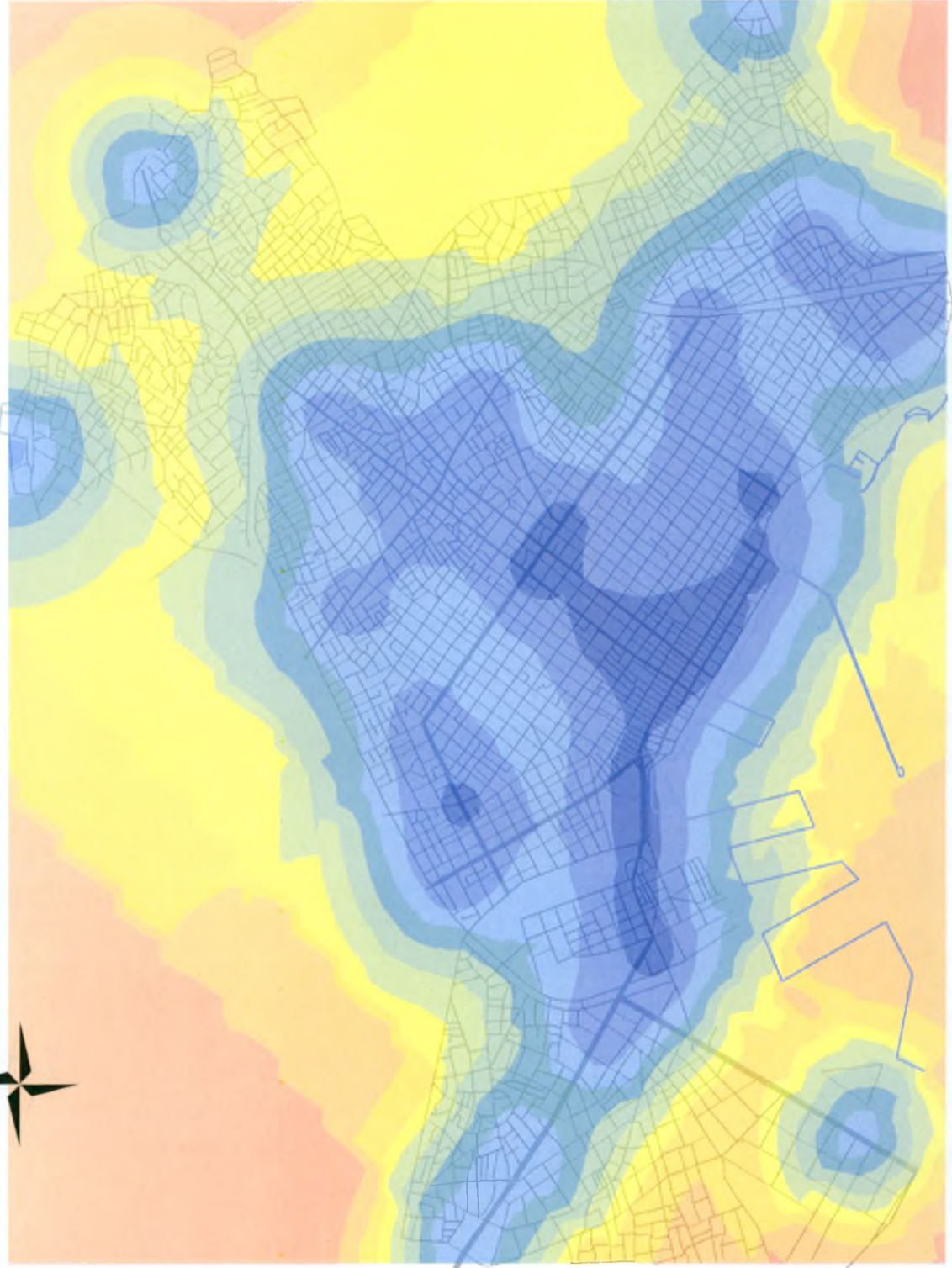
4.6

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



B



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ
ΑΓΙΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΔΥΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ:
ΧΑΡΩΘΕΤΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ











Μαργαρίτη Ευστάθιος

4.7

ΧΑΡΤΗΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΦΑΔΜΑΤΟΣ

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  0,285 - 0,297
-  0,297 - 0,306
-  0,306 - 0,314
-  0,314 - 0,320
-  0,320 - 0,324
-  0,324 - 0,328
-  0,328 - 0,331
-  0,331 - 0,334
-  0,334 - 0,339
-  0,339 - 0,345

Κύριοι οδοί άξονες

Λοιπά οδικά δίκτυα

Ακτογραμμή

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

1 ΠΛΗΘΥΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΗΘΙΟ ΧΑΡΙΤΗΣ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΑΡΧΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ
ΑΠΡΟΘΕΤΗΣ ΣΤΑΘΜΙΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

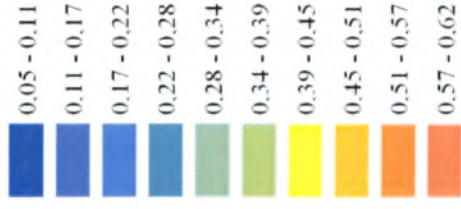
Μαθητής: Eusebios

ΧΑΡΙΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ
ΟΡΙΟ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ 1,75

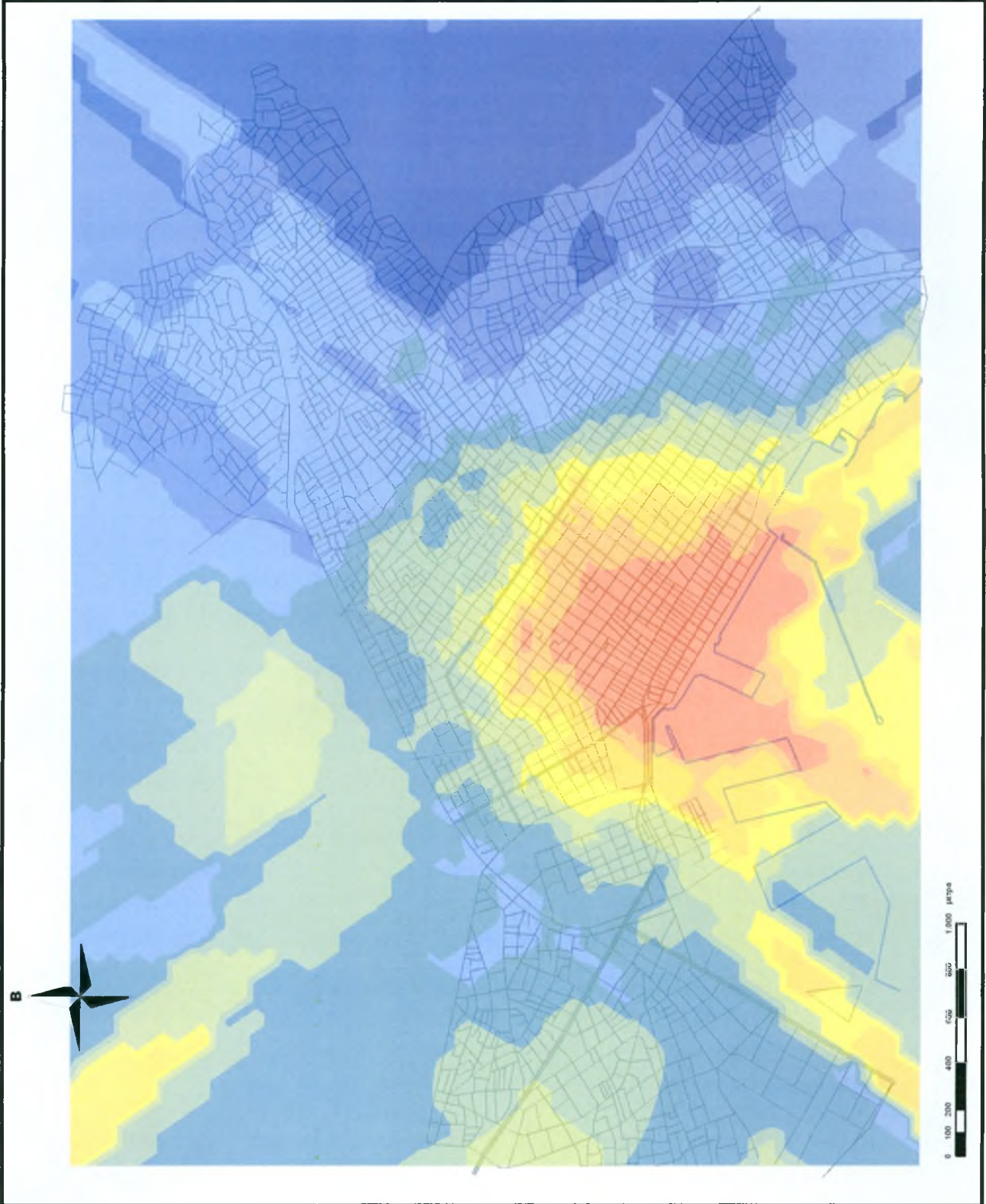
4.8

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



- Κύριοι οδικοί άξονες
- Λοιπό οδικό δίκτυο
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
 ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
 ΗΠΙΣΤΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΩΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ
 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
 ΑΣΦΟΔΤΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διευθυντής: Σταυρίδης

ΣΧΕΤΗΣ ΠΑΡΑΔΟΤΗΤΩΝ
 ΟΡΙΟ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ 1,93

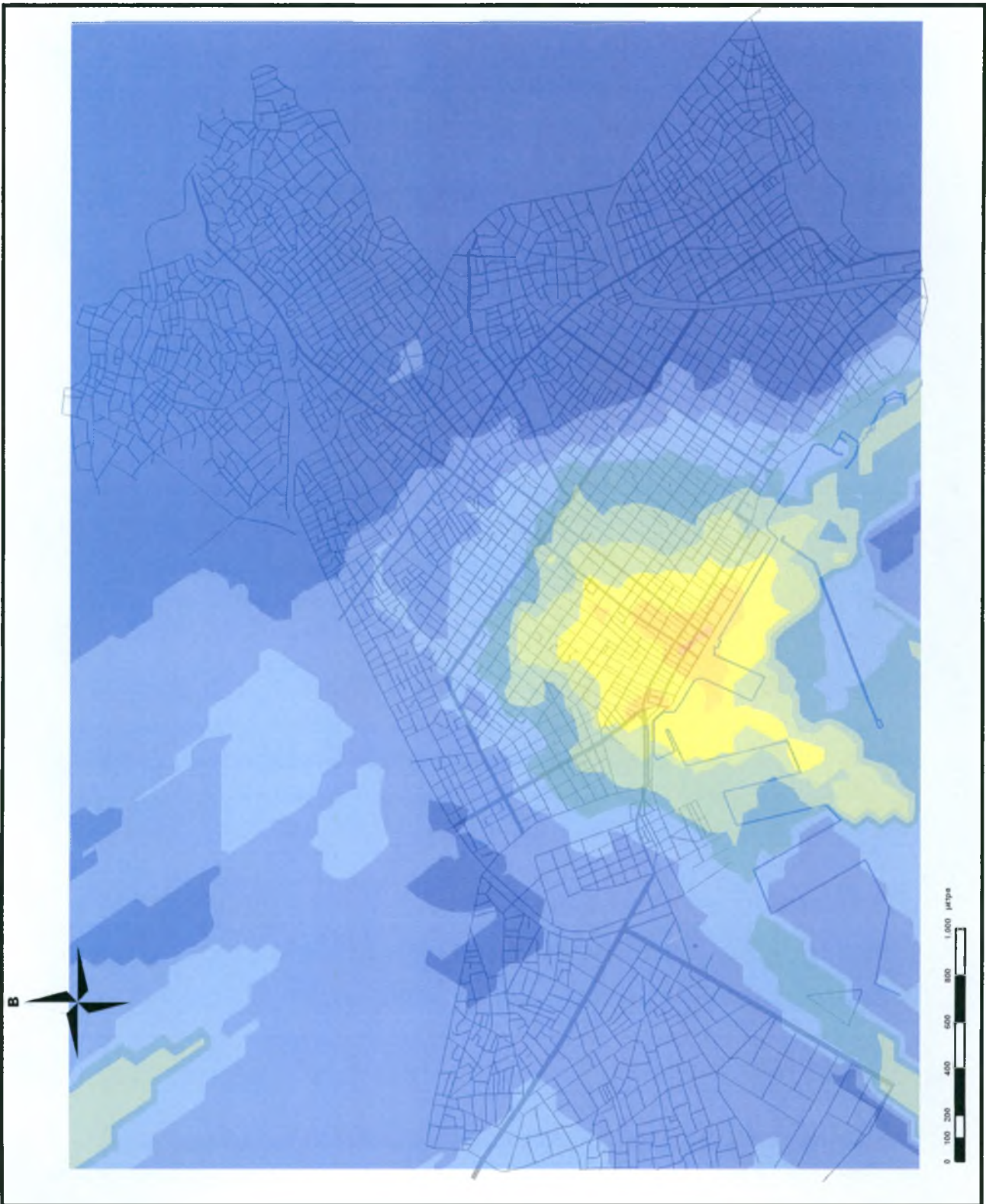
4.9

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 0,05 - 0,11
- 0,11 - 0,17
- 0,17 - 0,22
- 0,22 - 0,28
- 0,28 - 0,34
- 0,34 - 0,39
- 0,39 - 0,45
- 0,45 - 0,51
- 0,51 - 0,57
- 0,57 - 0,62

- Κύριοι οδικοί άξονες
- Λοιποί οδικοί δίκτυο
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΠΛΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΧΑΡΤΗΣ ΑΝΑΔΟΧΗΣ ΤΗΣ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΑΞΙΟΦΡΕΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαργαρίτης Ευσταθίου

ΧΑΡΤΗΣ ΠΟΣΟΣΤΩΣΗΣ

Q1 = 0,25

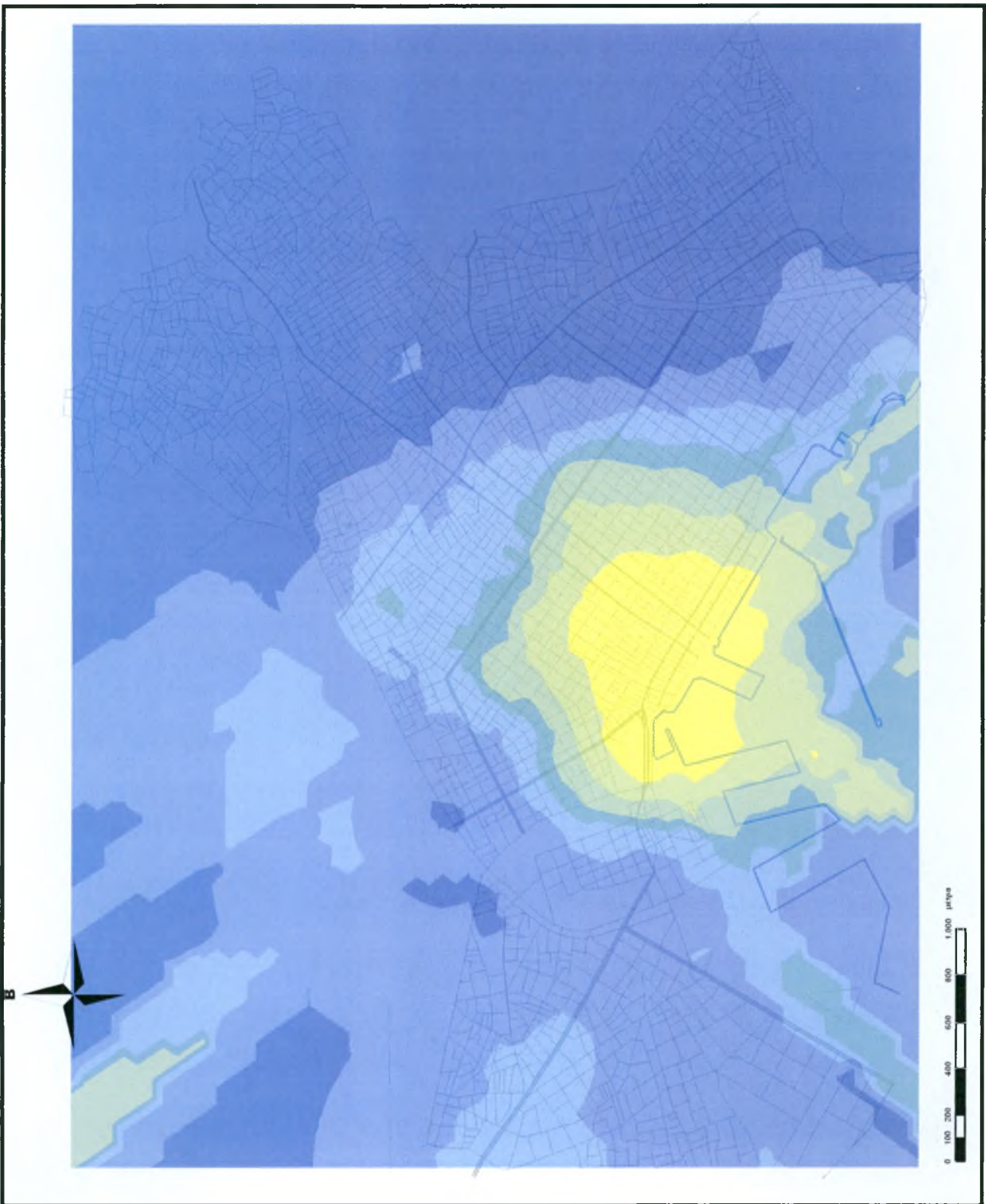
4.10

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 1.21 - 1.32
- 1.32 - 1.40
- 1.40 - 1.46
- 1.46 - 1.50
- 1.50 - 1.55
- 1.55 - 1.63
- 1.63 - 1.74
- 1.74 - 1.90
- 1.90 - 2.13
- 2.13 - 2.46

- Κύριοι οδικοί άξονες
- Λοιπό οδικό δίκτυο
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
 ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
 ΠΛΗΘΥΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΑΕΡΟΜΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΙΣΤΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ
 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΑΥΞΗΣΗ ΤΕΜΠΕΡΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ
 ΑΞΙΟΒΕΒΗΤΗ ΣΤΑΘΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διευθυντής: Ευσταθίου

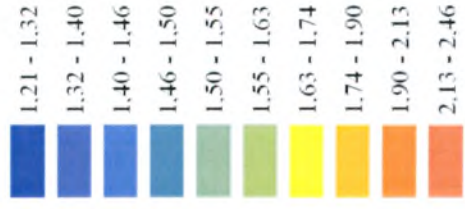
ΧΑΡΤΗΣ ΠΟΣΟΣΤΩΣΗΣ

Q2 = 0.50

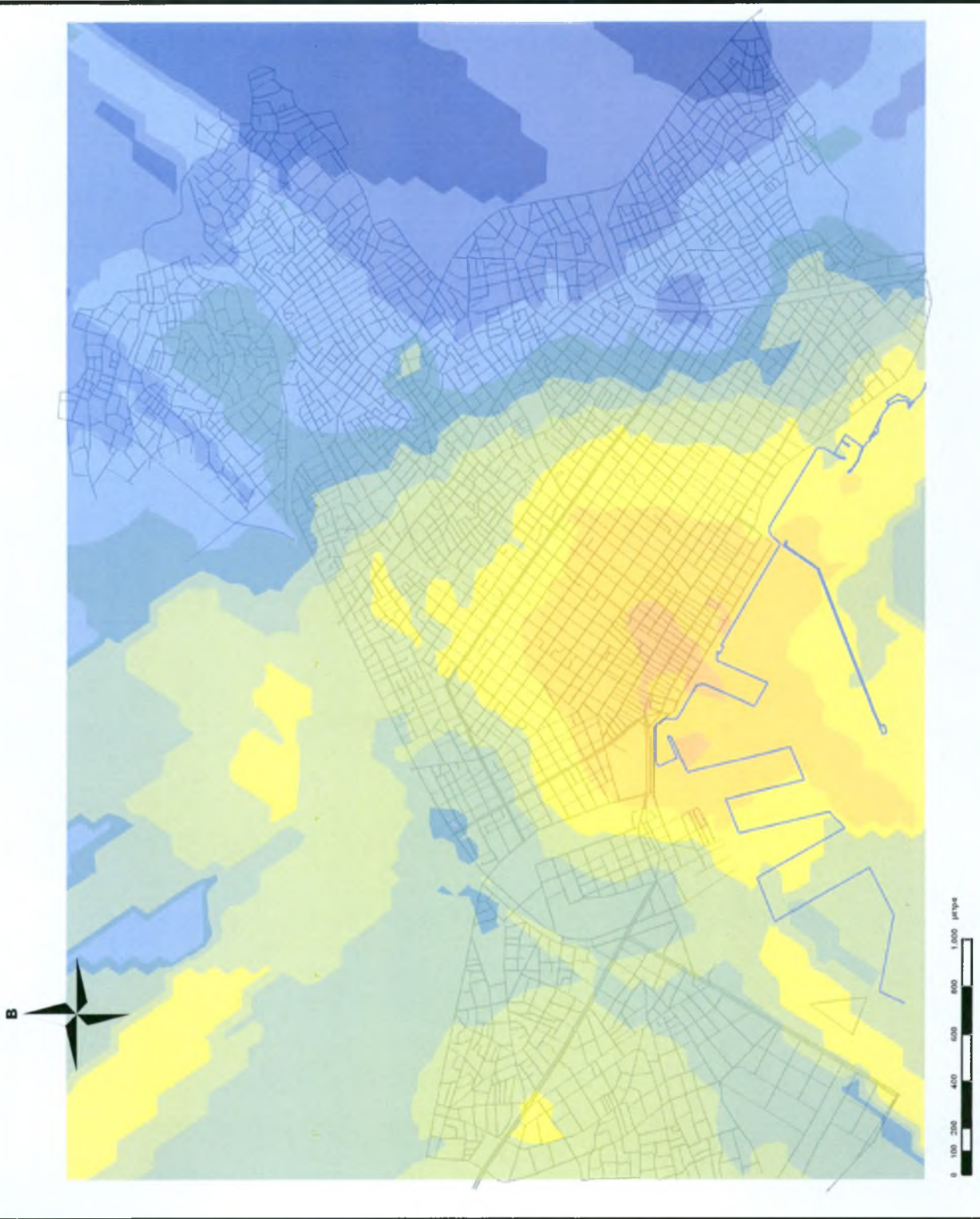
4.11

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



- Κύριοι οδοί άξονες
- Λοιπά οδικά δίκτυα
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΣΙΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΥΤΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ:
ΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διοργάνως: Ευσταθίου

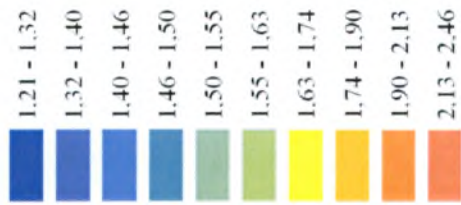
ΧΑΡΤΗΣ ΠΟΛΟΣΤΕΛΕΣΗΣ

Q3 = 0.75

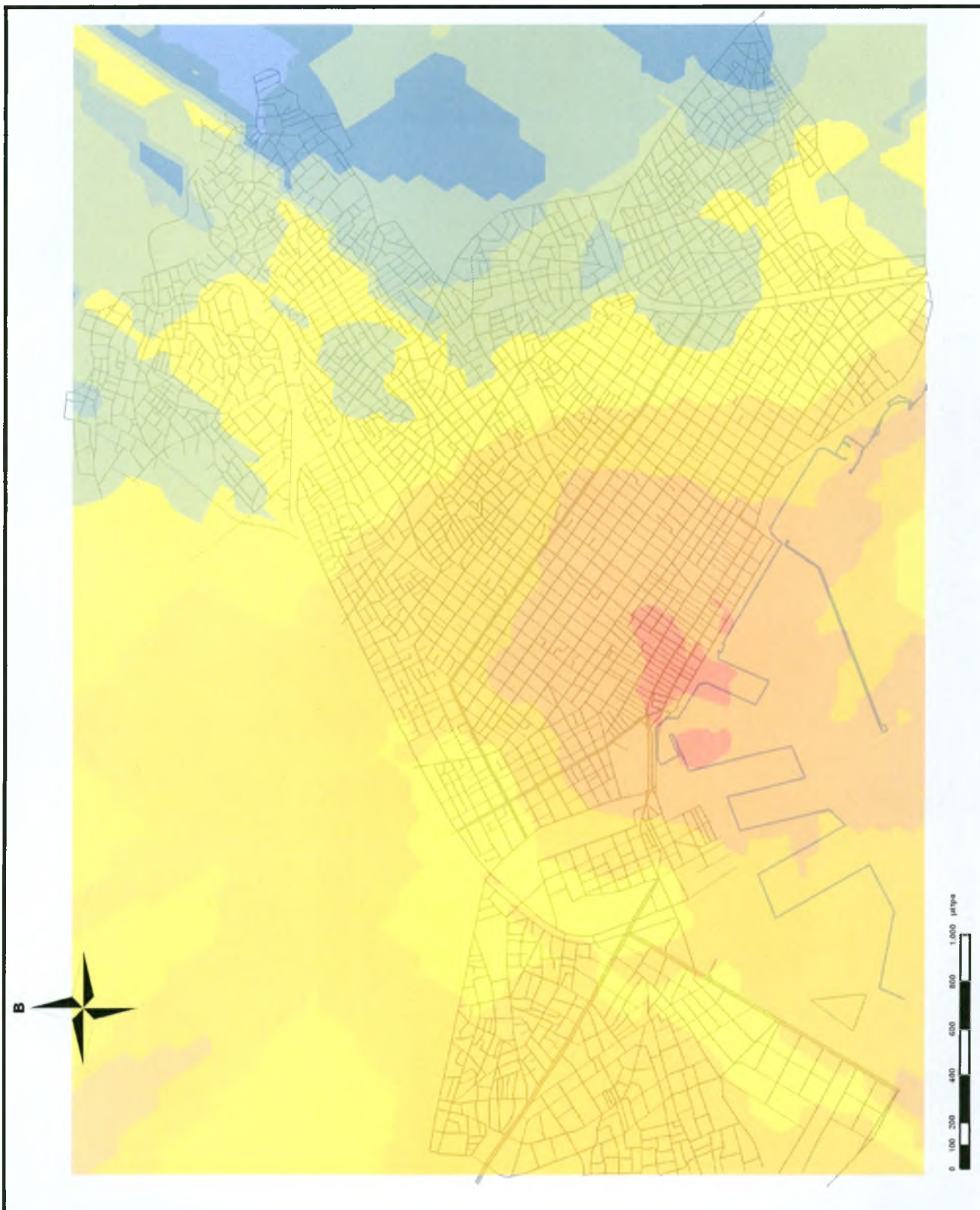
4.12

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Κύριοι οδοί άξονες
Λοιπό οδικό δίκτυο
Ακτογραμμή



4.15 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

Με μία πρώτη ματιά στο σύνολο των χαρτών είναι εμφανές πως τα επίπεδα των συγκεντρώσεων εμφανίζουν αυξητικές τάσεις στο κέντρο της πόλης και σταδιακά διαχέονται όσο απομακρυνόμαστε προς τις γύρω περιοχές.

Ειδικότερα, από τα συνδυασμένα αποτελέσματα των χαρτών πρόβλεψης και πιθανοτήτων παρατηρούμε πως το κεντρικό δαχτυλίδι της ρύπανσης (επίπεδα άνω του 1,90) καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των περιοχών του Αγίου Νικολάου, της Μεταμόρφωσης και ένα μικρό τμήμα προς την περιοχή των Επτά Πλατάνων. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο ότι στο συγκεκριμένο κομμάτι της πόλης βρίσκεται χωροθετημένο το μεγαλύτερο ποσοστό υπηρεσιών και εμπορικών χρήσεων. Παράλληλα διατρέχεται από τους βασικούς οδικούς άξονες της περιοχής (Καρτάλη, Ελ. Βενιζέλου, Ιάσονος, Δημητριάδος, 2ας Νοεμβρίου, Γρ. Λαμπράκη). Επομένως είναι αναμενόμενο να εμφανίζει αυξημένη ροή τόσο σε επίπεδο ανθρώπων όσο και οχημάτων. Λεπτομερέστερες παρατηρήσεις ως προς τα επίπεδα συγκέντρωσης σε αυτή τη ζώνη παίρνουμε από το χάρη πιθανοτήτων 4.9. Τα αποτελέσματα αυτά για όριο υπέρβασης 1,93 αποδεικνύουν πως τη μεγαλύτερη πιθανότητα υπέρβασης της συγκεκριμένης τιμής εμφανίζει η οδός Ιάσονος ανάμεσα στις οδούς Καρτάλη και Ιωλκού. Το συγκεκριμένο τμήμα του οδικού δικτύου δεν επηρεάζεται μόνο από τον αυξημένο φόρτο που δέχεται, αλλά πληροί και χαρακτηριστικά που ανήκουν σε δρόμους τύπου χαράδρας και ευνοούν τις υψηλές συγκεντρώσεις.

Σε γενικές γραμμές οι τέσσερις πρώτες κλάσεις της ρύπανσης (συγκεντρώσεις από 1.63 ως 2.46) κατανέμονται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην επιφάνεια ανάμεσα στην οδό Αναλήψεως και Αργοναυτών (χάρτης 4.8). Εκτός της ζώνης αυτής η διακύμανση της ρύπανσης κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα και κάθε κλάση καταλαμβάνει σταδιακά όλο και μεγαλύτερη έκταση. Η φθίνουσα πορεία των συγκεντρώσεων καθιστά τις περιοχές της Νέας Δημητριάδας, του Καταγάτς και γενικότερα όλων των περιοχών άνωθεν της Γ. Δήμου ως τις πιο «καθαρές». Το συμπέρασμα αυτό έρχεται σαν επιστέγασμα στη γενικότερη τάση που εμφανίζουν οι παρατηρούμενες συγκεντρώσεις για χαμηλότερες τιμές προς τα βόρεια – βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης και διατήρησης σε μέτρια προς υψηλά επίπεδα στα δυτικά προς την πλευρά της Νέας Ιωνίας. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει και η γενικότερη μορφολογία της περιοχής.

Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και από τους χάρτες ποσοτώσεων. Συγκεκριμένα στους 4.11, 4.12 είναι ευδιάκριτη η κεντρική περιοχή έξαρσης του

προβλήματος, η οποία εκτείνεται από την Κ. Καρτάλη ως τη αρχή της 2ας Νοεμβρίου περιλαμβάνοντας του άξονες Ιάσονος και Δημητριάδος.

Στο επόμενο βήμα γίνεται μια περαιτέρω εξειδίκευση της επιφάνειας που δημιουργήθηκε μέσω της χωρικής παρεμβολής (χάρτης 4.4), ώστε να παραχθεί ένα χωρικό υποσύνολο με κύριο χαρακτηριστικό την αυξημένη ανάγκη για παρακολούθηση μέσω κάποιου σταθμού.

4.16 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

4.16.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Για τη χωροθέτηση ενός δικτύου σταθμών μέτρησης πρώτο κριτήριο προσδιορισμού των υποψήφιων περιοχών είναι πως ο προσδιορισμός της τοπικής διακύμανσης, δεδομένου ότι υψηλότερη διακύμανση συνεπάγεται με υψηλότερες συγκεντρώσεις και άρα αυξημένη ανάγκη μέτρησης. Ο υπολογισμός της τοπικής διακύμανσης έγινε με τον παρακάτω τύπο έτσι όπως προτάθηκε από τους Kanaroglou et. al (2004).

$$\gamma(x) = \frac{1}{2} \sum_{h \leq 300m} (z(x) - z(x+h))^2 \quad (2.15)$$

όπου:

$z(x)$: η συγκέντρωση CO στο σημείο x

$z(x+h)$: η συγκέντρωση CO στο σημείο x + h

Η εξίσωση αυτή μοιάζει με εκείνη του βαριογράμματος (Βλ. § 2.10) με τη διαφορά ότι στο βαριόγραμμα υπολογίζονται οι αποστάσεις όλων των σημείων από τα υπόλοιπα, ενώ στον παραπάνω τύπο μόνο τα γειτονικά. Για τον υπολογισμό των παραπάνω μεταβλητών χρειάστηκε να γίνει αναγωγή του αρχικού χάρτη πρόβλεψης (χάρτης 4.4) από σύνολο πολυγώνων (polygon) σε σύνολο σημείων (point) (χάρτης 4.14) (Βλ. και § 2.17). Για τις απαραίτητες μετατροπές χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ET Wizard¹³ σε συνδυασμό με παράλληλες μετατροπές μέσω του εργαλείου Geoprocessing Wizard. Τα σημεία x αντιπροσωπεύουν τα κεντροειδή των φατνίων σε κάρναβο 250 x 250 και επομένως η μεταβλητή $z(x)$ αναφέρεται στη συγκέντρωση CO στο εκάστοτε κεντροειδές. Η ίδια διαδικασία δεν ήταν εύκολο να γίνει για την ποσότητα $z(x+h)$ μέσω του Arc Map και εν τέλει ο υπολογισμός έγινε μέσω γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic. Όσον αφορά την

¹³ Το πρόγραμμα διατίθεται ελεύθερα σε διάφορες ιστοσελίδες και η δυνατότητα μετατροπής αρχείων από μία οντότητα σε άλλη αποτελεί απλά μία από τις δυνατότητές του.

απόσταση h , έχει αποδειχτεί ότι πέρα από την επίδραση των όποιων μετεωρολογικών ή τοπογραφικών παραμέτρων, το 80 – 90% των κυκλοφοριακά παραγόμενων ρύπων συγκεντρώνονται σε μια ακτίνα 150 – 300 μέτρων από τις πηγές τους (Briggs et al. 2000). Για το λόγο αυτό επελέγη η μέγιστη απόσταση εντός της οποίας θα μελετηθούν οι συσχετίσεις τιμών να είναι 300 μέτρα

Με την παραπάνω διαδικασία ουσιαστικά δημιουργείται μια σφαίρα επιρροής για κάθε σημείο του καννάβου και ανάλογα με τις τιμές των γειτονικών σημείων ενισχύεται ή αποδυναμώνεται η σημασία του στην επιλογή των θέσεων με βάση το αρχικό κριτήριο. Τα αποτελέσματα της τοπικής διακύμανσης για το σύνολο της περιοχής μελέτης απεικονίζονται στο χάρτη 4.15.

Οι αλλαγές που παρατηρούνται σε σχέση με το χάρτη 4.14 είναι πως ενώ ενδυναμώνονται τα σημεία του κέντρου, παράλληλα αποδυναμώνονται τα περιφερειακά σημεία και εκείνα που βρίσκονται περιμετρικά της περιοχής μελέτης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια πιο ξεκάθαρη και ρεαλιστική εικόνα του μεγέθους και της χωρικής κατανομής της ρύπανσης εξισσοροπώντας κατ' αυτό τον τρόπο και τα σφάλματα της χωρικής παρεμβολής (π.χ αυξημένες τιμές στη θάλασσα).

4.16.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΒΑΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΩΝ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ

Η απεικόνιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εμφανίζεται ελλιπής αν δεν συνδεθεί με πληθυσμιακά δεδομένα. Για το λόγο αυτό απαιτείται η τροποποίηση της τοπικής διακύμανσης έτσι ώστε να αυξάνεται η ανάγκη καταγραφής των επιπέδων ρύπανσης σε περιοχές με αυξημένη πληθυσμιακή πυκνότητα. Σύμφωνα με τους Kanaroglou et al. 2005 η τροποποίηση της τοπικής διακύμανσης δίνεται από ένα σταθμισμένο δείκτη χωροθετικού πηλίκου ο οποίος είναι της μορφής:

$$W_R = \frac{P_R / P_T}{\gamma_R / \gamma_T} \quad (2.16)$$

όπου P_R είναι ο πληθυσμός του κάθε οικοδομικού τετραγώνου και P_T ο συνολικός πληθυσμός για την περιοχή μελέτης. Αντίστοιχα γ_R είναι η τοπική διακύμανση για κάθε κεντροειδές του καννάβου, ενώ γ_T η συνολική διακύμανση για την περιοχή μελέτης.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΕΧΝΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
 ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΛΗΘΥΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ
 ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΣΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΦΟΡΙΚΩΝ
 ΜΑΡΟΒΕΤΗΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διοργάντης: Ευστάθιος

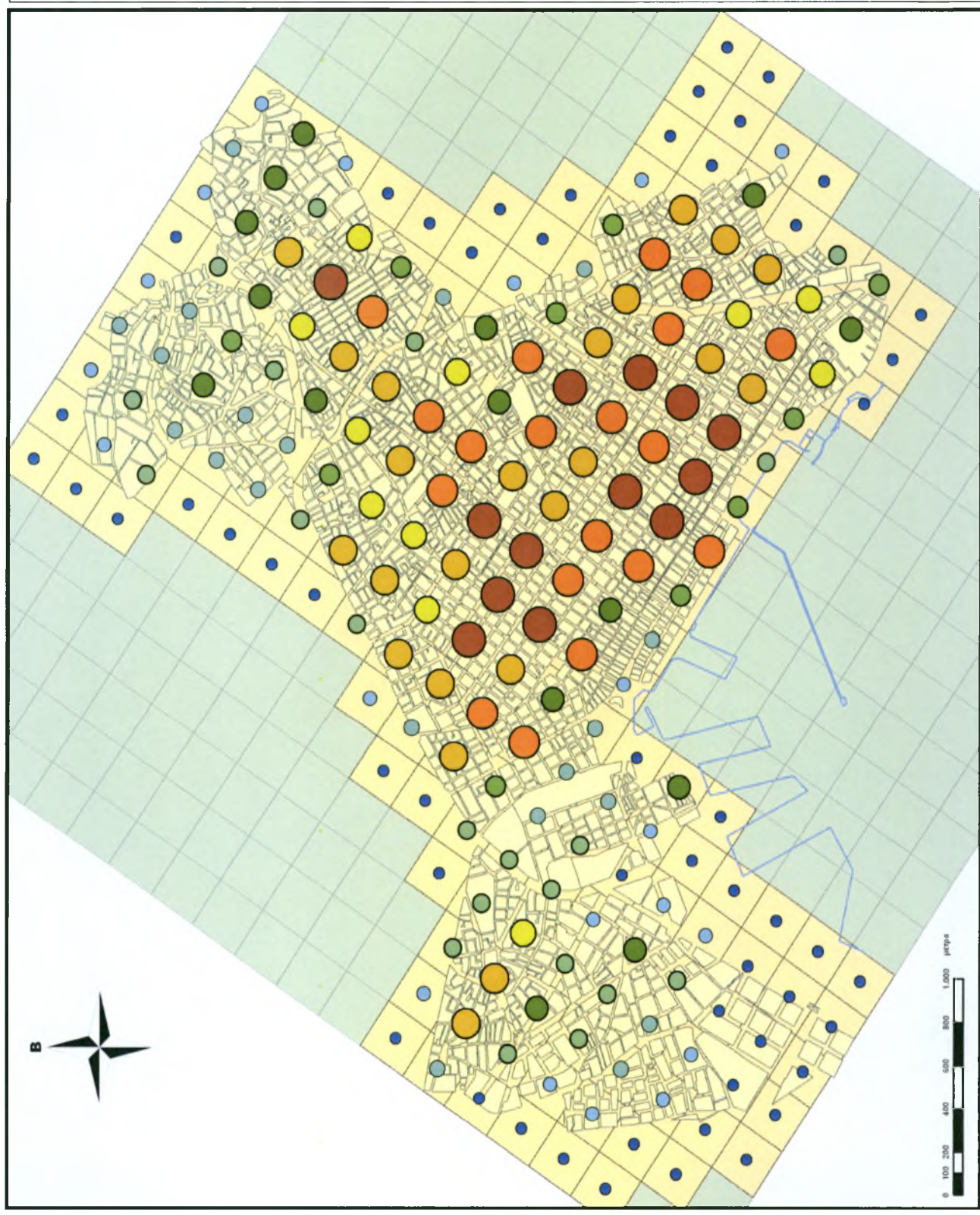
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΤΙΟΥ

4.13

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΗΜΑ

- 0 - 23
- 24 - 77
- 78 - 175
- 176 - 253
- 254 - 335
- 336 - 415
- 416 - 533
- 534 - 629
- 630 - 857
- 858 - 1091
- Οικοδομικά τετράγωνα
- Κώνυφος 250 x 250
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΑΣ
 Κ.Α.Π. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
 ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ
 ΑΓΓΙΣΤΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΔΡΗΣΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
 ΔΡΟΜΟΕΤΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαργαρίτης Ελισάβετος

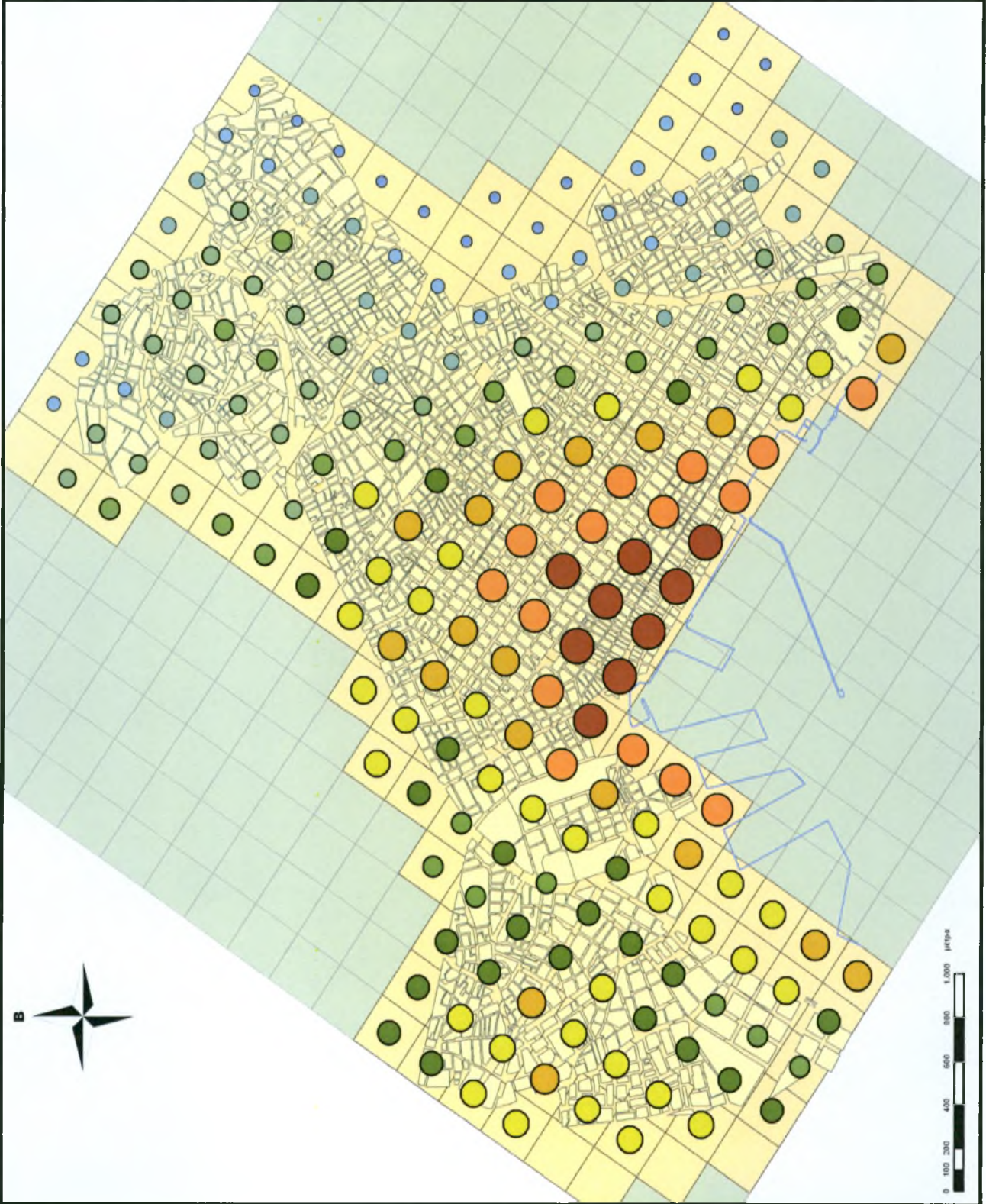
ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ
 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ CO

4.14

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 1,21 - 1,32
 - 1,32 - 1,40
 - 1,40 - 1,46
 - 1,46 - 1,50
 - 1,50 - 1,55
 - 1,55 - 1,63
 - 1,63 - 1,74
 - 1,74 - 1,90
 - 1,90 - 2,13
 - 2,13 - 2,46
- Οικοδομικά τετράγωνα
 Κόμβος 250 x 250
 Ακτογραμμή



Για να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς με τους υπόλοιπους χάρτες σε κάρναβο 250 x 250 έγινε αναγωγή των πληθυσμών των οικοδομικών τετραγώνων σε αντίστοιχες σημειακές οντότητες. Επιπλέον για να αποφευχθεί ο κίνδυνος δημιουργίας περιττής και μη διαχειρίσιμης πληροφορίας, τα κεντροειδή των οικοδομικών τετραγώνων κατατάχθηκαν στα πλησιέστερά κεντροειδή των φατνίων του καννάβου (Εικόνα 4.27) . Αυτή η παραδοχή μπορεί να απέχει από την πραγματικότητα, όμως δεδομένου του μεγέθους του καννάβου, η απόκλιση δεν αναμένεται να επηρεάσει τη γενική εικόνα της περιοχής.

Εικόνα 4.27: Τα κεντροειδή των οικοδομικών πριν την κατάταξη τους στα αντίστοιχα του καννάβου



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Από τα τελικά αποτελέσματα του χάρτη 4.16 παρατηρείται μια γενική μετατόπιση των περιοχών με μεγαλύτερη ανάγκη παρακολούθησης προς τα βόρεια και ανατολικά της περιοχής μελέτης αποδυναμώνοντας το ως τώρα ισχυρό κέντρο. Με βάση τα νέα δεδομένα του σταθμισμένου συντελεστή μπορούμε να προχωρήσουμε στη χωροθέτηση των σταθμών με βάση το υπόδειγμα του p – διάμεσου.

4.16.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ P – ΔΙΑΜΕΣΟΣ

Η εφαρμογή του υποδείγματος p – διάμεσος έγινε με το πρόγραμμα S- Distance, που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Χωρικής Ανάλυσης, G.I.S. και Θεματικής Χαρτογραφίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας¹⁴. Με βάση τα δεδομένα της εφαρμογής, αυτό που επιδιώκεται είναι η χωροθέτηση τριών κέντρων σε ένα δοσμένο δίκτυο 206 κόμβων

¹⁴ Το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί από τον υποψήφιο διδάκτορα, Σπύρο Σταύρο και διατίθεται ελεύθερα μέσω της ηλεκτρονικής διεύθυνσης http://www.prd.uth.gr/res_labs/spatial_analysis/software/SdHome.asp

(κεντροειδή), έτσι ώστε η κατανομή των υπόλοιπων 203 κόμβων σε αυτά να γίνει με τρόπο τέτοιο που να ελαχιστοποιείται η συνολική απόσταση μετακίνησης τους. Ως δεδομένο εισόδου χρησιμοποιήθηκε το σημειακό αρχείο των κεντροειδών και σαν μεταβλητή βάρους επελέγη ο σταθμισμένος συντελεστής ρύπανσης – πληθυσμού.

Ο αριθμός των τριών κέντρων δεν είναι τυχαίος, αλλά βασίζεται σε σχετικές μελέτες (McBratney et al. 1981) που έχουν αποδείξει πως η «εξώθηση» των σταθμών σε διάρθρωση κανονικού τριγώνου, προσφέρει το βέλτιστο δειγματοληπτικό πρότυπο για μία περιοχή κατά την εφαρμογή μιας στοχαστικής διαδικασίας.

Αρχικά βέβαια, για να συνδέσουμε τη θεωρητικά ιδανική κατάσταση με την υπάρχουσα, το υπόδειγμα υπολογίζει τη χωρική εμβέλεια των δύο υπάρχοντων σταθμών - κέντρων (Νομαρχίας και ΔΕΥΜΑΒ) για τους εναπομείναντες 204 κόμβους (χάρτης 4.19), καθώς και τη βέλτιστη λύση για την προσθήκη ενός ακόμη σταθμού (χάρτης 4.18). Οι παραπάνω λύσεις βασίζονται αποκλειστικά και μόνο στον υπολογισμό των ευκλείδειων αποστάσεων χωρίς βάρη. Εν τέλει οι ιδανικές θέσεις με βάση τα σταθμισμένα βάρη των σημείων, αποτυπώνονται στο (χάρτη 4.17). Η χωρική κατανομή των κέντρων και των αντίστοιχων κόμβων γίνεται περισσότερο κατανοητή μέσω του συγκεντρωτικού πίνακα 4.16.

Πίνακας 4.16: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Σενάρια	Κέντρα	Αριθμός σημείων που κατανέμονται σε κάθε σταθμό	Συνολικά διανυόμενη απόσταση (μ)	Συνολικό κατανεμημένο βάρος σε κάθε σταθμό μέτρησης	
Μηδενικό	(2) υπάρχοντα	K1	59	16.124	19
		K2	145	230.037	159
		Σύνολο	204	246.161	178
1	(3) 2 υπάρχοντα + 1 νέο	K1	59	16.124	19
		K2	41	23.202	39
		K3	103	111.980	119
		Σύνολο	203	151.307	178
2	(3) (σταθμισμένος συντελεστής)	K1	61	31.957	52
		K2	56	44.114	74
		K3	86	39.932	52
		Σύνολο	203	116.002	178

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Συγκεκριμένα από το κριτήριο της συνολικά διανυόμενης απόστασης, είναι φανερό πως ανάμεσα στις δύο χωροθετήσεις με τρεις σταθμούς μέτρησης (Σενάρια 1, 2) η απόσταση ελαχιστοποιείται για τη λύση του σταθμισμένου συντελεστή έχοντας εξοικονομήσει συνολικά 130.159 μέτρα. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τις κατά προσέγγιση προτεινόμενες θέσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 4.17 και απεικονίζονται στο χάρτη 4.20.

Πίνακας 4.17: Βέλτιστες θέσεις με βάση το μοντέλο p – διάμεσος

Σενάρια	Κέντρα		Θέση
Μηδενικό	(2) υπάρχοντα	K1	Λαμπράκη - Σαρανταπόρου (ΔΕΥΜΑΒ)
		K2	Βασσάνη - Α. Γαζή Νομαρχία
1	(3) 2 υπάρχοντα + 1 νέο	K1	Λαμπράκη - Σαρανταπόρου (ΔΕΥΜΑΒ)
		K2	Βασσάνη - Α. Γαζή Νομαρχία
		K3	Μεταξύ Αναλήψεως και Γ. Δήμου ανάμεσα Πλησίον της Κασσαβέτη
2	(3) (σταθμισμένος συντελεστής)	K1	Ανάμεσα σε Ιωλκού και Προμηθέως (άνωθεν Περιφερειακού)
		K2	Πλησίον της οδού Κασσαβέτη μεταξύ των οδών Κωνσταντά και Ρήγα Φεραίου
		K3	Πλησίον της οδού Παγασών μεταξύ των οδών Κωνσταντά και Α. Γαζή

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Οι παραπάνω λύσεις προσεγγίζονται με βάση τους πλησιέστερους κεντρικούς δρόμους διότι όπως είναι φυσικό μία αυστηρή προσέγγιση λαμβάνοντας υπόψη αποκλειστικά και μόνο τις συντεταγμένες βάση του υποδείγματος είναι κοντόφθαλμη και μη λειτουργική. Επιπλέον αν θεωρήσουμε πως η συγκεκριμένη πρόταση περνούσε σε φάση υλοποίησης για οποιοδήποτε από τα δύο σενάρια, τότε θα έπρεπε να εξεταστούν και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι θα συνδυάζουν τη διαθεσιμότητα ελεύθερων χώρων με τα προαναφερθέντα κριτήρια μακρο και μικρο χωροθέτησης (Βλ. § 4.6). Εντούτοις το μέγεθος της περιοχής μελέτης είναι τέτοιο που οι δυνατές λύσεις είναι αρκετά περιορισμένες σε σχέση με τις θεωρητικές λύσεις.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΕΡΟΓΙΑΣΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ
 ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
 ΠΛΑΝΟΤΑΚΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΛΙΒΟ ΠΟΛΙΤΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ
 ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΔΡΗΣΗ ΤΕΡΑΤΟΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
 ΑΣΦΟΔΤΗΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διοργάνως: Εισαγωγίως

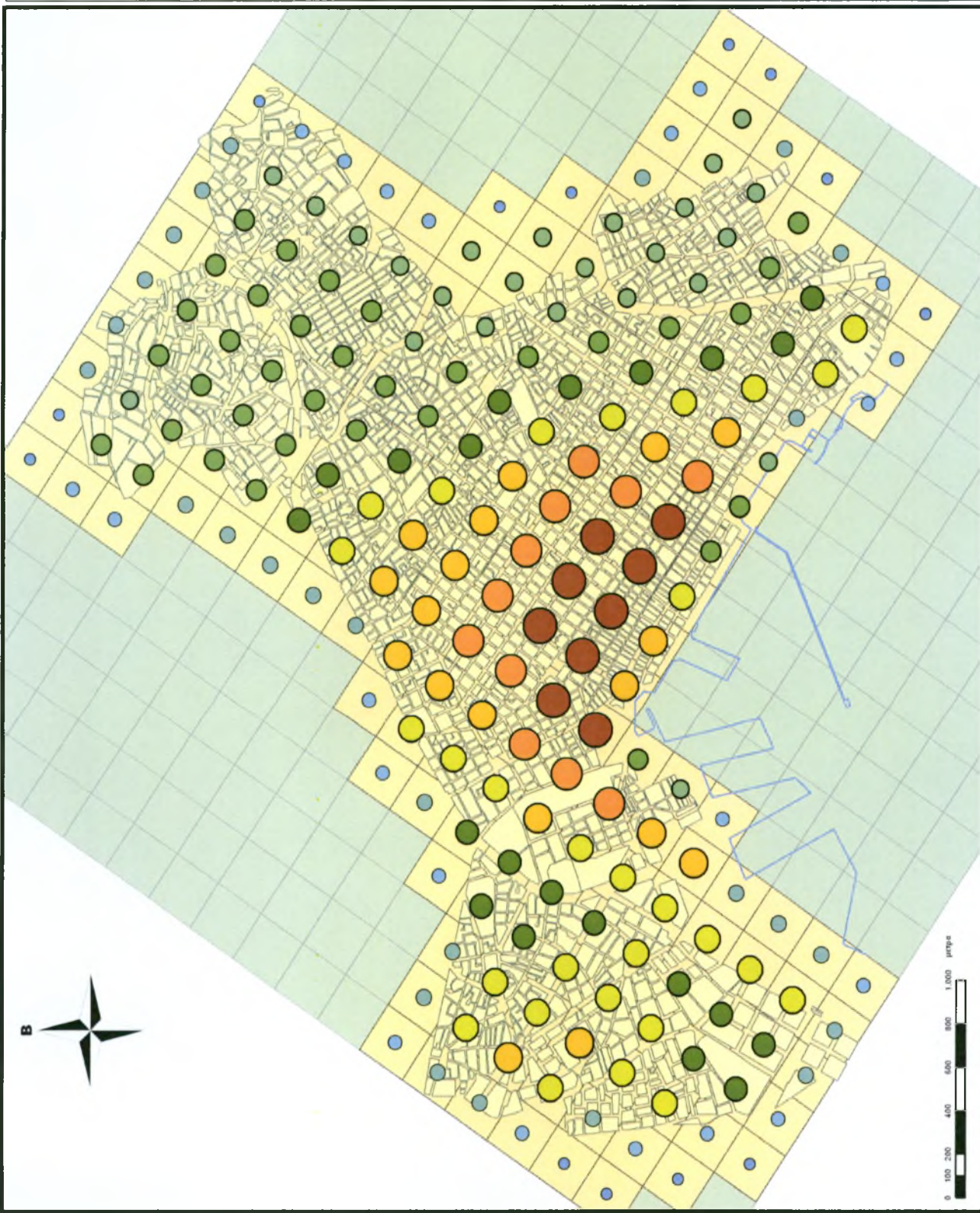
ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ
 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΣ CO
 ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ

4.15

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 2.7 - 19,6
- 19,7 - 31,9
- 32,0 - 45,5
- 45,6 - 54,4
- 54,5 - 58,7
- 58,8 - 63,6
- 63,7 - 67,9
- 68,0 - 74,0
- 74,1 - 84,1
- 84,2 - 103,3
- Οικοδομικά τετράγωνα
- Κώνσβος 250 x 250
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
 ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΑΠΘΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
 ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΓΥΠΛΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
 ΔΡΗΣΗ ΓΕΜΠΡ-ΦΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
 ΑΣΡΟΦΩΤΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Μαθηστές: Ευσταθίου

ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

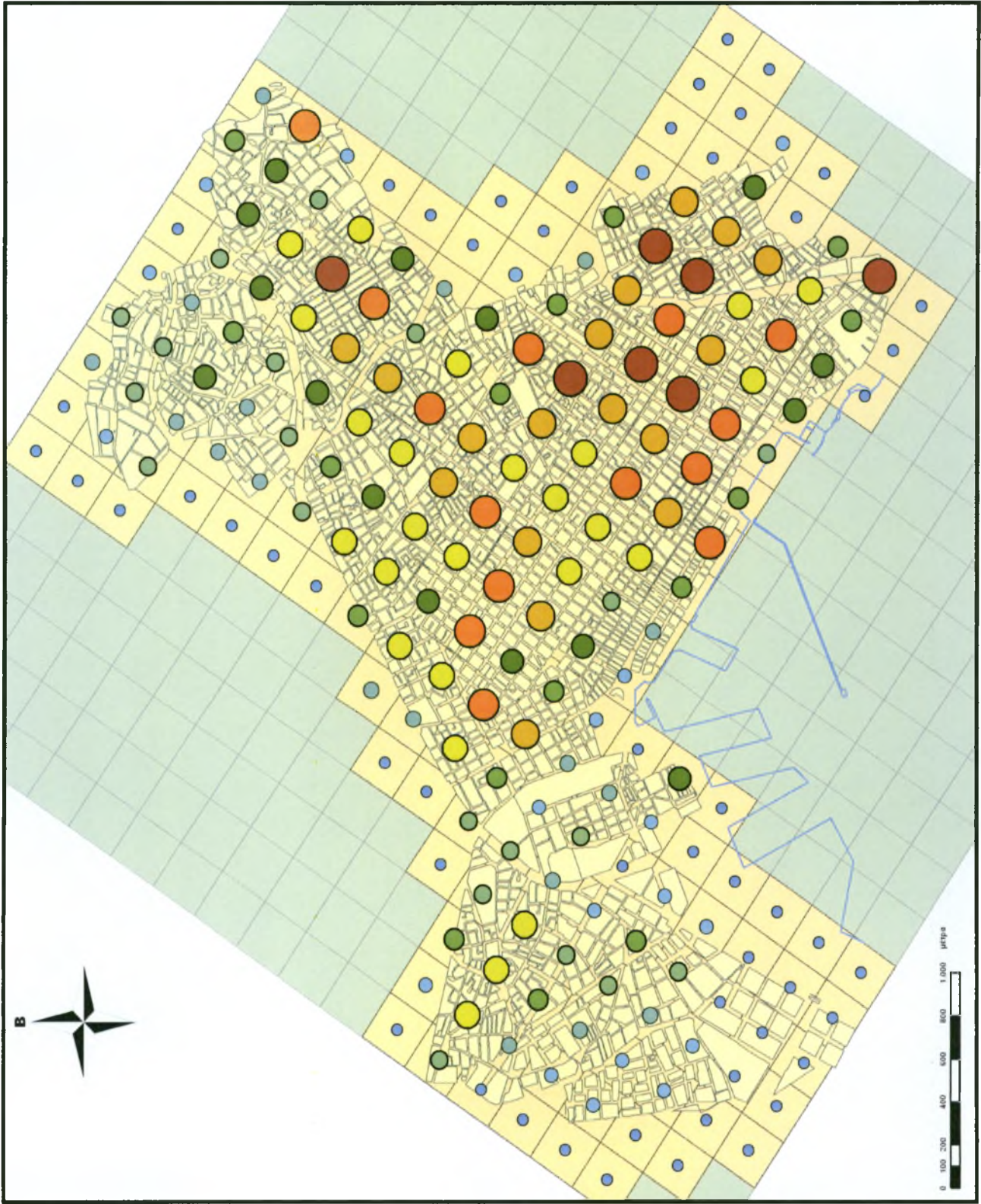
ΤΙΜΕΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ
 ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ - ΡΥΠΑΝΣΗΣ

4.16

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 0,00 - 0,07
- 0,08 - 0,28
- 0,29 - 0,50
- 0,51 - 0,76
- 0,77 - 1,05
- 1,06 - 1,33
- 1,34 - 1,69
- 1,70 - 2,07
- 2,08 - 2,47
- 2,48 - 3,07
- Οικοδομικά τετράγωνα
- Κόμβος 250 x 250
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΟΛΕΟΜΟΧΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΜΠ.ΙΣΠ.ΛΙΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΛΕΒΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΑΣΡΙΚΗΣ ΑΝΑΔΥΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΓΙΟΣΦΗΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΑΥΞΗΣΗ ΤΕΤΡΑΦΟΙΚΩΝ ΣΤΕΓΗΛΙΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ:
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΠΕΡΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ
Μαργαρίτης Ελευθέρας








ΜΗΛΑΕΡΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

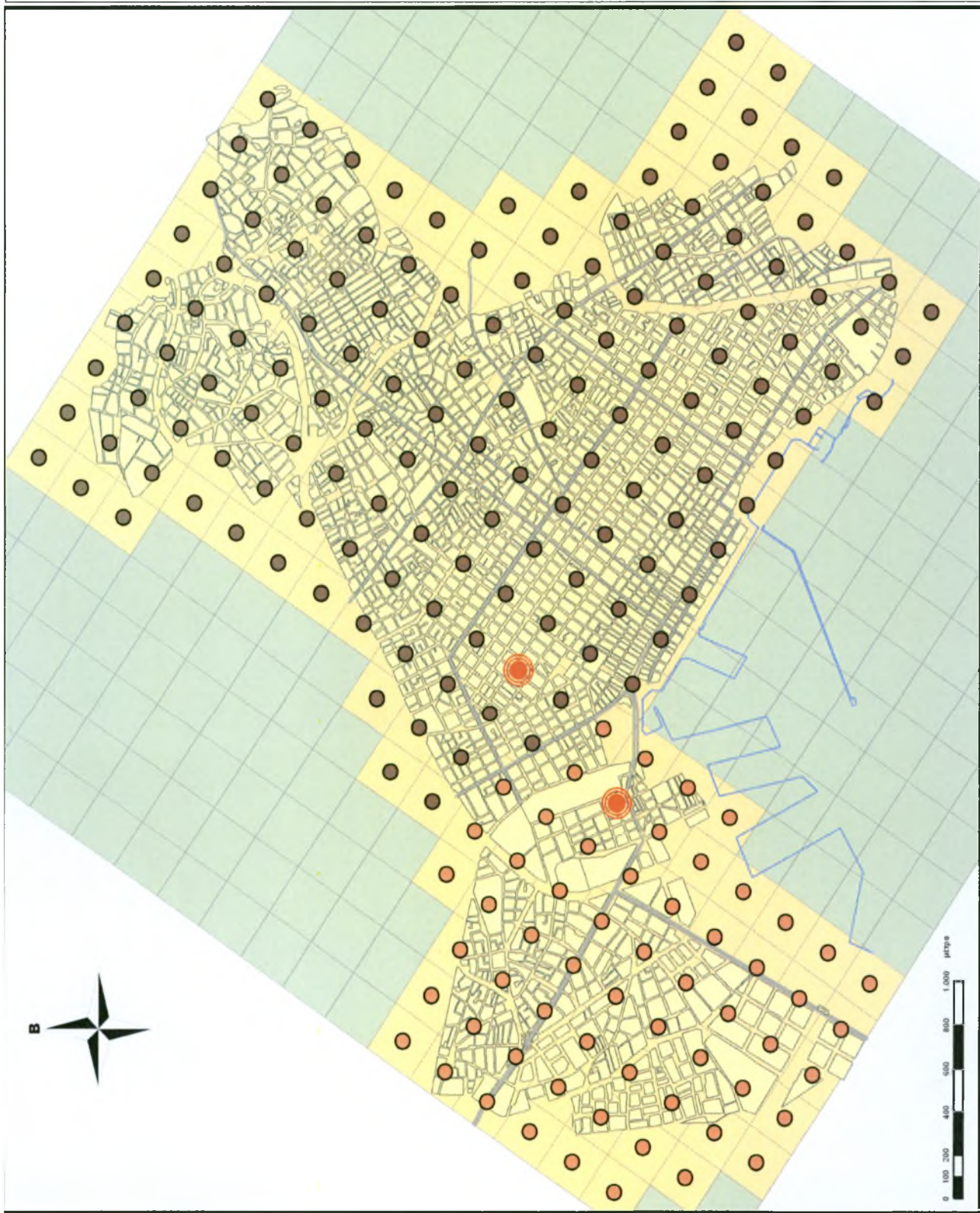
ΠΕΡΙΟΝΕΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ
ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

4.19

ΒΟ.ΙΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Θέσεις
-  Περιοχή κάλυψης 1
-  Περιοχή κάλυψης 2
-  Οικοδομικά τετράγωνα
-  Κάνναβος 250 x 250
-  Κύριοι οδοί άξονες
-  Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΑΣΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΥΡΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΙΚΕΝ ΠΕΡΙΧΩΡΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΛΥΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΑΥΡΟΘΕΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Διευθυντής: Ευστάθιος

ΣΕΝΑΡΙΟ 1

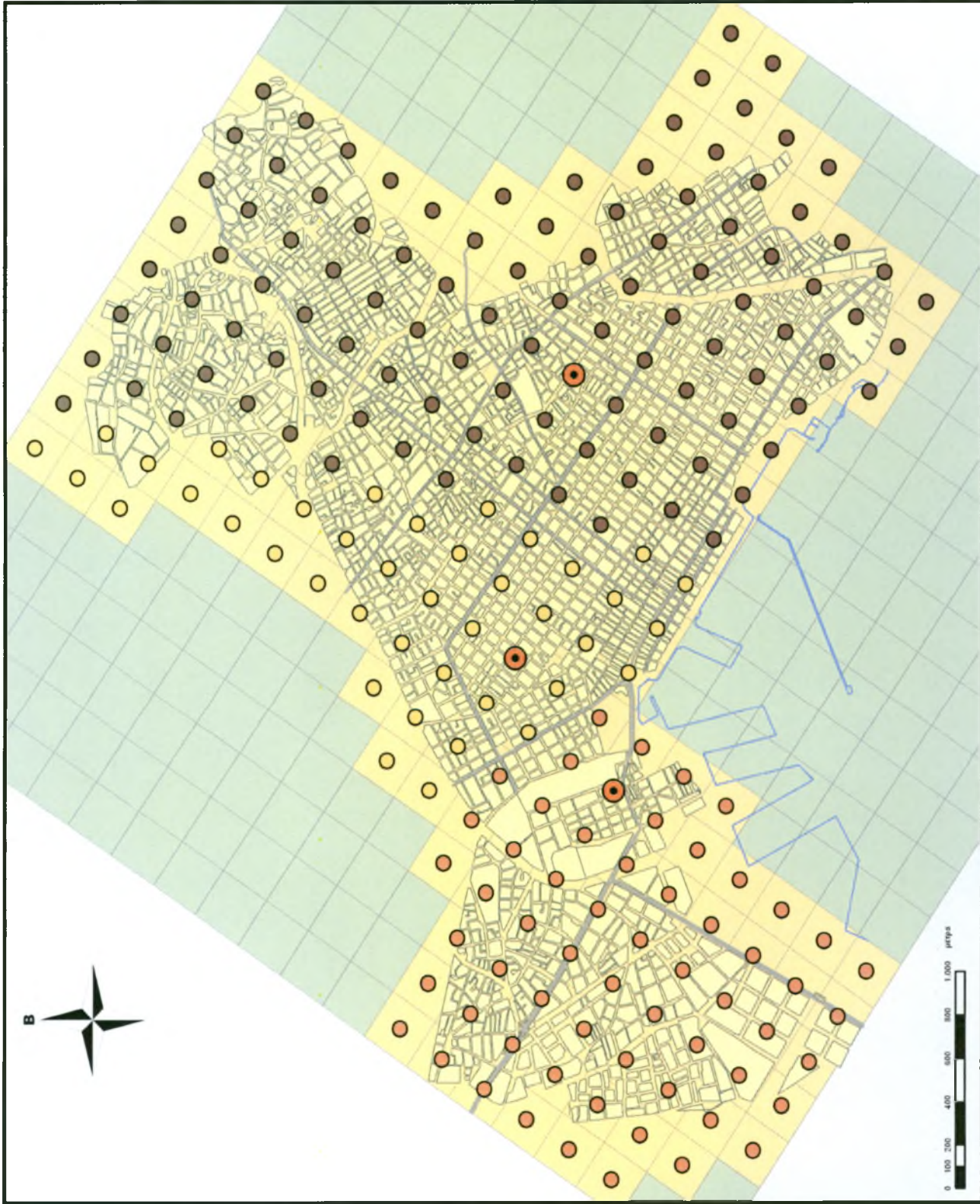
ΧΑΡΤΟΘΕΤΗΣΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ
ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΗΛΗ ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ

4.18

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Θέσεις
- Περιοχή κάλυψης 1
- Περιοχή κάλυψης 2
- Περιοχή κάλυψης 3
- Οικοδομικά τετράγωνα
- Κώνσφος 250 x 250
- Κίριοι οδοί άξονες
- Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΛΗΠΙΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕΣΧΟΙΟΥ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓ. ΠΟΛΙΕΝ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟ ΙΟΤΛΑ GIS

Μαθησικός: Ευστάθιος









ΣΧΕΔΙΟ 2

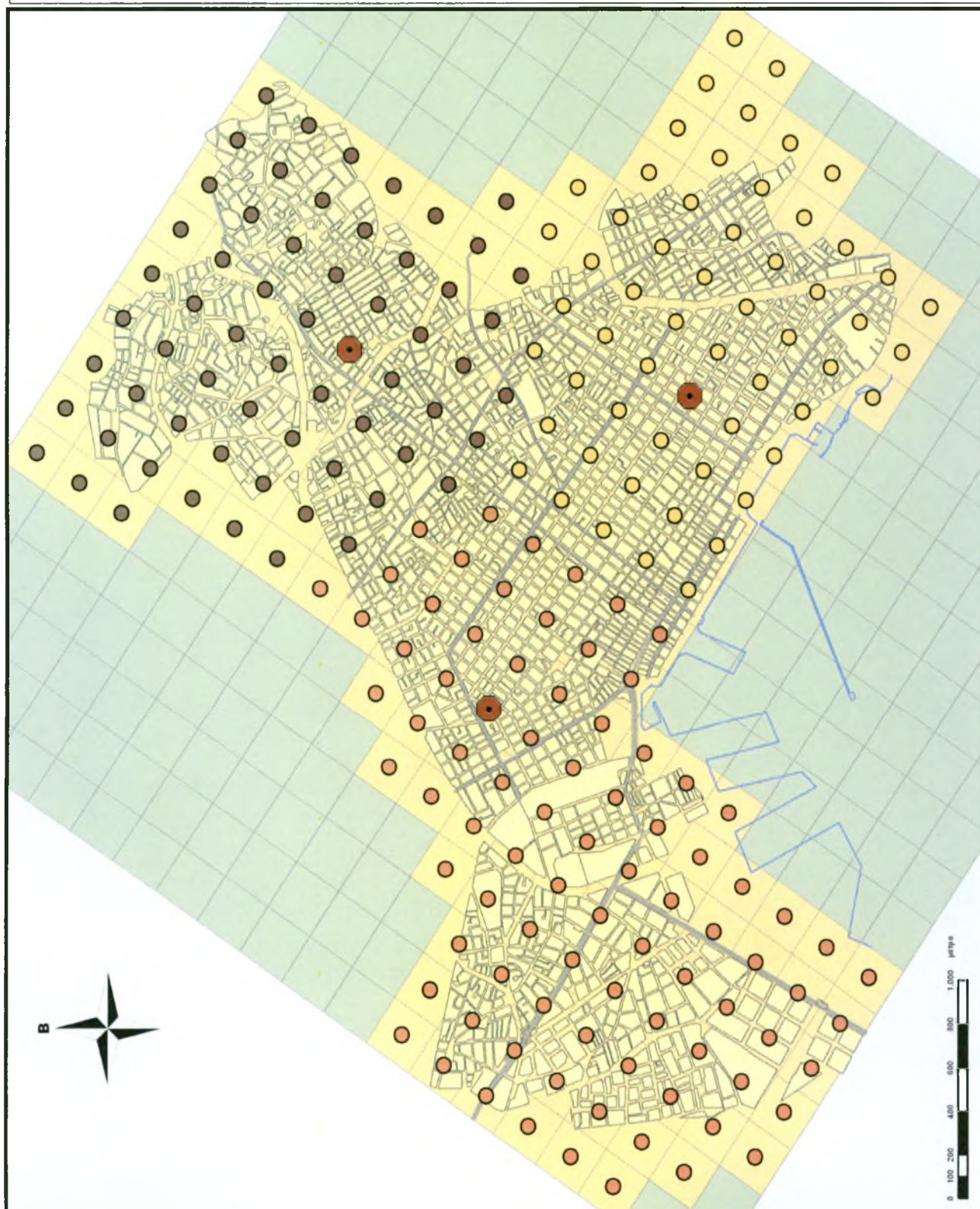
ΧΑΡΤΟΘΕΤΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΝΕΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΥΦΥΝΗΣ ΤΟΥΣ

4.17

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Θέσεις
-  Περιοχή ευθύνης 1
-  Περιοχή ευθύνης 2
-  Περιοχή ευθύνης 3
-  Οικοδομικά τετράγωνα
-  Κάνναβος 250 x 250
-  Κύριοι οδοί άξονες
-  Ακτογραμμή



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ
ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΔΡΗΣΗ ΓΕΩΤΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ








Μαργαρίτης Ευστάθιος

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ
ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

4.20

ΒΟΛΟΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Μηδενικό σενάριο
-  Σενάριο 1
-  Σενάριο 2
-  Οικοδομικά τετράγωνα
-  Κάνναβος 250 x 250
-  Κύριοι οδοί άξονες
-  Ακτογραμμή



4.17 ΣΥΝΟΨΗ

Όσον αφορά τα γενικά επίπεδα των ρύπων στην πόλη του Βόλου, έχει αποδειχτεί πως η γεωμορφολογία και μετεωρολογία της περιοχής ευνοούν τα υψηλά ποσοστά άπνοιας και γενικά θεωρούνται ευνοϊκές για τη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης

Τα συμπεράσματα που είναι δυνατόν να εξαχθούν από το σύνολο της παρούσας εργασίας για την περιοχή μελέτης διακρίνονται σε τρεις επιμέρους ενότητες. Η πρώτη αφορά στα συμπεράσματα χρονικών διακυμάνσεων των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα με βάση τα δεδομένα των μετρήσεων πεδίου. Η δεύτερη αναφέρεται στα αποτελέσματα των χωρικών διακυμάνσεων που απεικονίστηκαν με τη χρήση της χωρικής παρεμβολής και η Τρίτη παρουσιάζει τη μεθοδολογία βέλτιστης χωροθέτησης δικτύου σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα των χρονικών διακυμάνσεων κατέστη σαφές πως οι συγκεντρώσεις του CO μεταβάλλονται με βάση το ωράριο εργασίας παρουσιάζοντας εξάρσεις κατά τις πρωινές (8:00 – 11:00), μεσημεριανές (13:00 – 15:00) και απογευματινές (18:00 +) ώρες και αντίστοιχα κοιλώματα στα ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα. Επιπλέον διαπιστώθηκε η φθίνουσα σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα επίπεδα του CO και την απόσταση από το κέντρο της πόλης, μέσω των συνολικών συγκεντρώσεων σε κάθε τομέα μελέτης. Χαρακτηριστικά οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εμφανίζονται από τις πρωινές ως τις μεσημεριανές ώρες. Τέλος, φάνηκε πως τα συνολικά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις του ωραρίου λειτουργίας των καταστημάτων κατά τη διάρκεια της εβδομάδας, αφού τα απογεύματα των μη εργάσιμων ημερών παρατηρήθηκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες εργάσιμες ημέρες.

Τα αποτελέσματα στο στάδιο της χωρικής παρεμβολής μέσα από το σύνολο των παραχθέντων χαρτών έδειξαν πως οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (επίπεδα άνω του 1.90), καλύπτουν τις συνοικίες του Αγίου Νικολάου, της Μεταμόρφωσης και ένα μικρό τμήμα προς της περιοχής των Επτά Πλατάνων. Το γεγονός αυτό σχετίζεται άμεσα με τις υφιστάμενες χρήσεις τριτογενούς χαρακτήρα, τον υψηλό Συντελεστή Δόμησης των συνοικιών αυτών (2,70 και 2,40), όπως επίσης και με το μικρό πλάτος των δρόμων, στοιχεία που συνθέτουν ευνοϊκές καταστάσεις για την αύξηση των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα. Συμπληρωματικά, τα στοιχεία του χάρτη πιθανοτήτων έδειξαν πως τη μεγαλύτερη πιθανότητα υπέρβασης του ορίου των 1.93 mg/m³ παρουσιάζει η οδός Ιάσονος ανάμεσα στις οδούς Κ. Καρτάλη και Ιωλκού. Το συγκεκριμένο τμήμα του οδικού δικτύου δεν επηρεάζεται

μόνο από τον αυξημένο φόρτο που δέχεται, αλλά πληροί και χαρακτηριστικά που ανήκουν σε δρόμους τύπου οδικής χαράδρας και ευνοούν τις υψηλές συγκεντρώσεις. Σε γενικές γραμμές τα επίπεδα ρύπανσης από 1.63 mg/m^3 ως 2.46 mg/m^3 κατανέμονται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην επιφάνεια ανάμεσα στην οδό Αναλήψεως και Αργοναυτών (χάρτης 4.8). Τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφάνισαν οι περιοχές προς τα βόρεια – βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης με «καθαρότερες» αυτές της Νέας Δημητριάδας, του Καταγάτς και γενικότερα όλων των περιοχών άνωθεν της Γ. Δήμου. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει βέβαια και η γενικότερη μορφολογία της περιοχής.

Στο στάδιο της χωροθέτησης τα αποτελέσματα του σταθμισμένου δείκτη ρύπανσης – πληθυσμού απέδειξαν πως το βάρος στην καταγραφή των επιπέδων ρύπανσης δεν προσανατολίζεται τόσο στο κεντρικό τμήμα της πόλης, όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις (χάρτης 4.15), αλλά είναι μετατοπισμένο προς την περιοχή του Αγ. Κωνσταντίνου και κοντά στον Περιφερειακό. Με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, όπου το βέλτιστο δειγματοληπτικό πρότυπο επιτυγχάνεται με την εξώθηση των σημείων σε μορφή ισόπλευρου τριγώνου κρίθηκε σαν ικανό μέγεθος ο αριθμός των τριών σταθμών μέτρησης. Η εύρεση των βέλτιστων λύσεων έγινε με τη βοήθεια του υποδείγματος χωροθέτησης – κατανομής p – διάμεσος (p – median) και διακρίθηκαν τρία σενάρια. Το πρώτο είναι το μηδενικό, όπου απλά αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση με τους δύο υπάρχοντες σταθμούς και την περιοχή κάλυψης του καθενός. Στο επόμενο επελέγη η βέλτιστη λύση για τη χωροθέτηση ενός επιπλέον σταθμού στους δύο υπάρχοντες, ενώ στο τελευταίο υπολογίστηκαν τρεις νέες θέσεις με βάση το σταθμισμένο δείκτη ρύπανσης – πληθυσμού. Από τη συγκριτική ανάλυση των δύο τελευταίων προέκυψε πως το σενάριο των τριών νέων θέσεων ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια του υποδείγματος p – διάμεσος και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε σαν βέλτιστο. Οι θέσεις που προτείνονται βρίσκονται κατά προσέγγιση στις εξής περιοχές α) πλησίον της οδού Παγασών μεταξύ των οδών Κωνσταντά και Α. Γαζή, β) πλησίον της οδού Κασσαβέτη μεταξύ των οδών Κωνσταντά και Ρήγα Φεραίου γ) πλησίον της οδού Ιωλκού μεταξύ των οδών Χαϊδαρίου και Κενταύρων πάνω από τον Περιφερειακό.

Τα συμπεράσματα των δύο πρώτων περιπτώσεων έρχονται κατά κύριο λόγο να γνωστοποιήσουν τα πραγματικά επίπεδα συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα που παρατηρούνται στην πόλη του Βόλου. Η συσχέτιση με το ωράριο εργασίας ή λειτουργίας των καταστημάτων, αλλά και η αρνητική συσχέτιση με την απόσταση από το κέντρο της πόλης τεκμηριώνουν και επιστημονικά αυτό που θα υπέθετε κανείς με βάση μια καθαρά εμπειρική προσέγγιση. Σε επίπεδο χωροθετικού σχεδιασμού επιλέγεται η βέλτιστη λύση με κριτήριο το

μονοξειδίου του άνθρακα, προσεγγίζοντας περισσότερο τη θεωρητική πλευρά ενός σοβαρού ζητήματος που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Είναι αδιαμφισβήτητο πως το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης επιδεινώνεται ραγδαία με την πάροδο των χρόνων, παρά την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας. Το γεγονός αυτό καθιστά ακόμη εντονότερη την ανάγκη μελέτης του φαινομένου, αλλά και της κατανόησης των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η χωρική διάρθρωση του μονοξειδίου του άνθρακα εντός των ορίων του δήμου Βόλου. Η επιλογή του ρύπου - δείκτης έγινε με κριτήριο την άμεση σύνδεσή του με το μέγεθος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την κυκλοφορία των οχημάτων και το σχετικά φθινό εξοπλισμό που απαιτείται.

Στο πρώτο στάδιο η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε τομείς με βάση το μέγεθος του καννάβου και την απόσταση από το κέντρο του πρώτου τομέα. Με τη βοήθεια του χωροθετικού πηλίκου προσδιορίστηκε ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας ανά τομέα και εφαρμόστηκε στρωματοποιημένη και κατευθυνόμενη δειγματοληψία για συνολικό μέγεθος δείγματος 30 σημείων. Η δειγματοληψία διήρκεσε από τις 27 Ιουλίου ως τις 27 Αυγούστου, δηλαδή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου που χαρακτηρίζει ένα τυπικό ελληνικό καλοκαίρι. Κάθε σημείο μετρήθηκε σε 11ωρη βάση από τις 9π.μ. ως τις 20μ.μ. με το φορητό αναλυτή streetbox. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η καταχώρηση και επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων σχετικά με τις ωριαίες διαφοροποιήσεις των μετρήσεων ανά τομέα και ημέρα.

Στο δεύτερο στάδιο οι τελικές μετρήσεις αποτέλεσαν τα πρωτογενή δεδομένα για την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής σύνθετες kriging, αφού πρώτα έγινε επαλήθευση του μοντέλου για τον περιορισμό των σφαλμάτων. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι χάρτες πρόβλεψης, τυπικού σφάλματος, πιθανοτήτων και ποσόστωσης.

Στο τρίτο στάδιο υπολογίστηκε αρχικά ο δείκτης τοπικής διακύμανσης γ , ο οποίος χρησιμοποιήθηκε έπειτα για στον υπολογισμό του σταθμισμένου συντελεστή ρύπανσης – πληθυσμού. Οι τιμές του τελευταίου σε συνδυασμό με το υπόδειγμα p - διάμεσος προσδιόρισαν τρεις νέες θέσεις χωροθέτησης σταθμών μέτρησης.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εμφανίζει μειονεκτήματα ως προς το μέγεθος του δείγματος και την αυστηρή προσαρμογή της στη χωρική διάρθρωση της περιοχής. Για το λόγο αυτό επιδέχεται τροποποιήσεις ώστε να αυξηθεί η ευελιξία της και να μπορεί να

προσαρμοστεί στο εκάστοτε χωρικό υπόβαθρό. Σε μια μελλοντική εργασία το δείγμα των 30 σημείων θα μπορούσε να κατανεμηθεί με διαδικασία πυκνώσης, δηλαδή εφαρμόζοντας τη στρωματοποιημένη δειγματοληψία τρεις φορές και τοποθετώντας τα σημεία κάθε επανάληψης με βάση τα αποτελέσματα της χωρικής παρεμβολής. Επίσης το μέγεθος του καννάβου θα μπορούσε να διαφοροποιηθεί, ανάλογα με την κλίμακα που εστιάζεται η μελέτη του προβλήματος, αλλά και το μέγεθος της περιοχής μελέτης. Για παράδειγμα όταν μελετώνται οι επιπτώσεις των αυτοκινητοδρόμων στα συνολικά επίπεδα ρύπανσης είναι αναμενόμενο το μέγεθος του καννάβου να κυμαίνεται σε πολύ μικρότερα επίπεδα.

Επιπλέον τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία των μετρήσεων σε συνδυασμό με τα στοιχεία των σταθμών της ΔΕΥΑΜΒ και της Νομαρχίας εμπλουτισμένα με δορυφορικά δεδομένα μπορούν να δώσουν μια πιο συνολική και ακριβής εικόνα του προβλήματος. Παραδείγμα τέτοιων ενεργειών αποτελεί η εφαρμογή του προγράμματος SMAQ (Satellite-assisted Management of Air Quality) στη Δυτική Μακεδονία, το οποίο αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2009. Το ίδιο θέμα θα μπορούσε να προσεγγιστεί επίσης με μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης, τα οποία προσεγγίζουν το θέμα περισσότερο μαθηματικά και μπορούν δώσουν εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα ακόμα και με μικρό μέγεθος δείγματος (Briggs et al., 2000). Στην ίδια λογική εξίσου χρήσιμη είναι η συνδυασμένη προσέγγιση μέσω μοντέλων διασποράς και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Οι μεθοδολογίες απεικόνισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελούν τη βασική συνιστώσα στον τομέα της βέλτιστης χωροθέτησης σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η πρακτική που εφαρμόζεται μέχρι σήμερα στην Ελλάδα βασίζεται κυρίως σε εμπειρικές προσεγγίσεις και κριτήρια λειτουργικού περισσότερο χαρακτήρα όπως η εύκολη πρόσβαση στα δίκτυα τεχνικών υποδομών (ηλεκτρικό ρεύμα, τηλεφωνική γραμμή). Η μη επιστημονική τεκμηρίωση των σημείων χωροθέτησης και του απαιτούμενου αριθμού σταθμών διαφαίνεται όταν εκ των υστέρων οι αρμόδιοι φορείς αδυνατούν να ανταπεξέλθουν στο υψηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η μαθηματική και πολυκριτηριακή (multi – objective) ανάλυση του ζητήματος μέσω των προϋποθέσεων που έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί σε άλλες χώρες του εξωτερικού (Trujillo-Ventura and Ellis, 1991), όπου λαμβάνονται υπόψη τόσο τα επίπεδα ρύπανσης για το σύνολο των ρύπων, όσο και ο περιορισμός του μέγιστου κόστους. Η πρακτική αυτή δεν εξασφαλίζει μόνο την αξιοπιστία των μετρήσεων, αλλά και τη βιωσιμότητα των δικτύων μέτρησης της αέριας ρύπανσης. Στην παρούσα εργασία η προσέγγιση αυτή αποτελεί απλά ένα πρωτόλειο της επίσημης μεθοδολογίας. Η εφαρμογή του υποδείγματος p – διάμεσος είναι μία προσέγγιση από τις πολλές που υπάρχουν στα

υποδείγματα χωροθέτησης – κατανομής. Θα μπορούσε για παράδειγμα να είχε εφαρμοστεί το κριτήριο της μέγιστης κάλυψης για ένα σύνολο ρύπων.

Ο δήμος Βόλου στα πλαίσια της εφαρμογής πρακτικών βελτίωσης του αστικού περιβάλλοντος της πόλης συμμετέχει στο Δίκτυο «πόλεις χωρίς αυτοκίνητα» (car free cities), στο Δίκτυο «Αστικό Φόρουμ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη» (Urban Forum for Sustainable Development), καθώς και σε άλλα ευρωπαϊκά προγράμματα (Μαρκάκης, 2005). Οι προσπάθειες αυτές θα πρέπει να ενισχυθούν από την Τοπική Αυτοδιοίκηση σε συνεργασία με Πανεπιστημιακούς φορείς. Εξάλλου η μελέτη του φαινομένου, όπως πραγματοποιήθηκε σε αυτή την εργασία αποτελεί μόνο μία πτυχή του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αν δεν συνδυαστεί με ανάλογα γενναίες πολιτικές δεν είναι δυνατόν να καταπολεμηθεί το πρόβλημα στη ρίζα του.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μέσα από μία ποικιλία παραγόμενων χαρτών για την ποιότητα του αέρα, εμπλουτισμένων με στοιχεία από διάφορους ρύπους και σε συνδυασμό με την ανάπτυξη Χωρικών Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων (Spatial Decision Support Systems), μπορούν να λειτουργήσουν σαν υποστηρικτικό εργαλείο για τη λήψη μέτρων σε τοπικό επίπεδο. Παράλληλα αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο αξιολόγησης των σχεδίων αστικών μετακινήσεων, τα οποία περιορίζουν τη χρήση του αυτοκινήτου και κατ' επέκταση του μονοξειδίου του άνθρακα. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών, που έχουν μεγάλη απήχηση στο εξωτερικό είναι ο καθορισμός επικινδύνων ζωνών όπου τα επιτρεπτά όρια ποιότητας του αέρα είναι δυνατόν να υπερβληθούν (Briggs *et al.* 2000). Τέλος, πέρα από κάθε απρόσωπο εργαλείο ή σύστημα θα πρέπει όλοι να αντιληφθούμε το δικό μας μερίδιο ευθύνης όσον αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων και να προβούμε σε αλλαγές συνηθειών και τακτικών.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Αδαμόπουλος Α., (2002), “Μικροσωματίδια, Τρόποι Μέτρησης, Χωροθέτηση Σταθμών, Συγκεντρώσεις στην Αθήνα”, Δ/ση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης & Θορύβου, Γεν. Δ/ση Περιβαλλοντος, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Βαβίζος Γ. και Μερτζάνης Α. , (2003), “Περιβάλλον, Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Γεντεκάκης Β. Ι. , (1999), “Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Ετήσια έκθεση για τη μελέτη της αέριας ρύπανσης, ΔΕΥΑΜΒ, Δ/ση Προγραμματισμού και Ανάπτυξης, Τμήμα Διασφάλισης Ποιότητας και, Γραφείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Κολυβά – Μαχαίρα Μ. και Μπόρα Σέντα Ε. , (1995), “Στατιστική, θεωρία και εφαρμογές”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Κούγκολος Γ. Α. , (2005), “ Εισαγωγή στην περιβαλλοντική μηχανική”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Κουτσόπουλος Κ. (1990), “ Γεωγραφία: Μεθοδολογία και Μέθοδοι Ανάλυσης Χώρου”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Κουτσόπουλος Κ. , (2002), “ Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και ανάλυση του χώρου”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Μαρκάκης, (2005), “ Ευρωπαϊκά δίκτυα και προγράμματα στην συνεργασία πόλεων για την βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος”, Πρακτικά Συνεδρίου Λάρισας

Μελάς Δ., “ Ατμοσφαιρική ρύπανση”, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μουσιόπουλος Ν. (επιμ.), (1999), “ Μαθηματικά μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης”, Εκδόσεις Ζήτη, Β΄ Έκδοση, Θεσσαλονίκη

Μιχαλακοπούλου Χ., (2004), “Νομοθεσία για το περιβάλλον”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Ντυκέν Μ. Ν., (2002), “Σημειώσεις Στατιστικής”, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

Περάκης Γ. Κ., (2000), Στοιχεία δειγματοληψίας και ανάλυσης δεδομένων”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περιβαλλοντική Πρωτοβουλία Μαγνησίας για την ΑΓΕΤ, έγγραφο αναφοράς 2004

Περιφερειακό Στρατηγικό Σχέδιο Ανάπτυξης (Π.Σ.Σ.Α.) Θεσσαλίας 2007-2013, Διαγνωστική Έκθεση Περιφερειακής Χωρικής Στρατηγικής

Πρακτικά ημερίδας με θέμα: « Ατμοσφαιρική ρύπανση – επιπτώσεις – προτάσεις, 14/5/07, Βόλος

Τσομπάνογλου Σ. (2002), “Προσδιορισμός ενός μεθοδολογικού πλαισίου για τη χωρική ανάλυση της οργάνωσης και της διαχρονικής εξέλιξης αστικών συστοιχιών, εφαρμογή στην Περιφέρεια Θεσσαλίας”

ΥΠΕΧΩΔΕ (2001), Απολογιστική έκθεση 1996-2001, Τμήμα αυτοκινήτων και εξωτερικών καύσεων

Φώτης Ν. Γ., (2002), “ Σημειώσεις Χωρικής Ανάλυσης”, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

Speed Σύμβουλοι Ανάπτυξης Α.Ε. και Συνεργάτες, (2003), “Επιχειρησιακό Σχέδιο για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Βόλο”

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Abbass, T., El Jallouli, C., Albouy, Y., and Diament, M., (1990), “A comparison of surface fitting algorithms for geophysical data”. *Terra Nova*, **2**, pp. 467- 75

Agrawal I.C., Gupta R.D., and Gupta V.K., (2003), “GIS as modelling and decision support tool for air quality management: a conceptual framework”, Motilal Nehru National Institute of Technology, Allahabad, India

Air Quality Assessment for Europe: from local to continental scale, First recommendations for best methods and techniques for conducting air quality assessment at local and hotspot scales, 2006

Akland, G.G., Hartwell, T.D., Johnson, T.R. and Whitmore R.W., (1985), “ Measuring human exposure to carbon monoxide in Washington, D.C., and Denver, Colorado, during the winter of 1982–1983, *Environmental Science and Technology* **19**, pp. 911–918

Alm, S., Jantunen and Vartiainen, M., (1999), “Urban commuter exposure to particle matter and carbon monoxide inside an automobile” *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* **9**, pp. 237–244

Ambachtsheer P. C., (2004), “*Combined Use of Models and Measurements for Spatial Mapping of Concentrations and Deposition of Pollutants*“. A thesis in Master of Science, University of Waterloo, Ontario, Canada

- Anderson, H. R., Butland, B. K., and Strachan, D. P., (1994), "Trends in prevalence and severity of childhood asthma". *British Medical Journal* **308**, pp. 1600- 4.
- Bailey, G.T., (1990), " *Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems*", In Fortheringham S. and Rogerson P.(ed), *Spatial Analysis and GIS*. Hong Kong: Taylor and Francis
- Bruckman, L., Dickson, R. J. and Wilkosen, J. G., (1992), "*The use of GIS software in the development of emissions inventories and emission modelling*". In: *Proceedings of the Air and Waste Management Association*, Pittsberg, PA (USA).
- Burrough P., and McDnell R, (1998), "*Principles of Geographical Information Systems*", New York, Oxford University Press
- Burney, P., (1988), "Asthma deaths in England and Wales 1931-85: evidence for a true increase in asthma mortality". *Journal of Epidemiology and Community Health*, **42**, pp. 316-20
- Campbell, G. W., Stedman, J. R., and Stevenson, K., (1994), "A survey of nitrogen dioxide concentrations in the United Kingdom using diffusion tubes July-December 1991". *Atmospheric Environment*, **28**, pp. 477- 487
- Casado, L. S., Rouhani, S., Cardellnot C. A., and Ferrier A, J., (1993), "Geostatistical analysis and visualization of hourly ozone data". *Atmospheric Environment* , **28**, pp. 2105-18.
- Charlot, H.M.G., Kanagaraj M., Narayanan R., (2000), "*Air pollution modelling for Chennai city using GIS as a tool*", *Gis DEvelopment*
- Dalvi M., Beig G., Patil U., Kaginalkar, A., Sharmad C., Mitrad A.P., (2006), "A GIS based methodology for gridding of large-scale emission inventories: Application to carbon-monoxide emissions over Indian region". *Atmospheric Environment* , **41**, pp. 3658-71
- Diem J. E., and Comrie A. C., (2002), "Predictive mapping of air pollution involving sparse spatial observations" *Environmental Pollution*, **119**, pp. 99-117
- Duan, N., (1982), *Models for human exposure to air pollution*, *Environ. Int.* **8**, pp.305-309.
- Dubrulle, O., (1984), "Comparing splines and kriging". *Computers & Geosciences*, **10**, pp. 327- 38
- Edwards, J., Walters, S., and Griffiths, R. K., (1994), "Hospital admissions for asthma in preschool children: relationship to major roads in Birmingham", United Kingdom. *Archives of Environmental Health*, **49**, pp. 223-7
- Gilbert, R.O., and Simpson J.C., (1983) "*Comparing computing formulas for estimating concentration ratios*" *TRAN-STAT: Statistics for Environmental Studies*, No. 23. PNL-SA-11299. (Pacific Northwest Laboratory: Richland, WA).
- Godchild, M. F., (1988), "The technical settings of GIS", *London, Longham*, **1**, pp. 45-54

- Haas, T.C., 1992. Redesigning continental-scale monitoring networks. *Atmospheric Environment*, **26A**, pp. 3323-33
- Hallmark., S. L., and O’Nell, W., (1996), “Integrating geographic information system for transportation and air quality models for microscale analysis”. Transportation Research Record 1551, *Transportation Research Board, Washington (USA)*. pp 133 -140.
- Haining, R. “Designing spatial data analysis Modules for Geographical Information Systems”, In Fortheringham S. and Rogerson P.(ed), *Spatial Analysis and GIS*. Hong Kong: Taylor and Francis
- Hakimi, S. L. (1965) “Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems”, *Operations Research*, **13**, pp. 462-475
- Hewitt, C. N., (1991), “Spatial variations in nitrogen dioxide concentration in an urban area”. *Atmospheric Environment*, **25B**, pp. 429-34
- Ishizaki, T., Koizumi, K., Ikemori, R., Ishiyama, Y., and Kushibiki, E., (1987), “Studies of prevalence of Japanese cedar pollinosis among the residents in a densely cultivated area”. *Annals of Allergy*, **58**, pp. 265-70
- Klepeis, N.E., Ott, W.R., and Switzer, P., (1996), “A multiple-smoker model for predicting indoor air quality in public lounges”, *Environmental Science and Technology*, **30**, pp. 2813-20
- Kanaroglou, S. P., Jerrettb, M., Morrisonc, J., Beckermanb, B., Arainb, M, A., Gilbertd, N L. Brook, R. J., (2005), “Establishing an air pollution monitoring network for intra - urban population exposure assessment: A location-allocation approach” *Atmospheric Environment*, **39**, pp. 2399–2409
- Knotters, M., Brus, D. J., and Voshaar, J. H. O., (1995), “A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations”. *Geoderma*, **67**, pp. 227- 46
- Laslett, G. M., McBratney, A. B., Pahl, P. J., and Hutchinson, M. F., (1987), “Comparison of several prediction methods for soil pH”. *Journal of Soil Science*, **38**, pp. 325-70.
- Lefohn, A. S., Knudsen, H. P., and McEvoy, L. R., (1988), “The use of kriging to estimate monthly ozone exposure parameters for the south eastern United States”. *Environmental Pollution*, **53**, pp. 27- 42
- Liu, L. J. S., Rossini, A., and Koutrakis, P., (1995), “Development of cokriging models to predict 1- and 12-hour ozone concentrations in Toronto”. (Abstract). *Epidemiology*, **6**, S69
- McBramey A. B., Webster R. and Burgess T. M. (1981) “The design of optimal sampling schemes for local estimation and mapping of regionalized variables. Part 1: theory and method”. *Computer and Geosciences*, **7**, pp. 335-365

- McElroy J. L., Behar J. V., Meyers T. C., Liu M. K., (1986), “Methodology for designing air quality monitoring networks: Application to Las Vegas, Nevada, for carbon monoxide”. *Environmental Monitoring and Assessment*, **6**, pp. 13-34
- Myers, D. E., (1994), “Spatial interpolation: an overview”. *Geoderma*, **62**, pp. 17- 28
- Oliver, M. A., and Webster, R., (1990), “Kriging: a method of interpolation for geographical information systems”. *International Journal of Geographical Information Systems*, **4**, pp. 313-32
- Patil, U., Ravan, S., and Kaushal, A., (2003), “GIS-based air pollution surface modelling”. *Gis Development*
- Rahmatizadeh, Sh., Delavarb, M. R., and Motesaddic, S., (2006), “*Design and development of a customised Gis for Air Quality Management*”, *Gis Development*
- Schwartz, J., (1993), “Particulate air pollution and chronic respiratory disease”. *Environmental Research*, **62**, pp. 7-13
- Schwartz, J., (1994), “Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis”. *Environmental Research*, **64**, pp. 36-52
- Sharma N., Bhandari K., Rao P., Shukla, A., (2003), “*GIS applications in air pollution modeling*”, *Gis Development*
- Sikdar, P. K. (2001), “*A framework for evaluation of transport development and management option using pollution profile technique*”. Paper Presented at the Workshop on Land use, Transport and Environment (proceedings), Organized by Cirt, Pune and Harvard University (USA), December 4-5,2001, Pune (India)
- Souleyrette, R. R., Sathisan, S.K., James, D. E., and Lim, S., (1992), “*GIS for transportation and air quality analysis*”. Proceedings of the National Conference on Transportation Planning and Air Quality. ASCE, New York (USA), pp. 182 - 194
- Stanners, D., and Bordeau, P., (editors), (1995), “*Europe’s Environment, The Dobris Assessment*”, Copenhagen: European Environment Agency
- Streetbox urban pollution monitor manual
- Tobler, W. R. (1970). “A computer movie simulating urban growth in the Detroit region”. *Economic Geography*, **46**, pp. 234–40
- Trujillo-Ventura, A., and Ellis, J.H., (1991), “Multiobjective air pollution monitoring network design”, *Atmospheric Environment*, **25A**, pp. 469–479
- U.S. Environmental Protection Agency, (2000), “*Air Quality Criteria for Carbon Monoxide*”, National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development

- Van Kuilenburg, J., de Gruijter, J. J., Marsman, B., και Bouma, J., 1982, “Accuracy of spatial interpolation between point data on moisture supply capacity, compared with estimates from mapping units”. *Geoderma*, **27**, pp. 311- 25
- Wartenberg, D., (1993), “Some epidemiologic applications of kriging in Geostatistics”. *Quantitative Geology and Statistics*, **5**, pp. 911- 22
- Weber, D., and Englund, E., (1992), “Evaluation and comparison of spatial interpolators”. *Mathematical Geology*, **24**, pp. 381- 91
- Wong, D. W., Yuan, L. L., and Perlin, S., A., (2003), “Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of air quality data”. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **14**, pp. 404-415

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

<http://www.airquality.dli.mlsi.gov>

<http://www.airlab.edu.gr/html/effect.htm>

<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2004-101/calc.htm>

<http://www.cleanaireurope.com/>

<http://europa.eu/scadplus/leg/el/lvb/l28159.htm>

<http://forecast.uoa.gr/2004/greek/venuesgr.html>

<http://www.gisdevelopment.net>

<http://www.kepekozani.gr>

http://lap.phys.auth.gr/pms/upload/WEB_POLLUTION.DOC

<http://www.minenv.gr/1/12/122/12205/g1220503.html>

<http://www.microdaq.com>

www.meteo.gr/stations/Volos

http://www.oikoen.gr/selides-aget_kaysi.htm

<http://www.smaq-life.org>

<http://www.sciencedirect.com>

<http://www.spatialanalysisonline.com>

<http://www.springerlink.com>

www.spatialanalysisonline.com

www.statistics.gr

<http://webhelp.esri.com>

<http://www.webgis.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ωρα Ημέρα	Ημερομηνία	Τοποθεσία	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Ωρα			Βωρο	
															Max	Min	M.O	S.D	Max
1	Παρασκευή, 27 Ιουλίου	Ιωλκού - Γαζή	2,49	1,97	2,20	1,73	2,39	2,16	2,10	1,92	1,78	1,74	1,86	1,70	2,49	1,70	2,00	0,27	2,12
2	Σάββατο, 28 Ιουλίου	Αναλήψεως - Παγασών	1,89	1,86	2,17	2,11	2,18	1,93	1,76	1,53	1,43	1,49	1,48	1,40	2,18	1,40	1,77	0,30	1,93
3	Κυριακή, 29 Ιουλίου	Πολυμέρη (Νοσοκομείο)	1,48	1,87	1,93	1,92	1,95	1,88	1,81	1,19	1,65	1,82	1,62	1,38	1,95	1,19	1,71	0,25	1,77
4	Δευτέρα, 30 Ιουλίου	Αναλήψεως - Κύπρου	2,47	2,47	2,63	2,51	2,30	2,09	2,06	1,27	1,33	1,54	1,51	1,56	2,63	1,27	1,98	0,51	2,22
5	Τρίτη, 31 Ιουλίου	Δημητριάδος - Αγ. Νικολάου	2,33	2,22	3,13	2,45	2,51	3,07	2,33	1,94	1,69	1,87	2,31	3,04	3,13	1,69	2,41	0,47	2,50
6	Τετάρτη, 1 Αυγούστου	Λαρίσης (Βερόπουλος)	1,91	1,65	1,96	1,72	1,60	1,57	1,50	1,34	1,41	1,74	1,60	1,29	1,96	1,29	1,61	0,21	1,66
7	Πέμπτη, 2 Αυγούστου	Γ. Δήμου - Κύπρου	1,37	1,33	1,42	1,37	1,67	1,64	1,51	1,33	1,47	1,48	1,54	1,60	1,67	1,33	1,48	0,12	1,53
8	Παρασκευή, 3 Αυγούστου	Κασσαβέτη - Αν. Γαζή	1,39	1,37	1,61	1,61	1,78	1,63	1,55	1,64	1,58	1,58	1,42	1,36	1,78	1,36	1,54	0,13	1,62
9	Σάββατο, 4 Αυγούστου	2ος Νοεμβρίου (Αγ. Παντελεήμωνα)	1,65	1,32	1,69	1,55	1,76	1,59	1,29	1,24	1,13	1,09	1,08	1,48	1,76	1,08	1,41	0,24	1,51
10	Κυριακή, 5 Αυγούστου	Ιωλκού - Περιφερειακός	1,23	1,26	1,25	1,32	1,57	1,59	1,42	1,39	1,33	1,31	1,23	1,25	1,59	1,23	1,35	0,13	1,40
11	Τρίτη, 7 Αυγούστου	Ιωλκού - Εριμού	2,55	2,95	3,48	2,63	2,43	1,62	1,39	1,18	1,38	1,85	1,78	2,52	3,48	1,18	2,14	0,71	2,28
12	Τετάρτη, 8 Αυγούστου	Ιάσονος - Φιλελλήνων	1,58	1,64	1,73	1,78	1,66	1,48	1,32	1,39	1,45	1,29	1,22	1,34	1,78	1,22	1,49	0,18	1,57
13	Πέμπτη, 9 Αυγούστου	Αγ. Δημητρίου - Αιτόλλωνος	1,47	1,69	1,86	1,69	1,74	1,44	1,65	1,33	1,46	1,03	1,38	1,43	1,86	1,03	1,52	0,22	1,61
14	Παρασκευή, 10 Αυγούστου	Ιωλκού - Γ. Δήμου	1,39	1,36	1,40	1,51	1,55	1,85	1,94	1,85	1,77	1,59	1,31	1,34	1,94	1,31	1,57	0,23	1,68
15	Σάββατο, 11 Αυγούστου	Σέκερη (Αστικό ΚΤΕΛ)	1,33	1,47	1,63	1,39	1,32	1,56	1,35	1,40	1,35	1,26	1,15	0,85	1,63	0,85	1,34	0,20	1,43
16	Δευτέρα, 13 Αυγούστου	Λαμπράκη (ΔΕΥΜΑΒ)	1,31	1,20	1,43	2,00	1,68	1,46	1,42	1,30	1,43	1,41	1,13	1,38	2,00	1,13	1,43	0,23	1,51
17	Τρίτη, 14 Αυγούστου	Λαμπράκη - 2ος Νοεμβρίου	1,66	2,05	2,36	2,26	2,26	2,12	1,84	1,46	1,56	1,67	1,84	2,09	2,36	1,46	1,93	0,30	2,00
18	Τετάρτη, 15 Αυγούστου	Κ. Καρτάλη - Δημητριάδος	1,29	1,48	1,61	2,00	1,86	1,47	1,49	1,36	1,62	1,31	1,19	1,86	2,00	1,19	1,54	0,25	1,61
19	Πέμπτη, 16 Αυγούστου	Λαμπράκη - Παπαδιαμάντη	2,11	2,78	2,67	3,12	2,50	3,61	2,94	1,74	1,55	1,92	2,06	2,53	3,61	1,55	2,46	0,61	2,68
20	Παρασκευή, 17 Αυγούστου	Ιωλκού - Αναλήψεως	1,47	1,57	1,66	1,43	1,59	1,45	1,49	1,31	1,49	1,41	1,27	1,42	1,66	1,27	1,46	0,11	1,50
21	Σάββατο, 18 Αυγούστου	Παγασών - Αν. Γαζή	1,70	1,81	1,46	2,23	1,31	1,10	1,01	1,17	1,09	1,06	1,26	0,78	2,23	0,78	1,33	0,40	1,47
22	Κυριακή, 19 Αυγούστου	Σταδίου - Πολυμέρη	1,58	1,71	1,74	1,58	1,43	1,31	1,39	1,21	1,13	1,04	0,99	1,20	1,74	0,99	1,36	0,25	1,49
23	Δευτέρα, 20 Αυγούστου	Αναλήψεως - Φιλιππιάδη (Αναυρος)	1,28	1,23	1,48	1,28	1,45	1,17	1,24	1,08	1,06	1,13	1,14	0,98	1,48	0,98	1,21	0,15	1,28
24	Τρίτη, 21 Αυγούστου	Γ. Δήμου - 54 ^{ου} Συντάγματος	1,70	1,50	1,50	1,62	1,62	1,95	2,17	1,84	1,95	1,84	2,01	2,15	2,17	1,50	1,82	0,23	1,94
25	Τετάρτη, 22 Αυγούστου	Ιωλκού τέρμα (Βόρειο τέρμα)	0,98	1,01	1,14	1,13	1,15	1,25	1,29	1,42	1,66	1,62	1,34	1,00	1,66	0,98	1,25	0,23	1,36
26	Πέμπτη, 23 Αυγούστου	Σταδίου τέρμα	1,09	1,20	1,30	1,25	1,40	1,41	1,49	1,46	1,37	1,31	1,16	1,03	1,49	1,03	1,29	0,15	1,37
27	Παρασκευή, 24 Αυγούστου	Λαρίσης τέρμα	1,91	1,65	1,96	1,72	1,60	1,57	1,50	1,34	1,41	1,74	1,60	1,29	1,96	1,29	1,61	0,21	1,66
28	Σάββατο, 25 Αυγούστου	Πολυμέρη - Κασσαβέτη	1,46	1,85	1,91	1,90	1,93	1,86	1,79	1,59	1,63	1,80	1,60	1,36	1,93	1,36	1,72	0,19	1,81
29	Κυριακή, 26 Αυγούστου	Αθηνών τέρμα	1,48	1,62	1,78	1,54	1,52	1,71	1,50	1,55	1,50	1,41	1,30	1,18	1,78	1,18	1,51	0,16	1,59
30	Δευτέρα, 27 Αυγούστου	Λαρίσης - Μπότσαρη	1,72	1,75	2,03	1,95	1,82	1,73	1,67	1,50	1,59	1,71	1,57	1,56	2,03	1,50	1,72	0,16	1,77
		Max	2,55	2,95	3,48	3,12	2,51	3,61	2,94	1,94	1,95	1,92	2,31	3,04					
		Min	0,98	1,01	1,14	1,13	1,15	1,10	1,01	1,08	1,06	1,03	0,99	0,78					
		M.O	1,64	1,69	1,87	1,81	1,78	1,74	1,64	1,44	1,48	1,50	1,46	1,51					
		S.D	0,41	0,45	0,54	0,46	0,38	0,51	0,39	0,23	0,21	0,27	0,32	0,51					

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα μετρήσεων και των σφαλμάτων για τα σημεία του δείγματος

X	Y	MEASURED	PREDICTED	ERROR	STD_ERROR	STDD_ERROR	NORM_VALUE
131141	595882	1,61	1,620	0,0102	0,3549	0,0286	0,0418
131532	595625	1,72	1,529	-0,1912	0,3441	-0,5558	-0,6745
131623	594204	1,51	1,734	0,2239	0,3588	0,6242	0,4770
132045	595299	1,61	1,459	-0,1514	0,3277	-0,4620	-0,5730
132338	595050	1,34	1,631	0,2913	0,3177	0,9167	0,6745
132578	595148	1,43	1,746	0,3155	0,3157	0,9995	0,9027
132653	595938	1,41	1,598	0,1878	0,3268	0,5746	0,2967
132843	595134	2,46	1,609	-0,8512	0,3147	-2,7044	-2,1281
132956	595869	1,33	1,710	0,3795	0,3189	1,1902	1,1918
133086	595179	1,93	1,936	0,0062	0,3161	0,0196	-0,0418
133245	596030	1,77	1,569	-0,2010	0,3261	-0,6165	-0,7835
133477	595070	2,14	1,892	-0,2482	0,3031	-0,8189	-0,9027
133525	594935	1,54	2,066	0,5260	0,3017	1,7435	2,1281
133623	595294	2,00	1,863	-0,1370	0,3117	-0,4397	-0,4770
133652	594838	2,41	1,722	-0,6884	0,3067	-2,2446	-1,6449
133732	596362	1,82	1,530	-0,2895	0,3336	-0,8679	-1,1918
133859	595590	1,46	1,876	0,4158	0,3162	1,3149	1,6449
133889	594625	1,49	1,899	0,4089	0,3222	1,2690	1,3830
134073	595442	1,98	1,649	-0,3306	0,3176	-1,0409	-1,3830
134174	596040	1,57	1,540	-0,0302	0,3227	-0,0936	-0,2104
134195	594584	1,72	1,646	-0,0744	0,3210	-0,2319	-0,2967
134376	594875	1,54	1,656	0,1160	0,3227	0,3595	0,2104
134401	597754	1,25	1,624	0,3736	0,3508	1,0650	1,0364
134494	596430	1,35	1,574	0,2236	0,3401	0,6575	0,5730
134531	595783	1,48	1,471	-0,0094	0,3276	-0,0288	-0,1257
134813	594135	1,71	1,431	-0,2785	0,3257	-0,8550	-1,0364
134861	594912	1,21	1,541	0,3311	0,3316	0,9985	0,7835
135018	593863	1,36	1,562	0,2025	0,3338	0,6065	0,3853
135206	594428	1,52	1,438	-0,0821	0,3335	-0,2463	-0,3853
136119	594646	1,29	1,332	0,0421	0,3501	0,1201	0,1257

Πηγή: ίδια επεξεργασία