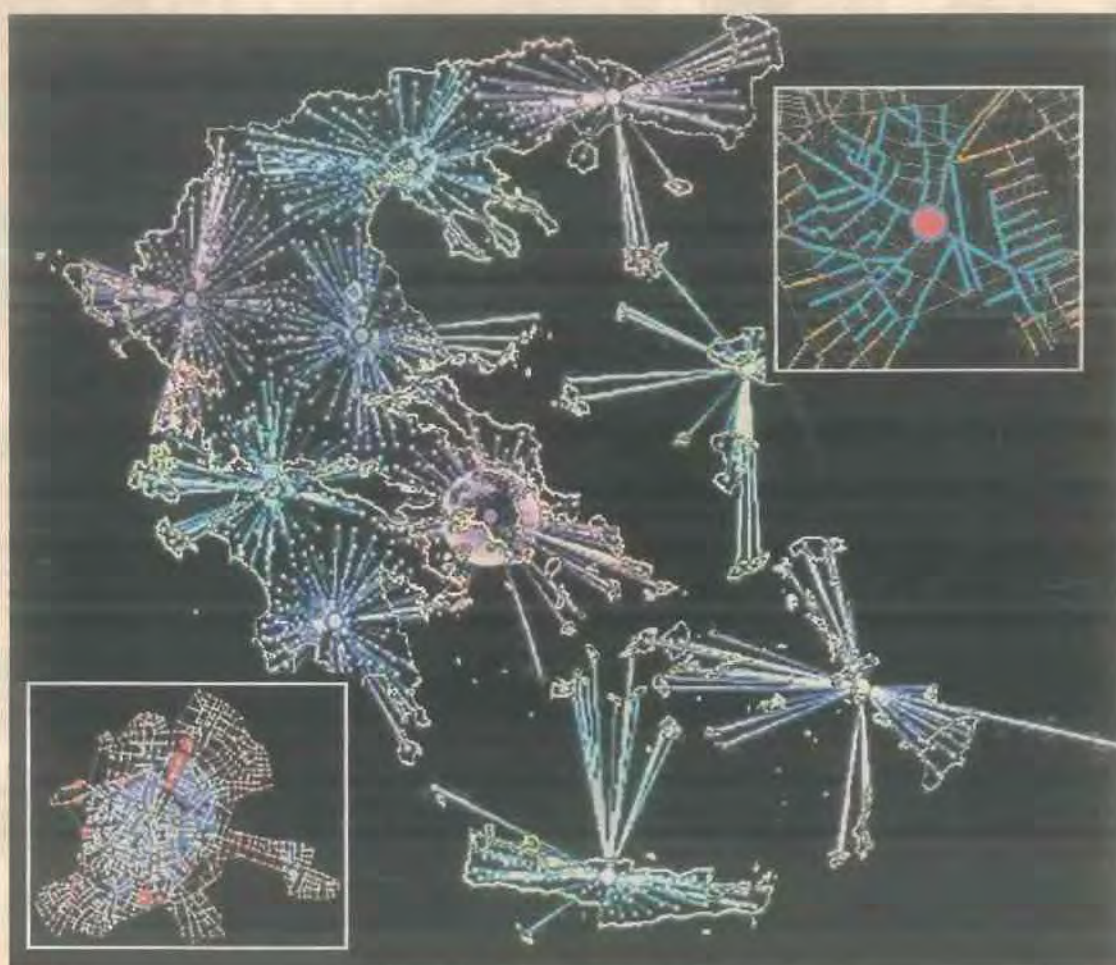


S-DISTANCE

ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΜΟΝΤΕΛΑ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ



Φοιτητής: Σταύρος Συρίγος
Επιβλέπων: Γιώργος Φώτης

ΒΟΛΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2003



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

Αριθ. Εισ.: 2500/1

Ημερ. Εισ.: 12-05-2003

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΧΠΠΑ

2003

ΣΥΡ

αφιερωμένο στους γονείς μου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072505

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χωροθέτηση λειτουργιών, τόσο του δημοσίου όσο και του ιδιωτικού τομέα, είναι μεγάλης στρατηγικής σημασίας. Τα κέντρα που θα χωροθετηθούν, θα χρησιμοποιούνται, πιθανότατα, για πολλά χρόνια. Ως εκ τούτου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αντικειμενικά και πολλές φορές αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια για τον καθορισμό της βέλτιστης λύσης. Τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύσσεται η θεωρία της χωροθέτησης-κατανομής, η οποία παρέχει κανονιστικά μοντέλα και αλγορίθμους επίλυσης μιας πληθώρας χωροθετικών προβλημάτων. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έκανε εφικτή την ενσωμάτωση αντίστοιχων μεθόδων στα Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων – δηλαδή, λογισμικών τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και στηρίζουν την κλασική διαδικασία λήψης αποφάσεων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, δημιουργήθηκε ένα Πρότυπο Σύστημα Στήριξης Χωροθετικών Αποφάσεων, από μηδενική βάση, το οποίο πιστεύουμε ότι θα ενισχύσει σημαντικά τη διαδικασία χωροθέτησης, την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής και την αξιολόγηση σεναρίων που βασίζονται σε πολυμεταβλητά κριτήρια.

ABSTRACT

Facility location problems are inherently strategic in nature. The facilities being sited, whether for the public or private sectors, are likely to be in use for many years. Thus, in locating facilities, a variety of possibly conflicted objectives need to be considered, in order to determine the optimal solution. During the recent decades, location-allocation theory is being developed, offering normative models and solution algorithms for solving a plethora of location problems. The ongoing technological boom, made the integration of such methods in Spatial Decision Support Systems feasible. That is, software that incorporates Geographic Information Systems properties in order to support the decision making process in the best possible way. In the context of the present study, an Exemplary Spatial Decision Support System for Location-Allocation has been created from scratch. We believe that the system will reinforce the decision making process, the solution of location-allocation problems and the evaluation of scenarios based on multiobjective criteria.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της επίπονης προσπάθειας και, κυρίως, τους γονείς μου, οι οποίοι εκτός από την αμέριστη συμπαράστασή τους επωμίστηκαν και... τη χρηματοδότηση της διπλωματικής, μιας και για την αποπεράτωσή της δαπανήθηκε ένας επιπλέον χρόνος από τον προβλεπόμενο. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γ. Φώτη, για το ειλικρινές ενδιαφέρον που έδειξε για το θέμα της διπλωματικής και για τις συνεχείς παρατηρήσεις και πολύτιμες συστάσεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Ένα θερμό ευχαριστώ στην κοπέλα μου, η οποία έδειξε μεγάλη κατανόηση και με υποστήριξε κατά τη διάρκεια της δύσκολης αυτής περιόδου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το συμφοιτητή μου Νεκτάριο Ανδριανάκο, για την παροχή των άρτιων ψηφιακών υποβάθρων της πόλης της Τρίπολης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή του λογισμικού, καθώς και την κ. Άσπα Γοσποδίνη για την παραχώρηση της Ερευνητικής Μονάδας Συντακτικής Ανάλυσης του ΤΜΧΠΠΑ, στην οποία ολοκληρώθηκε ένα τμήμα του λογισμικού. Special thanks στους φίλους και συμφοιτητές μου Γιώργο Δημητρόπουλο, Κώστα Βακαλόπουλο, Σωκράτη Σεϊτανίδη και Δημήτρη Μαραγκόζη, για την πολύτιμη παρουσία τους και την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	I
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΩΝ	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	8
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
2. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	13
2.1 ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	13
2.1.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ	13
2.1.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	15
2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	19
2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.....	21
2.3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	22
2.3.2 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	23
2.3.2.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΥΝΟΛΟΥ	27
2.3.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ	28
2.3.2.3 ΜΟΝΤΕΛΟ Ρ-ΚΕΝΤΡΟ.....	30
2.3.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ Ρ-ΔΙΑΜΕΣΟΣ	32
2.3.2.5 ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	34
2.3.2.6 ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	37
2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	39
2.4.1 ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	40
2.4.1.1 ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ.....	42
2.4.1.2 ΤΥΧΑΙΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	43
2.4.1.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ.....	44
2.4.1.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ	45
2.4.1.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΛΙΣΤΑΣ.....	47
2.4.1.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ TABU SEARCH	48
2.4.1.7 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	49
2.4.1.8 ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	50
2.4.1.9 ΑΛΛΟΙ ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	52
2.4.2 ΑΚΡΙΒΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	53
2.4.2.1 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ/ΑΚΕΡΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	53
2.4.2.2 BRANCH AND BOUND.....	54
2.4.2.3 ΧΑΛΑΡΩΣΗ LAGRANGE	54
2.4.2.4 ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΚΡΙΒΟΥΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	57
2.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	58
2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	61
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	61
3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	61
3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	63
3.4 ΛΟΓΟΙ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΠΟΛΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	65
3.5 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΩΝ CROSSLAND, WYNNE ΚΑΙ PERKINS.....	68
3.5.1 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	68
3.5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	72
3.5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.....	75
3.6.1 Location Analysis Decision Support System (LADSS).....	76
3.6.2 Library Of Location Algorithms (LOLA).....	79
3.6.3 SITUATION.....	83
3.6.4 S-DISTANCE.....	87
3.6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ.....	91
3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ.....	92
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	93
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	93
4.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	93
4.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ.....	96
4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	96
4.3.2 ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	97
4.4 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	105
4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	105
4.4.2 ΥΠΟΒΑΘΡΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	106
4.4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	108
4.4.3.1 ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	108
4.4.3.2 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ.....	111
4.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	112
4.5.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	112
4.5.2 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	113
4.5.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΥ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	115
4.5.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	115
4.5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ.....	116
4.5.3.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ.....	118
4.5.3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	123
4.5.3.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	143
4.5.3.6 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	145
4.5.4 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	148
4.5.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	148
4.5.4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ.....	149
4.5.4.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ.....	149
4.5.4.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	150
4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	152
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	162
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΠΗΓΕΣ.....	165

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1: ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΣΕ ΛΕΠΤΑ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2: ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΟΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (ΛΕΠΤΑ)	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΟΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5: T-TEST ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (ΛΕΠΤΑ) ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-6: T-TEST ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ (ΛΕΠΤΑ) ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-7: T-TEST ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-8: T-TEST ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-9: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΣΧΑ ΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΡΙΠΟΛΗΣ	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2: ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΜΑΘΗΤΩΝ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ	109
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ (ΤΡΙΠΟΛΗ)	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΤΥΧΑΙΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΛΙΣΤΑΣ	127
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-9: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΧΑΛΑΡΩΣΗ LAGRANGE	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-10: P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ – ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-11: ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ – ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-12: ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ – ΥΒΡΙΔΙΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ / ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-13: ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-14: ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΛΙΣΤΑΣ	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-15: ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-16: P-ΚΕΝΤΡΟ – ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-17: P-ΚΕΝΤΡΟ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ	136
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-18: P-ΚΕΝΤΡΟ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΛΙΣΤΑΣ	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-19: P-ΚΕΝΤΡΟ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (M1)	138

ΠΙΝΑΚΑΣ 4-20: Ρ-ΚΕΝΤΡΟ – ΔΥΑΔΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ / ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΟΡΥΦΗΣ (ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗΣ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΛΙΣΤΑΣ)	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-21: ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ.....	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-22: Ρ-ΔΙΑΜΕΣΟΣ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-23: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	142
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-24: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-25: ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΧΟΛΕΙΟΥ – ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΥΣΗ	145
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-26: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΕΝΟΣ ΣΧΟΛΕΙΟΥ – ΑΠΟΛΥΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	146
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-27: ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΕΝΟΣ ΣΧΟΛΕΙΟΥ – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	147
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-28: ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	151

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 3-1: ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	67
ΕΙΚΟΝΑ 3-2: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΟΘΟΝΗ (ΣΥΣΤΗΜΑ LADSS)	78
ΕΙΚΟΝΑ 3-3: ΒΑΣΙΚΗ ΟΘΟΝΗ (ΣΥΣΤΗΜΑ LADSS)	78
ΕΙΚΟΝΑ 3-4: ΟΘΟΝΗ UTILITIES (ΣΥΣΤΗΜΑ LADSS)	78
ΕΙΚΟΝΑ 3-5: ΒΑΣΙΚΗ ΟΘΟΝΗ (ΣΥΣΤΗΜΑ LOLA)	81
ΕΙΚΟΝΑ 3-7: ΜΕΡΙΚΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ (ΣΥΣΤΗΜΑ LOLA)	81
ΕΙΚΟΝΑ 3-7: ΟΘΟΝΗ ΛΥΜΕΝΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ (ΣΥΣΤΗΜΑ LOLA)	82
ΕΙΚΟΝΑ 3-8: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΟΘΟΝΗ (ΣΥΣΤΗΜΑ SITUATION)	84
ΕΙΚΟΝΑ 3-9: ΒΑΣΙΚΗ ΟΘΟΝΗ (ΣΥΣΤΗΜΑ SITUATION)	85
ΕΙΚΟΝΑ 3-10: ΟΘΟΝΗ ΑΡΧΙΚΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ (ΣΥΣΤΗΜΑ SITUATION)	85
ΕΙΚΟΝΑ 3-11: ΟΘΟΝΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ / ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ (ΣΥΣΤΗΜΑ SITUATION)	86
ΕΙΚΟΝΑ 3-12: ΟΘΟΝΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΛΥΣΗΣ (ΣΥΣΤΗΜΑ SITUATION)	86
ΕΙΚΟΝΑ 3-13: ΟΘΟΝΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΛΥΣΗΣ (ΣΥΣΤΗΜΑ S-DISTANCE)	89
ΕΙΚΟΝΑ 3-14: ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΟΘΟΝΕΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΥΣΗΣ (ΣΥΣΤΗΜΑ S-DISTANCE)	89
ΕΙΚΟΝΑ 3-15: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (ΣΥΣΤΗΜΑ S-DISTANCE)	90
ΕΙΚΟΝΑ 3-16: ΟΘΟΝΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΣΥΣΤΗΜΑ S-DISTANCE)	90
ΕΙΚΟΝΑ 4-1: S-DISTANCE (ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ)	114
ΕΙΚΟΝΑ 4-2: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ IMPORT COVERAGE (ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ)	116
ΕΙΚΟΝΑ 4-3: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ SHORTEST PATHS (ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ)	118
ΕΙΚΟΝΑ 4-4: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΡΤΕΛΑΣ MAP (ΧΑΡΤΗ)	120
ΕΙΚΟΝΑ 4-5: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΡΤΕΛΑΣ DATA (ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΜΒΩΝ)	121
ΕΙΚΟΝΑ 4-6: ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ SOLUTION (ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ)	123
ΕΙΚΟΝΑ 4-7: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΡΤΕΛΑΣ ALGORITHMS / SUBSTITUTION	128
ΕΙΚΟΝΑ 4-8: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΡΤΕΛΑΣ ALGORITHMS / LAGRANGE	130
ΕΙΚΟΝΑ 4-9: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΡΤΕΛΩΝ PROBLEM / ΜΟΒ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ M1	137
ΕΙΚΟΝΑ 4-10: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΡΤΕΛΩΝ PROBLEM / ΜΟΒ ΓΙΑ ΤΟ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ M1	140
ΕΙΚΟΝΑ 4-11: ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	142
ΕΙΚΟΝΑ 4-12: ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΟΣ ΚΟΜΒΟΥ ΩΣ ΣΤΑΘΕΡΟ	149

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ 2-1: ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ.....	37
ΓΡΑΦΗΜΑ 2-2: ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΔΙΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	38
ΓΡΑΦΗΜΑ 4-1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (Α)	143
ΓΡΑΦΗΜΑ 4-2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (Β).....	144
ΓΡΑΦΗΜΑ 4-3: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ .	150
ΓΡΑΦΗΜΑ 4-4: ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	151

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

ΧΑΡΤΗΣ 4-Α1: ΠΛΥΘΗΣΜΟΣ 2001.....	154
ΧΑΡΤΗΣ 4-Α2: ΚΟΜΒΟΙ ΖΗΤΗΣΗΣ (ΜΑΘΗΤΕΣ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΕΔΕΥΣΗΣ 2001)	155
ΧΑΡΤΗΣ 4-Α3: ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΡΙΠΟΛΗΣ.....	156
ΧΑΡΤΗΣ 4-Α4: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ.....	157
ΧΑΡΤΗΣ 4-ΑΞ1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ 12 ΣΧΟΛΕΙΩΝ.....	158
ΧΑΡΤΗΣ 4-ΑΞ2: ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΛΥΣΕΙΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΙΣ 12 ΣΧΟΛΕΙΩΝ	159
ΧΑΡΤΗΣ 4-Π1: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΜΙΑΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	160
ΧΑΡΤΗΣ 4-Π2: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΙΣ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ ΕΚΤΟΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ (2-6).....	161

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ANOVA.....	Analysis Of Variance
ΓΣΠ.....	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
CAD.....	Computer Aided Design
ΕΠΑ.....	Επιχείρηση Πολεοδομική Ανασυγκρότηση
GIS.....	Geographic Information Systems
ΙΧ.....	Ιδιωτικής Χρήσης
κ.α.	και αλλού (στη βιβλιογραφία)
κ.ά.	και άλλοι (στη βιβλιογραφία) ή και άλλα (-ες)
κ.λπ.	και τα λοιπά
LADSS.....	Location-Allocation Decision Support Systems
LOLA.....	Library Of Location Algorithms
ΟΤ.....	Οικοδομικό (-α) Τετράγωνο (-α)
ΣΑΣ.....	Συστήματα Αυτοματοποιημένης Σχεδίασης
ΣΑΣΧΚ.....	Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων Χωροθέτησης- Κατανομής
ΣΣΧΑ.....	Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων
ΥΧΟΠ.....	Υπουργείο Χωροταξίας Οικισμών και Περιβάλλοντος (πρώην)
ΧΥΤΑ.....	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Καθημερινά λαμβάνονται χωροθετικές αποφάσεις, τόσο σε επίπεδο ατόμου όσο και σε επίπεδο ιδιωτικού και δημοσίου τομέα. Για παράδειγμα, η περιοχή που θα επιλέξει να εγκατασταθεί μια οικογένεια μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα ζωής της. Εάν, λόγου χάρη, το πλησιέστερο δημοτικό σχολείο είναι σε μικρή απόσταση με τα πόδια, τότε τα παιδιά της οικογένειας δεν χρειάζονται μεταφορικό μέσο (λεωφορείο, Ι.Χ.) για τη μετάβαση από και προς το σχολείο. Το ίδιο ισχύει και για τον τόπο εργασίας, ο οποίος θα ήταν επιθυμητό να βρίσκεται σε μικρή χρονο-απόσταση από την κατοικία, χρησιμοποιώντας τις αστικές συγκοινωνίες ή Ι.Χ. Από την άλλη, αν το σπίτι είναι κοντά σε κάποιο εργοστάσιο, νυχτερινό κέντρο ή άλλη πηγή όχλησης, τότε η ποιότητα ζωής μπορεί να υποβαθμιστεί σημαντικά. Ανάλογα, στον ιδιωτικό τομέα πρέπει να χωροθετηθούν γραφεία, μονάδες παραγωγής, κέντρα διανομής και καταστήματα λιανικής πώλησης. Μέτριες χωροθετικές αποφάσεις συνεπάγονται μεγαλύτερο κόστος παραγωγής / λειτουργίας και μειωμένη ανταγωνιστικότητα (Daskin, 1995). Στην περίπτωση του δημοσίου τομέα χωροθετούνται σχολεία, νοσοκομεία, εκλογικά κέντρα, πυροσβεστικοί σταθμοί, ασθενοφόρα, οχήματα της τροχαίας κ.λπ. Οι χωροθετικές αποφάσεις σ' αυτό τον τομέα καθορίζουν, εν μέρει, το επίπεδο εξυπηρέτησης των πολιτών και την αποτελεσματικότητα διαχείρισης εκτάκτων αναγκών. Είναι προφανές ότι προτού ληφθούν χωροθετικές αποφάσεις, σε οποιονδήποτε τομέα, πρέπει να συνεκτιμηθούν διάφοροι παράγοντες που θα οδηγήσουν στη λήψη της βέλτιστης απόφασης.

Ήδη από τις αρχές του 20ού αιώνα, εφαρμόζονταν τεχνικές ποσοτικοποίησης και επίλυσης χωρικών προβλημάτων. Με τη ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων και τη βελτίωση των μεθόδων επίλυσης, οι τεχνικές αυτές άρχισαν να χρησιμοποιούνται και σε, μεγάλης κλίμακας, πραγματικά προβλήματα χωροθέτησης. Η μοντελοποίηση και η αλγοριθμική επίλυση ενός χωροθετικού προβλήματος, προσφέρει μαθηματικά βέλτιστες λύσεις οι οποίες βασίζονται σε συγκεκριμένα δεδομένα και υπόκεινται σε σαφείς περιορισμούς.

Παρ' όλα αυτά, *δύο παράγοντες περιορίζουν* την ευρύτερη αποδοχή των προτεινόμενων από τα μοντέλα χωροθετήσεων, ως βέλτιστων. Πρώτον, σε αρκετές περιπτώσεις, μη ποσοτικοποιούμενοι στόχοι και περιορισμοί επηρεάζουν τις επιλογές

θέσης σε μεγάλο βαθμό. Δηλαδή, οι ποιοτικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις αποφάσεις επιλογής θέσης είναι ιδιαίτερα κρίσιμοι. Επομένως, στο βαθμό που η διαδικασία χωροθέτησης αγνοεί ποιοτικά κριτήρια και παραμέτρους, οι θέσεις που εντοπίζονται από τα μοντέλα είναι βέλτιστες, με τη μαθηματική (περιορισμένη) έννοια του όρου. Δεύτερον, η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος προσφοράς και ζήτησης επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων ένας μόνο από τους οποίους είναι η θέση. Για παράδειγμα, η ικανότητα του πληρώματος ενός ασθενοφόρου να σώζει ζωές (ένας στόχος σχεδόν αποκλειστικά συνδεδεμένος με τη συγκεκριμένη υπηρεσία) εξαρτάται όχι μόνον από την απόσταση μεταξύ του σταθμού των ασθενοφόρων και της περιοχής του περιστατικού (η οποία, σε κάποιο βαθμό, μπορεί να μετρηθεί και να βελτιστοποιηθεί) αλλά και σε επιπλέον παράγοντες όπως (α) η εκπαίδευση και οι ικανότητες του προσωπικού, (β) η ενημέρωση του κοινού σε θέματα όπως η παροχή πρώτων βοηθειών και η ανάγκη ή όχι κλήσης ασθενοφόρου, (γ) η ύπαρξη κάποιου αριθμού κλήσης για τέτοιες περιπτώσεις (όπως το 166) και (δ) η τεχνολογία και οι εν γένει διαδικασίες που χρησιμοποιούνται από το ιατρικό προσωπικό (Φώτης, 1997).

Έχοντας υπόψη, πρώτον, εξωγενείς ποιοτικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις αποφάσεις επιλογής θέσης και, δεύτερον, παράγοντες που ενώ δε σχετίζονται με τη θέση επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, μπορεί να προκύψει το εύλογο ερώτημα: *Γιατί θα πρέπει να αναπτυχθούν και να αξιοποιηθούν μαθηματικά μοντέλα χωροθέτησης;* Για τη συγκεκριμένη ερώτηση υπάρχουν αρκετές απαντήσεις. Πρώτον, αν και η θέση δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την επιτυχία ή την αποτυχία μιας λειτουργίας, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ο κρίσιμος. Στο παραπάνω παράδειγμα, αν τα ασθενοφόρα χωροθετηθούν σε λάθος σημεία, οι μέσοι χρόνοι απόκρισης και αντίδρασης θα αυξηθούν και εξίσου αναμένεται να αυξηθεί και η θνησιμότητα. Δεύτερον, αν και οι εξωγενείς ποιοτικοί παράγοντες επηρεάζουν τις αποφάσεις επιλογής θέσης, τα μαθηματικά μοντέλα είναι εκείνα που επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση της υποβάθμισης των ποσοτικών στόχων που προκαλείται από την αναγνώριση των ποιοτικών κριτηρίων. Τρίτον, η διαδικασία μοντελοποίησης (προσδιορισμός των κριτηρίων και των περιορισμών και συλλογή των στοιχείων) πολύ συχνά βελτιώνει την ποιότητα των αποφάσεων που λαμβάνονται ακόμα και αν τα μοντέλα δεν χρησιμοποιηθούν ποτέ. Τέταρτον, υπάρχουν προβλήματα μη-χωροθετικής φύσης για την επίλυση των οποίων προσδιορίζονται μοντέλα παρόμοια με αυτά που θα

παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια. Για παράδειγμα, το πρόβλημα της επιλογής των εργαλείων σε ένα ευέλικτο κατασκευαστικό περιβάλλον είναι μαθηματικά συναφές με εκείνο της χωροθέτησης ασθενοφόρων σε μια πόλη (Daskin, Jones and Lowe, 1990).

Από την άλλη πλευρά, στο παρελθόν (και σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και σήμερα) δεν ήταν ασυνήθιστο για μια ομάδα εμπειρογνομόνων, να ανέβει σε κάποιο λεωφορείο και να κάνει το γύρο της περιοχής μελέτης. Κατά τη διάρκεια του γύρου, λαμβάνονταν κρίσιμες αποφάσεις, όπως πού να ανοίξουν νέες λειτουργίες, ποιες να αναβαθμιστούν και ποιες να κλείσουν. Μια τέτοια προσέγγιση κάθε άλλο παρά συστηματική μπορεί να θεωρηθεί (Daniel, 1992). Αντίθετα, πολλοί ερευνητές, βασισμένοι μόνο σε λεπτομερείς χάρτες, μπορούν να βρουν αποτελεσματικές λύσεις για ορισμένα είδη χωροθετικών προβλημάτων (Massam, 1975). Οι αλγόριθμοι των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όμως, πλεονεκτούν σημαντικά, εφόσον μπορούν με ευκολία να εκτιμούν θέσεις σε σχέση με μια ποικιλία από αντικειμενικούς στόχους και να δείχνουν την επίδραση που έχουν διαφορετικοί βαθμοί ανάγκης, ζήτησης ή κινητικότητας στη γεωγραφική ποσότητα μιας ομάδας ατόμων (Φώτης, 1997).

Με άλλα λόγια, ο άνθρωπος υπερέχει σε διορατικότητα και γνώση των βαθύτερων, ποιοτικών χαρακτηριστικών των χωροθετικών προβλημάτων, ενώ οι αλγόριθμοι ηλεκτρονικών υπολογιστών υπερέχουν στην ανάλυση σύνθετων ποσοτικών παραμέτρων και στη συστηματική αξιολόγηση πιθανών εναλλακτικών λύσεων. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι με το συνδυασμό και των δυο μπορεί να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν ειδικά Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων - ΣΣΧΑ (*Spatial Decision Support Systems - SDSS*), τα οποία “μέσω ενός απλού αλλά ευέλικτου περιβάλλοντος υποβοηθούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων”. Δυστυχώς, τα υφιστάμενα ΣΣΧΑ, ενώ ως επί το πλείστον παρέχουν σημαντικές δυνατότητες ανάλυσης, πάσχουν στον τομέα της διασύνδεσης με το χρήστη (*User Interface - UI*), ενώ ακόμα φτωχότερη είναι η αλληλεπίδραση Συστήματος - Λήπτη Αποφάσεων. Επίσης, πολλές φορές, η πολυπλοκότητά τους αποτρέπει το μέσο χρήστη απ’ το να τα χρησιμοποιήσει (Ugan, 2003 κ.α.).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής, είναι η δημιουργία ενός πραγματικά αλληλεπιδραστικού και ευέλικτου Συστήματος Στήριξης Χωροθετικών Αποφάσεων (λογισμικό), στο οποίο ο χρήστης να μπορεί να επεμβαίνει δυναμικά στον προσδιορισμό της λύσης και στη σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων. Το λογισμικό, συνδυάζει στοιχεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - ΓΣΠ (*Geographic Information Systems - GIS*) και μεθόδων Χωροθέτησης-Κατανομής (*Location-Allocation*), κάτω από ένα

ενοποιημένο και εύχρηστο περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ενσωμάτωση χαρακτηριστικών, τα οποία να υποβοηθούν στο μέγιστο βαθμό τη διαδικασία λήψης χωροθετικών αποφάσεων. Επιπλέον, χαρακτηριστικά τα οποία δεν θα πρόσφεραν ουσιαστική βοήθεια και θα υποβάθμιζαν τη λειτουργικότητα του συστήματος δεν συμπεριλήφθηκαν στο λογισμικό.

Πρέπει να αναφερθεί, ότι το λογισμικό βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης (έκδοση 0.5.34). Παρ' όλα αυτά, είναι πλήρως λειτουργικό, και έχει ήδη εφαρμοστεί πειραματικά για την επίλυση πραγματικών χωροθετικών προβλημάτων μικρής και μεγάλης κλίμακας (Βόλος, Τρίπολη, σύνολο Καποδιστριακών Δήμων κ.α.). Μια πρόωμη έκδοση του λογισμικού (0.2.49) παρουσιάστηκε στη 12η Συνάντηση Ελλήνων Χρηστών GIS ArcInfo - ArcView που διοργάνωσε η Marathon Data Systems (7-8/11/2002). Το αρχικό ερέθισμα για την ενασχόληση με το όλο εγχείρημα δόθηκε το 2001, στο μάθημα επιλογής *Υποδείγματα Χωροθέτησης Λειτουργιών* με διδάσκοντα τον κ. Γιώργο Φώτη, όπου και διαπιστώθηκε η έλλειψη ενός τέτοιου εργαλείου. Παρόλο που υπήρχαν αρκετές βάσεις στον τομέα του προγραμματισμού Η/Υ, η συγγραφή του λογισμικού ήταν μια διαρκής εμβάθυνση, αφενός στις διάφορες τεχνικές αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, δομών δεδομένων, βελτιστοποίησης κώδικα και, αφετέρου, στη θεωρία χωροθέτησης και στην υλοποίηση μοντέλων και αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους χωροθέτησης-κατανομής.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κορμός της παρούσας διπλωματικής αποτελείται από τρεις βασικές ενότητες:

- Στην πρώτη ενότητα (2ο κεφάλαιο) εξετάζεται η **σημασία της θέσης στο χωροθετικό σχεδιασμό**, ενώ αναλύεται και η ίδια η **διαδικασία του χωροθετικού σχεδιασμού**. Κατόπιν, γίνεται μια επισκόπηση των **βασικών προβλημάτων και μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής** καθώς και των **βασικών μεθόδων επίλυσης** αυτών των προβλημάτων (**αλγόριθμοι**).
- Στη δεύτερη ενότητα (3ο κεφάλαιο) παρουσιάζονται τα **βασικά χαρακτηριστικά ενός Συστήματος Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων (ΣΣΧΑ)**, καθώς και οι κύριοι λόγοι για τους οποίους αυτά δεν χρησιμοποιούνται σε **μεγάλη κλίμακα**. Επίσης, παρουσιάζεται το **πείραμα** των Crossland κ.ά. (1995),

το οποίο διερευνά την **αποτελεσματικότητα** ενός ΣΣΧΑ. Επιπλέον, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε μια ειδικότερη κατηγορία ΣΣΧΑ, **στα Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων Χωροθέτησης-Κατανομής**, και **επισκόπηση υφιστάμενων λογισμικών**.

- Στην τρίτη ενότητα (4ο κεφάλαιο) γίνεται **εκτενής εφαρμογή του λογισμικού που σχεδιάστηκε**, αναλύοντας αφενός τις **προδιαγραφές που πρέπει να έχουν τα δεδομένα** και αφετέρου γίνεται **επίλυση χωροθετικών προβλημάτων σε μια πραγματική περιοχή μελέτης (Τρίπολη)**. Αυτό το κεφάλαιο, μπορεί να αποτελέσει και ένα είδος εγχειριδίου χρήσης του λογισμικού.

**ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ**

2. ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

2.1 ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.1.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

Για πολλούς αιώνες, η θέση ήταν μια μεταβλητή την οποία αγνοούσαν συστηματικά τόσο οι φυσικές όσο και οι κοινωνικές επιστήμες.. Μόνο στις αρχές του 20ού αιώνα οι επιστήμονες άρχισαν να προβληματίζονται με ερωτήματα του τύπου: *είναι δυνατόν μέρος της διαφοροποίησης στην παρατηρούμενη τιμή μιας ή περισσότερων μεταβλητών να αποδοθεί στη διαφορετική γεωγραφική θέση των σημείων όπου έχουμε μετρήσεις;.* Η καταφατική απάντηση στο ερώτημα αυτό οδήγησε, αργότερα, τους ερευνητές σε νέα ερωτήματα που ακολουθούν λογικά. Για παράδειγμα, *αν η γεωγραφική θέση των σημείων, όπου έχουμε μετρήσεις για τις τιμές μιας ή περισσότερων μεταβλητών, αλλάζει θα αλλάζουν και οι τιμές των μεταβλητών αυτών;* Οι ερευνητικές προσπάθειες των γεωγράφων απέδειξαν ξανά ότι αλλαγές στη γεωγραφική θέση συνεπάγονται αλλαγές στις τιμές των μεταβλητών. Βασισμένοι σ' αυτά τα αποτελέσματα, οι ερευνητές άρχισαν, γύρω στο 1930, να κάνουν ερωτήσεις διαφορετικής μορφής. Συγκεκριμένα άρχισαν να ρωτούν: *εάν θέλουμε μια ή περισσότερες μεταβλητές να πάρουν μια μέγιστη ή ελάχιστη τιμή, μπορεί αυτό να επιτευχθεί με την επαναχωροθέτηση ορισμένων σημείων σε άλλες θέσεις; Και εάν αυτό είναι δυνατό, ποιες είναι αυτές οι καινούριες θέσεις;* (Φώτης, 2000).

Βασικά, λοιπόν, ο τελευταίος αιώνας χαρακτηρίζεται από τρία είδη ερωτήσεων σχετικά με τη γεωγραφική θέση. Πρώτον, τις ερωτήσεις που έχουν να κάνουν με δηλώσεις για το περιεχόμενο μιας περιοχής, δεύτερον τις ερωτήσεις σχετικά με την επίδραση της θέσης και των χωρικών σχέσεων στις τιμές των μεταβλητών που μετρώνται σε διαφορετικά χωρικά σημεία και τρίτον, τις ερωτήσεις που αναφέρονται στις βέλτιστες χωροθετήσεις ενός συνόλου αντικειμένων, ούτως ώστε μια ή περισσότερες μεταβλητές να αποκτήσουν μια μέγιστη ή ελάχιστη τιμή (Rushton, 1978).

Αυτό το κεφάλαιο είναι αφιερωμένο σε ένα σύνολο μεθόδων (υποδειγμάτων), που μπορούν να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήσεις του τρίτου είδους. Εξετάζοντας τα υποδείγματα αυτά, υιοθετείται ένας διαφορετικός τρόπος ανάλυσης, ο οποίος έχει να κάνει με την εύρεση βέλτιστων χωροθετικών προτύπων προκειμένου να επιτευχθούν προκαθορισμένοι στόχοι. Επομένως, με αυτό τον τρόπο, εγκαταλείπεται η

περιγραφική επιστήμη και υιοθετείται η **προδιαγραφική** (κανονιστική) επιστήμη. Δηλαδή, το κύριο ενδιαφέρον μετατοπίζεται από την *εξήγηση* των χωρικών προτύπων και διαδικασιών που υπάρχουν στην πραγματικότητα, στη *δημιουργία θεωρήσεων* οι οποίες να *προδιαγράφουν* πώς *πρέπει να είναι* αυτά τα πρότυπα ή οι διαδικασίες (Φώτης, 2000).

Η κανονιστική αυτή προσέγγιση στη λύση χωρικών προβλημάτων είναι ιδιαίτερα επίκαιρη στην Ελλάδα, όπου χωρικές ανισότητες και προβλήματα απαιτούν τέτοιες κανονιστικές λύσεις. Κλασικό παράδειγμα εφαρμογής των μεθόδων αυτών, είναι στην αποτελεσματική και ίση παροχή υπηρεσιών, μέσα από το δίκτυο των αστικών οικισμών, σε ολόκληρο τον πληθυσμό της χώρας, που μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη βοήθεια κανονιστικών μεθόδων. Πραγματικά, ανεξάρτητα από τις φιλολογικές συζητήσεις γύρω από το ρόλο των αστικών οικισμών στην ανάπτυξη της υπαίθρου, είναι αποδεδειγμένο ότι, ενώ χρειάζεται να αντιμετωπιστούν οι χωρικές διαφορές (*πόλη - ύπαιθρο*) που σαφώς υπάρχουν, δεν πρέπει να αγνοούνται οι φανερές οικονομίες κλίμακας (*economies of scale*) στην παροχή των αγαθών και υπηρεσιών στον πληθυσμό της υπαίθρου. Με άλλα λόγια, η ύπαρξη ενός αποδοτικού συστήματος από κέντρα παροχής υπηρεσιών (εξυπηρέτησης) είναι αναγκαία συνθήκη για την ευημερία της υπαίθρου. Σύμφωνα με τον γνωστό ερευνητή της περιφερειακής επιστήμης Richardson, «*η σχεδιασμένη αστική ανάπτυξη είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για μια επιτυχημένη και βασισμένη στην ύπαιθρο αναπτυξιακή προσέγγιση [...γιατί, η σχεδιασμένη αστική ανάπτυξη απαιτείται] για να σταθεροποιήσει το οικιστικό πλέγμα και να δημιουργήσει ένα ιεραρχημένο σύστημα για την παροχή των βασικών υπηρεσιών στον πληθυσμό της υπαίθρου*» (Richardson, 1972).

Γενικά, μια εξέταση, έστω και επιπόλαια, των εμπειρικών εφαρμογών αλλά και των θεωρητικών αναζητήσεων γύρω από τον περιφερειακό σχεδιασμό, δείχνει καθαρά ότι τα τελευταία 20 χρόνια αποτελούν μια σπουδαία περίοδο αλλαγών στον τρόπο αντιμετώπισης της περιφερειακής ανάπτυξης και στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων ανάπτυξης. Συγκεκριμένα, με την πάροδο του χρόνου, έχει αναγνωριστεί ότι ο σχεδιασμός για την περιφερειακή ανάπτυξη δεν έχει οδηγήσει, όπως αναμενόταν, σε μια *ισόρροπη* ανάπτυξη. Ένας βασικός λόγος ύπαρξης αυτού του προβλήματος, οφείλεται στο γεγονός ότι σε πολλά σχέδια περιφερειακής ανάπτυξης, λείπει η έννοια **του χώρου**. Η περιφερειακή ανάπτυξη που βασίζεται αποκλειστικά στον προγραμματισμό των διάφορων τομέων της οικονομίας, είναι

ιδιαίτερα ανεπιτυχής για χώρες όπως η Ελλάδα, όπου χωρικές ανισότητες στην ανάπτυξη είναι οι ίδιες βασικά προβλήματα προγραμματισμού (Φώτης, 2000).

Συνακόλουθο αυτής της κριτικής, η οποία προήλθε από πολλούς επιστημονικούς χώρους (γεωγράφοι, περιφερειολόγοι κ.λπ.), υπήρξε η αναγνώριση, σε παγκόσμιο επίπεδο, της σπουδαιότητας των προβλημάτων χωρικής κατανομής (spatial distribution). Συγκεκριμένα, όλες οι κυβερνήσεις άρχισαν να αναγνωρίζουν την ανάγκη για βοήθεια περιοχών με χαμηλό εισόδημα και να προγραμματίζουν την ανάπτυξη των προβληματικών ή μη ανεπτυγμένων περιοχών. Δηλαδή, αναγνωρίστηκε ότι η **θέση** (location) έχει επιπτώσεις στα αναπτυξιακά προγράμματα και έργα. Πιο συγκεκριμένα αναγνωρίστηκε ότι η θέση ή κάτι που χωροθετείται, έχει επιπτώσεις:

- **Στο Κόστος:** διαφορετικές θέσεις για το κέντρο παραγωγής ή παροχής υπηρεσιών αντιπροσωπεύουν διαφορετικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.
- **Στην Αποδοτικότητα:** Η θέση ενός κέντρου επιδρά στην αποδοτικότητα των προγραμμάτων που απαιτούν τη δημιουργία τους.
- **Στα άλλα Κέντρα:** Η θέση ενός κέντρου επιδρά θετικά ή αρνητικά στο κόστος, την αποδοτικότητα και τη χρήση των άλλων κέντρων.

Οι ασχολούμενοι με τον περιφερειακό σχεδιασμό, επομένως, πρέπει να αναλύουν αυτές τις χωρικές συνιστώσες, ώστε να μπορούν να εκτιμούν πώς μια χωρική απόφαση θα επιδράσει στις επόμενες φάσεις της αναπτυξιακής διαδικασίας (Φώτης, 2000).

2.1.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η διαδικασία του χωροθετικού σχεδιασμού, όπως και γενικότερα κάθε διαδικασία σχεδιασμού, χωρίζεται σε τρία αλληλένδετα στάδια: (α) τον καθορισμό του προβλήματος, (β) τη διαδικασία επίλυσης (μετατροπή στοιχείων σε πληροφορία) και (γ) τα συμπεράσματα (Κουτσόπουλος, 1990).

Ο καθορισμός του προβλήματος περιλαμβάνει την αναγνώριση των σημαντικών επιμέρους παραμέτρων, λειτουργικών ορισμών και υποθέσεων της διαδικασίας του σχεδιασμού και τον προσδιορισμό του ρόλου τον οποίο διαδραματίζουν, καθώς και την αναγνώριση των ανεπιθύμητων καταστάσεων και περιορισμών και τις δυνατότητες αντιμετώπισής τους. Η ανάλυση του προβλήματος αποτελεί το νευραλγικό κέντρο της διαδικασίας και αποτελείται από όλες εκείνες τις κινήσεις που τείνουν να

απλουστεύσουν το πρόβλημα σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μπορεί να αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά από τις υπάρχουσες μεθοδολογίες και τεχνικές (Φώτης, 1997). Η επιλογή της στρατηγικής επίλυσης του προβλήματος που θα ακολουθηθεί και η υιοθέτηση κάποιων ειδικών υποθέσεων και παραδοχών, είναι μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα κινήσεων που πιθανόν να γίνουν κατά τη διάρκεια ανάλυσης του προβλήματος. Το τελευταίο στάδιο αποτελείται από τις κινήσεις που αποσαφηνίζουν και τελικά επιλύουν το πρόβλημα, παρουσιάζοντας και αξιολογώντας τις προτεινόμενες λύσεις και εκθέτοντας τα συμπεράσματα από την όλη διαδικασία.

Γενικότερα όμως, όσο περισσότερες πληροφορίες παρέχονται στους λήπτες αποφάσεων, τόσο συχνότερα οδηγούν σε επανακαθορισμό του προβλήματος, αναδεικνύοντας τη δυναμική, τη συνεχή αλλά και την ανακυκλωτική φύση της διαδικασίας (Φώτης, 1997). Με δεδομένη την παραπάνω παραδοχή, η επιμέρους διαφοροποίηση και κατ' επέκταση η πολυπλοκότητα του χωροθετικού σχεδιασμού εντοπίζεται καταρχήν:

(α) *Στις συσχετίσεις και εσωτερικές ισορροπίες μεταξύ των προτεινόμενων χωροθετήσεων και του περιβάλλοντος στο οποίο αυτές εφαρμόζονται. Τελικά δηλαδή, μεταξύ των αρχικών δεδομένων (χαρακτηριστικά δικτύων, στόχοι συγκεκριμένης πολιτικής) και του αποτελέσματος μετά τη διαδικασία του σχεδιασμού (περιφερειοποίηση).*

(β) *Στο ρόλο που διαδραματίζουν οι κύριοι πρωταγωνιστές που ενέχονται στη διαδικασία του χωροθετικού σχεδιασμού. Δηλαδή, οι λήπτες αποφάσεων, οι οποίοι επιδιώκουν να επιλύσουν ένα πρόβλημα στην υπό μελέτη περιοχή, οι αναλυτές, οι οποίοι βοηθούν τους λήπτες αποφάσεων στην επίλυση του προβλήματος και η τεχνολογία (Συστήματα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Αλγόριθμοι και Λογισμικό) που χρησιμοποιείται.*

(γ) *Στο βαθμό στον οποίο βραχυπρόθεσμες επενδύσεις για τη χωροθέτηση μονάδων παροχής υπηρεσιών θα αντισταθμιστούν από τη μελλοντική ζήτηση. Κατά συνέπεια στην αποφυγή λαθών που προκύπτουν από τη λανθασμένη ή μη εκτίμηση της διαφοροποίησης κρίσιμων παραμέτρων του προβλήματος, όπως του μελλοντικού μεγέθους της ζήτησης για παροχή υπηρεσιών, σε συνδυασμό με πιθανές ιδιαιτερότητες στη χωρική της κατανομή. Τα παραπάνω φαινόμενα είναι δυνατόν να δώσουν λανθασμένες ενδείξεις στους λήπτες αποφάσεων, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις μεταφράζονται σε δαπανηρές και αναποτελεσματικές χωροθετήσεις λειτουργιών και κατανομές των εξυπηρετούμενων πληθυσμών.*

Μέσα στο πλαίσιο του χωροθετικού σχεδιασμού και της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, υπάρχει ανάγκη για ένα αναλυτικό σύστημα, το οποίο να έχει τη δυνατότητα να παρέχει απαντήσεις τόσο σε περιγραφικές - αναλυτικές όσο και σε κανονιστικές (*normative*) ερωτήσεις. Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίζει θέματα τα οποία σχετίζονται με:

- **Σωστές αναφορές και εκτιμήσεις** για το περιεχόμενο των περιφερειών (*contents of areas*).
- **Την επίδραση της θέσης** και των χωρικών αλληλεπιδράσεων στις τιμές των στοιχείων (*μεταβλητών*) οι οποίες μετριοούνται σε διάφορα σημεία του χώρου.
- **Βέλτιστη χωροθέτηση** ενός συνόλου αντικειμένων, ώστε μια ορισμένη μεταβλητή ή μεταβλητές να αποκτήσουν μια μέγιστη ή ελάχιστη τιμή -ες.

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

- **Θεωρία Χωροθέτησης** (*Location Theory*), η οποία παραδοσιακά ασχολείται με ερωτήματα “βελτιστοποίησης” της χωρικής οργάνωσης καθώς και “αποδοτικά” χωρικά πρότυπα για την παροχή υπηρεσιών.
- **Θεωρία Περιφερειακής Ανάπτυξης** (*Regional Development Theory*), η οποία έχει προχωρήσει από το αρχικό ενδιαφέρον της σχετικά με τα ερωτήματα περιφερειακής ανάπτυξης και παραγωγής, σε θέματα περιφερειακών ανισοτήτων, αστικών - αγροτικών δεσμών και προβλήματα στις μη ανεπτυγμένες περιοχές.
- **Χωρική Ανάλυση** (*Spatial Analysis*), η οποία εστιάζεται στην ανάπτυξη μεθόδων για την αξιολόγηση υπαρχόντων και προτεινόμενων προτύπων χωρικής οργάνωσης.

Μεθοδολογίες, όμως, με δυνατότητες και ερευνητικούς συνδυασμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία μόνο αν υπάρχουν κατάλληλες μέθοδοι ανάλυσης, οι οποίες να μπορούν να αναγνωρίσουν καθορισμένες αδυναμίες στη δομή του υπάρχοντος συστήματος παροχής υπηρεσιών, να υποδείξουν τις βέλτιστες αλλαγές στο υπάρχον σύστημα και είναι δυνατές μέσα στο πλαίσιο των διαθέσιμων πόρων και της πολιτικής κατάστασης. Προσπάθειες, μέχρι πρόσφατα, να

βρεθούν τέτοιες μέθοδοι δεν υπήρξαν επιτυχείς, γιατί οι μέθοδοι που προτάθηκαν, ήταν ουσιαστικά περιγραφικές για φαινόμενα και λύσεις κανονιστικής φύσεως (Φώτης, 2000).

Έτσι, παρά τη μεγάλη ανάγκη για την ανάπτυξη μεθόδων κανονιστικής φύσης για την επίλυση χωρικών προβλημάτων, η βιβλιογραφία γύρω από τις θεωρίες χωροθέτησης και τις εφαρμογές τους, δεν δείχνει να έχει ανταποκριθεί σ' αυτό το σημαντικό κάλεσμα. Επιπλέον, κατά την ανασκόπηση της αντίστοιχης βιβλιογραφίας προκύπτει το εξής παράδοξο: οι πρώτοι μελετητές της θεωρίας της **κεντρικής θέσης**, η οποία είναι η θεωρητική βάση για την ανάλυση των χωρικών συστημάτων παροχής υπηρεσιών, να είναι περισσότερο σχετικοί και να ανταποκρίνονται πιο πολύ στις σημερινές ανάγκες μας, παρά οι νεότεροι μελετητές (Φώτης, 2000 κα).

Πράγματι, οι θεμελιωτές αυτής της περιοχής γεωγραφικής έρευνας, οι Christaller (1993) και Losh (1938, 1954), έχοντας ως αφετηρία βέλτιστες συνθήκες, προχώρησαν στη διαμόρφωση κανονιστικών χωροθετικών συστημάτων ή, όπως είναι γνωστή, στη θεωρία της κεντρικής θέσης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των εργασιών αυτών, είναι ότι τα συστήματα κεντρικής θέσης, που διατύπωσαν, ήταν αποτέλεσμα κανονιστικών υποθέσεων, σχετικά με τα αντικειμενικά κριτήρια που έπρεπε να βελτιστοποιηθούν και των κανονιστικών περιορισμών, κάτω από τους οποίους κάθε σύστημα όφειλε να αναπτυχθεί. Όμως, παρά το γεγονός ότι η θεωρία της κεντρικής θέσης είχε αναπτυχθεί με βάση τέτοιες κανονιστικές συνθήκες βελτιστοποίησης, οι περισσότερες μεταγενέστερες μελέτες, που στηρίζονταν σ' αυτή τη θεωρία, έδωσαν έμφαση κυρίως στην περιγραφή των λειτουργικών ιεραρχιών. Σπάνια, για παράδειγμα, μελέτες ανάλυσης της θέσης των υπηρεσιών έχουν θέσει το ερώτημα κατά πόσον οι υπηρεσίες βρίσκονται σε βέλτιστη θέση αναφορικά με τον πληθυσμό τον οποίο εξυπηρετούν. Δηλαδή, παρά το γεγονός ότι οι μελέτες αυτές παρέχουν χρήσιμα περιγραφικά στοιχεία, αποτυγχάνουν να θέσουν μερικά σημαντικά χωροθετικά ερωτήματα. Συγκεκριμένα, υποστηρίζοντας ότι τα συστήματα παροχής υπηρεσιών στην ύπαιθρο θα μπορούσαν να γίνουν πιο αποδοτικά με την κατάλληλη οργάνωση, αποτυγχάνουν να υποδείξουν τεχνικές ικανές είτε να προσδιορίσουν ποσοτικά το υφιστάμενο επίπεδο χωροθετικής αποτελεσματικότητας είτε να προσδιορίσουν τις καλύτερες θέσεις για τις προτεινόμενες αλλαγές στο σύστημα και να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις εναλλακτικών χωροθετικών προγραμμάτων.

Συμπερασματικά, στη βιβλιογραφία της κεντρικής θέσης παρουσιάζεται μια έλλειψη ενδιαφέροντος για ερωτήσεις κανονιστικής φύσης, μολονότι τέτοιου είδους ερωτήσεις

είχαν τεθεί από τους πρώτους θεωρητικούς των χωροθετήσεων. Τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει μια ερευνητική προσπάθεια προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, με την ανάπτυξη των **υποδειγμάτων χωροθέτησης-κατανομής** (Lea, 1973, 1978). Όπως και με την κλασική θεωρία της κεντρικής θέσης, αυτή η ερευνητική περιοχή ξεκίνησε με τον καθορισμό κριτηρίων, τα οποία θα βελτιστοποιήσουν τη χωρική οργάνωση των συστημάτων παροχής υπηρεσιών. Έμφαση, όμως, δόθηκε στην ανάπτυξη αλγορίθμων για τη λύση των χωρικών προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός αυτής της ερευνητικής προσπάθειας ήταν να αποδείξει ότι για ορισμένες αντικειμενικές συναρτήσεις (*objective functions*) μπορούσαν να υπολογιστούν βέλτιστες λύσεις. Δηλαδή, η κατεύθυνσή της ήταν καθαρά κανονιστική. Αποτέλεσμα αυτής της ερευνητικής προσπάθειας υπήρξε η σημαντική πρόοδος στη δημιουργία μεθόδων για την επίλυση μιας ευρείας κλίμακας χωροθετικών προβλημάτων, τα οποία έχουν να κάνουν με την παροχή υπηρεσιών και αποτελούν το κύριο αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου.

2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας κρίσιμος παράγοντας για τη χωροθέτηση λειτουργιών είναι ο ίδιος ο χώρος. Η επιλογή της θέσης, η επιμέρους κατανομή της ζήτησης και η χρονική στιγμή εγκατάστασης των λειτουργιών, είναι πιθανότατα οι πλέον σημαντικές παράμετροι που καλούνται να εκτιμήσουν οι λήπτες αποφάσεων (Φώτης, 1997). Η συνδυαστική φύση των παραπάνω παραμέτρων καθιστά αδύνατη την ακριβή αξιολόγηση κάθε χωροθετικής λύσης χωρίς τη βοήθεια μεθοδολογικών εργαλείων. Επιπρόσθετα, η εύρεση της *βέλτιστης* χωροθετικής λύσης (προτύπου) απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων μοντέλων και αλγορίθμων, ειδικά σχεδιασμένων για την αντιμετώπιση χωροθετικών προβλημάτων.

Παρακάτω, γίνεται μια επισκόπηση των κλασικών μοντέλων και αλγορίθμων χωροθέτησης-κατανομής, τα οποία παρέχουν βέλτιστες –μαθηματικά– χωροθετικές λύσεις, οι οποίες ανταποκρίνονται σε ορισμένα αντικειμενικά κριτήρια. Οι προς χωροθέτηση λειτουργίες θα πρέπει να είναι όμοιες μεταξύ τους (π.χ. σχολεία, αποθήκες, ασθενοφόρα κ.λπ.). Τα αντικειμενικά κριτήρια συνίστανται στο να δημιουργήσουν χωροθετικά πρότυπα “ικανοποιητικής προσπέλασης” από την υφιστάμενη ή μελλοντική ζήτηση.

Στη γενική τους μορφή, τα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής πραγματεύονται το εξής πρόβλημα: Με δεδομένο ένα χωρικό σύστημα ζήτησης, να *χωροθετηθούν* κέντρα εξυπηρέτησης (λειτουργίες) και να *περιφερειοποιηθεί* ο χώρος ως προς αυτά τα κέντρα (κατανομή) κατά τον “καλύτερο δυνατό τρόπο” (Κουτσόπουλος, 1990). Όπου ο “καλύτερος δυνατός τρόπος” επιτυγχάνεται μέσω της βελτιστοποίησης κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης, όπου μεγιστοποιείται το όφελος ή ελαχιστοποιείται η απώλεια από τη χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων κέντρων εξυπηρέτησης (Φώτης, 1997). Η μαθηματική θεμελίωση των προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής έγινε από τον Fermat (1601-1655) και η πρώτη εφαρμογή τους από τον Weber (1909) για τη χωροθέτηση των καταστημάτων και των αποθηκών μιας επιχείρησης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος μεταφοράς των προϊόντων της.

Ένα από τα σημαντικότερα κοινά χαρακτηριστικά των προβλημάτων του χωροθετικού σχεδιασμού, είναι το σύνολο των μεταβλητών χάραξης πολιτικής που πρέπει να προσδιοριστούν κατά τη διάρκεια επίλυσής τους. Αν και είναι δύσκολος ο ομόφωνος προσδιορισμός ολόκληρου του φάσματος αυτών των μεταβλητών, από τη σχετική βιβλιογραφία και τις μέχρι σήμερα εφαρμογές τους, φαίνεται ότι οι κυριότερες και σημαντικότερες για τα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής είναι (Lolonis, 1990):

- **Οι λειτουργίες** (χαρακτηριστικά των υπηρεσιών) οι οποίες θα παρέχονται σε κάθε κέντρο
- **Ο αριθμός** των κέντρων που πρέπει να υπάρχουν
- **Οι θέσεις** των κέντρων
- **Η ζήτηση** που θα καλύπτεται από κάθε κέντρο
- **Το μέγεθος** του κάθε κέντρου
- **Η χρονική στιγμή** εγκατάστασης, μεταφοράς ή διακοπής λειτουργίας του κάθε κέντρου.

Ο προσδιορισμός των τιμών αυτών των μεταβλητών είναι συχνά πολύπλοκος, καθώς στα αρχικά στάδια της μελέτης του χωροθετικού σχεδιασμού οι στόχοι δεν είναι απόλυτα καθορισμένοι και κατά τη διάρκεια της επίλυσης του προβλήματος οι επιρροές από το περιβάλλον (πολιτικές παρεμβάσεις, αντιρρήσεις ενδιαφερόμενων ομάδων) είναι ποικίλες, απρόβλεπτες και σαφώς δυναμικής φύσεως, διαφοροποιώντας και περιπλέκοντας τη διαδικασία (Φώτης, 1997). Παρ' όλα αυτά, η εισαγωγή ποικίλων

περιορισμών στη μαθηματική διατύπωση του προβλήματος, καθώς και η μοντελοποίηση διαφορετικών αντικειμενικών συναρτήσεων, μπορούν να προσφέρουν ρεαλιστικές χωροθετικές λύσεις χωρίς να υπεισέρχονται υποκειμενικοί παράγοντες. Μάλιστα, τα διάφορα είδη προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί γενικευμένες διαδικασίες για την επίλυσή τους (Taillard, 1998).

Οι απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα είναι σε συνάρτηση με το γενικότερο πνεύμα, σύμφωνα με το οποίο προσεγγίζεται κάθε πρόβλημα χωροθέτησης και με τους στόχους που η διατύπωσή του υπαγορεύει. Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως στα προβλήματα χωροθέτησης ασθενοφόρων, ο αρχικός στόχος είναι να βρίσκονται πλησιέστερα στις περιοχές ζήτησης. Αντίθετα, κατά την επιλογή περιοχών χωροθέτησης χώρων ταφής ραδιενεργών αποβλήτων, αναζητούνται γεωλογικά σταθερές περιφέρειες οι οποίες, όμως, θα βρίσκονται όσο το δυνατόν μακρύτερα από πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Ο αριθμός των λειτουργιών που θα χωροθετηθούν, καθώς και το μέγεθος της καθεμίας, είναι τις περισσότερες φορές μια συνάρτηση κόστους - ωφέλειας. Σε πολλές περιπτώσεις, η ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας βελτιώνεται καθώς ο αριθμός των λειτουργιών αυξάνεται, αλλά εξίσου αυξάνεται και το κόστος παροχής της υπηρεσίας (Φώτης, 1997).

2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής επιστρατεύονται τα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής, τα οποία προσδιορίζουν το βέλτιστο σύνολο λύσεων για μία ή περισσότερες λειτουργίες που θα εξυπηρετούν τον πληθυσμό ο οποίος δημιουργεί τη ζήτηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι σημαντικό να μη διασπάται η ζήτηση σε περισσότερες από μια λειτουργίες. Για παράδειγμα, σε ορισμένες εμπορικές δραστηριότητες το κατάστημα πρέπει να προμηθεύεται από μία και μοναδική αποθήκη. Για διοικητικούς λόγους, η προμήθεια του καταστήματος δεν μπορεί να διασπαστεί μεταξύ διαφορετικών αποθηκών. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως με τα ασθενοφόρα, η ζήτηση μπορεί να εξυπηρετηθεί από οποιαδήποτε διαθέσιμη μονάδα. Τα μοντέλα χωροθέτησης πρέπει να αντανakλούν αυτές τις διαφορετικές στρατηγικές κατανομής της ζήτησης (Φώτης, 1997). Τα βασικά στοιχεία ενός μοντέλου χωροθέτησης-κατανομής είναι τα παρακάτω:

- Το σύνολο των **κόμβων ζήτησης** $\{i\}$
- Το σύνολο των **υποψήφιων προς χωροθέτηση κόμβων** $\{j\}$
- Ο **πίνακας αποστάσεων ή κόστους μετακίνησης** για κάθε ζεύγος υποψήφιου κόμβου και κόμβου ζήτησης $\{D(i,j)\}$
- Η **αντικειμενική συνάρτηση** χωροθέτησης
- Η **συνθήκη κατανομής** της ζήτησης στα κέντρα εξυπηρέτησης.

2.3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Τα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δυο βασικές (μεταξύ άλλων) κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, οποιοδήποτε διατεταγμένο ζεύγος σημείων (X,Y) στο επίπεδο έχει μια συγκεκριμένη πιθανότητα να εμφανίσει ζήτηση. Επιπλέον, υποψήφιος προς χωροθέτηση κόμβος είναι κάθε διατεταγμένο ζεύγος σημείων (X,Y) που βρίσκεται στην περιοχή η οποία προσδιορίζεται από τους κόμβους ζήτησης. Σε αυτά τα μοντέλα, συνήθως υπεισέρχονται και περιορισμοί με τη μορφή “απαγορευμένων περιοχών” (restricted areas) όπου δεν επιτρέπεται να χωροθετηθεί η εξεταζόμενη λειτουργία (κέντρο εξυπηρέτησης). Η απόσταση μεταξύ των κόμβων ζήτησης (i) και των κέντρων εξυπηρέτησης (j) υπολογίζεται, συνήθως, από τον παρακάτω γενικευμένο τύπο απόστασης:

$$D(i, j) = \sqrt[p]{|x_i - x_j|^p + |y_i - y_j|^p}$$

Η μεταβλητή p παίρνει συνήθως τις τιμές **1** (παραλληλογραμμικές αποστάσεις, εξομοιώνουν τις ιδιότητες του ορθογωνικού καννάβου), **2** (ευκλείδειες αποστάσεις) και $+\infty$ (όπου η τελική απόσταση είναι η $D(i,j)=\text{MIN}(|x_i-x_j|, |y_i-y_j|)$). Συντομογραφικά, αυτή η *μετρική* (metric) συμβολίζεται με l_p , όπου p η τιμή της μεταβλητής p που έχει επιλεγεί για το εκάστοτε πρόβλημα (Daskin, 1995 κ.α.). Αντίστοιχα, μπορεί να οριστούν και οι μονάδες μέτρησης l_p^n , όπου $n > 1$ (συνήθως $n = 2$). Μ’ αυτό τον τρόπο, η απόσταση από κάθε κέντρο αυξάνει εκθετικά αντί για γραμμικά, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στους πιο απομακρυσμένους κόμβους (Sanei κ.ά., 2001 κ.α.).

Η δεύτερη κατηγορία μοντέλων είναι τα *διακριτά μοντέλα χωροθέτησης*, όπου οι κόμβοι ζήτησης και οι υποψήφιοι κόμβοι είναι εξαρχής ορισμένοι, και η χωροθέτηση μπορεί να γίνει μόνο σε ένα υποσύνολο των υποψηφίων κόμβων. Για παράδειγμα, ένα σύστημα πόλεων αποτελείται από διακριτές ενότητες οι οποίες είναι οι πόλεις. Φυσικά,

υποψήφια κέντρα θα μπορούσαν εξ αρχής να οριστούν και εκτός των ορίων κάθε πόλης, οπότε ο περιορισμός σε σχέση με την πρώτη κατηγορία μοντέλων αμβλύνεται κατ' επιλογή. Στη συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων, η απόσταση μεταξύ των κόμβων ζήτησης και των υποψήφιων κέντρων μπορεί να δίνεται είτε από τον παραπάνω γενικευμένο τύπο της απόστασης (l_p , l_p'') είτε με βάση την ελάχιστη απόσταση που προκύπτει από τις συνδέσεις του υφιστάμενου οδικού δικτύου. Στην τελευταία περίπτωση, οι κόμβοι $G(V)$ του δικτύου G αποτελούν ένα υπερσύνολο των κόμβων ζήτησης i και των υποψήφιων κόμβων j , δηλαδή $j \subseteq i \subseteq G(V)$. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτούνται συγκεκριμένοι αλγόριθμοι εύρεσης των ελάχιστων αποστάσεων μεταξύ των κόμβων, λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά όπως τις επιμέρους κατηγορίες των συνδετήριων αξόνων (μέση ταχύτητα [κόστος] διέλευσης), κατεύθυνση κίνησης, περιορισμός χωρητικότητας κ.λπ. (βλ. Gibbons (1985), Tutte (1984), κ.α.).

Το ενδιαφέρον είναι ότι, συνήθως, η αντικειμενική συνάρτηση χωροθέτησης και η αντίστοιχη συνθήκη κατανομής για κάθε πρόβλημα χωροθέτησης-κατανομής δεν διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με την κατηγορία του μοντέλου. Αυτό που αλλάζει (σε σχετικά μικρό βαθμό) είναι οι τεχνικές επίλυσης που υιοθετούνται. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι τα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής διαφοροποιούνται σε πολλές περαιτέρω κατηγορίες όπως:

- **στατικά ή δυναμικά μοντέλα**
- **ιεραρχικά ή μη ιεραρχικά μοντέλα**
- **μονομεταβλητά ή πολυμεταβλητά μοντέλα**
- **μοντέλα δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα**
- **μοντέλα ελαστικής ή ανελαστικής ζήτησης**
- **μοντέλα κάλυψης ενός ή περισσότερων τύπων λειτουργιών**

και άλλα (Daskin, 1995). Στις παραπάνω περιπτώσεις, η αντικειμενική συνάρτηση χωροθέτησης και η αντίστοιχη συνθήκη κατανομής για κάθε πρόβλημα χωροθέτησης-κατανομής μπορούν να διαφοροποιούνται σε μικρό ή μεγαλύτερο βαθμό.

2.3.2 ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Προτού γίνει ανάλυση των βασικών μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής κρίνεται σκόπιμο να γίνει εισαγωγή σε αυτά μέσω ενός χαρακτηριστικού παραδείγματος.

Συγκεκριμένα, θα εξεταστούν πιθανοί στόχοι που πρέπει να καλυφθούν κατά τη χωροθέτηση ασθενοφόρων. Από στατιστικά στοιχεία προκύπτει ότι αν ο ανθρώπινος εγκέφαλος στερηθεί το οξυγόνο για περισσότερο από 4 λεπτά, η πιθανότητα επιβίωσης και εξακολούθησης μιας φυσιολογικής ζωής μειώνεται στο 50%. Έτσι, ένας στόχος θα μπορούσε να είναι *η ελαχιστοποίηση του αριθμού των ασθενοφόρων τα οποία απαιτούνται ούτως ώστε το σύνολο των κόμβων ζήτησης να βρίσκεται σε ορισμένη χρονική απόσταση από το πλησιέστερο κέντρο εξυπηρέτησης (ασθενοφόρο) – λ.χ. 4 λεπτά*. Η απόσταση αυτή λέγεται απόσταση κάλυψης (covering distance) και η διατύπωση είναι γνωστή ως *μοντέλο κάλυψης συνόλου (set covering)*. Θεωρείται ότι ένας κόμβος ζήτησης καλύπτεται όταν το πλησιέστερο κέντρο εξυπηρέτησης –στη συγκεκριμένη περίπτωση ασθενοφόρο– βρίσκεται σε απόσταση το πολύ ίση με την απόσταση κάλυψης (σταθερότυπο κάθε υπηρεσίας). Τα μοντέλα κάλυψης συνόλου έχουν χρησιμοποιηθεί από διάφορους συγγραφείς και ερευνητές για τη χωροθέτηση ασθενοφόρων και άλλων οχημάτων επειγόντων περιστατικών (Φώτης, 1997).

Ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα που σχετίζονται με το μοντέλο κάλυψης συνόλου είναι ότι η λύση πιθανότατα χωροθετεί περισσότερα οχήματα από όσα επιτρέπει ο προϋπολογισμός της αρμόδιας υπηρεσίας (Daskin, 1995). Εάν αναπτυχθεί ένα λιγότερο όχημα και αναχωροθετηθούν τα υπόλοιπα οχήματα έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η ζήτηση η οποία μπορεί να εξυπηρετηθεί μέσα στην απόσταση κάλυψης, το ποσοστό της ζήτησης που υπερβαίνει την απόσταση κάλυψης αναμένεται, γενικά, πολύ χαμηλότερο από $1/N$, όπου N ο αριθμός των ασθενοφόρων που προσδιορίστηκε από το μοντέλο κάλυψης συνόλου. Μ' άλλα λόγια, τα τελευταία ασθενοφόρα συνεισφέρουν ελάχιστα στο ποσοστό κάλυψης της ζήτησης η οποία εξυπηρετείται στα όρια του σταθερότυπου της υπηρεσίας ενώ παράλληλα αυξάνουν σημαντικά το κόστος παροχής της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε έναν εναλλακτικό στόχο: *τη μεγιστοποίηση της ζήτησης που εξυπηρετείται μέσα σε μια δεδομένη απόσταση κάλυψης, χρησιμοποιώντας ένα δεδομένο αριθμό ασθενοφόρων*. Η παραπάνω διατύπωση είναι γνωστή ως *μοντέλο μέγιστης κάλυψης (maximal covering)*. Στην πράξη, το μέγεθος του εκάστοτε στόλου που θεωρείται δεδομένο γι' αυτό το μοντέλο κυμαίνεται από 1 μέχρι τον αριθμό που απαιτείται για την πλήρη κάλυψη σύμφωνα με την υπόδειξη του μοντέλου κάλυψης συνόλου.

Ορισμένες φορές, ο εκ των προτέρων καθορισμός μιας δεδομένης απόστασης κάλυψης είναι δύσκολος και άλλες φορές άστοχος. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των ασθενοφόρων που εξετάστηκε, η απόσταση κάλυψης των 4 λεπτών μπορεί

κάλλιστα να μην είναι η κατάλληλη. Ένα βραχύτερο χρονικό σταθερότυπο λειτουργίας θα μπορούσε να τεκμηριωθεί από την παρατήρηση ότι η αντίστροφη μέτρηση για τον ασθενή ξεκινάει με την έναρξη του (σοβαρού) ιατρικού περιστατικού, ενώ ο χρόνος αντίδρασης μετράει μόνον αφού το όχημα εξέλθει από τη βάση του. Πολύ συχνά, μεσολαβεί σημαντικό χρονικό διάστημα (αρκετά λεπτά) μεταξύ του ιατρικού περιστατικού και της ενεργοποίησης του οχήματος που θα κινηθεί προς την αντίστοιχη περιοχή. Αυτός ο επιπρόσθετος χρόνος καταναλώνεται από το χρόνο ανάθεσης του περιστατικού σε κάποιο όχημα και ενημέρωσης του πληρώματος. Από την άλλη πλευρά, η περαιτέρω μείωση της απόστασης κάλυψης μπορεί να είναι αδύνατη για οικονομικούς λόγους. Αντίθετα, θα στοίχιζε πολύ λιγότερο εάν το χρονικό περιθώριο ήταν 5 ή περισσότερα λεπτά. Κατ' αυτό τον τρόπο, προσδιορίζεται ένα άλλο μοντέλο και μια άλλη αντικειμενική συνάρτηση: *η ελαχιστοποίηση της απόστασης κάλυψης του συνόλου της ζήτησης χρησιμοποιώντας ένα δεδομένο αριθμό ασθενοφόρων* (δηλαδή ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης). Έτσι, η απόσταση κάλυψης συνόλου προσδιορίζεται ενδογενώς από το ίδιο το μοντέλο (Daskin, 1997). Η παραπάνω διατύπωση είναι γνωστή ως *μοντέλο P-κέντρο (P-center)*. Το γράμμα *P*, αναφέρεται στον εκάστοτε δεδομένο αριθμό των προς χωροθέτηση κέντρων.

Τα μοντέλα κάλυψης και κέντρου εστιάζουν στη συμπεριφορά του συστήματος στη χειρότερη περίπτωση, όπως, για παράδειγμα, στο μέγιστο χρόνο αντίδρασης. Επιπλέον, είναι περισσότερο ρεαλιστική η θεώρηση ότι το επίπεδο εξυπηρέτησης μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της απόστασης. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί σε ένα τέταρτο μοντέλο – αντικειμενική συνάρτηση με την εξής διατύπωση: *να ελαχιστοποιηθεί ο μέσος χρόνος απόκρισης (χρονική διάρκεια μεταξύ σημείου ζήτησης και πλησιέστερου ασθενοφόρου) για δεδομένο αριθμό (P) οχημάτων*. Το μοντέλο αυτό, το οποίο είναι και το κλασικότερο, είναι γνωστό ως *P-διάμεσος (P-median)* (Hakimi, 1964 κ.α.). Μια παραλλαγή του P-Διάμεσος είναι και το *μοντέλο σταθερού κόστους (fixed charge location)*, όπου κάθε υποψήφιο κέντρο (π.χ. ασθενοφόρο) συνοδεύεται από κάποιο σταθερό κόστος (απόκτησης, λειτουργίας, αμοιβών προσωπικού κ.λπ.). Το αντικείμενο είναι *η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εγκατάστασης - χρήσης των ασθενοφόρων (όσο το δυνατόν λιγότερα), ενώ ταυτόχρονα να ελαχιστοποιείται ο μέσος χρόνος απόκρισής τους*. Αυτό το μοντέλο είναι γνωστό και ως *μοντέλο προϋπολογισμού* (Daskin, 1995 κ.α.). Στο μοντέλο σταθερού κόστους (όπως και στο μοντέλο κάλυψης συνόλου), ο αριθμός *P* των κέντρων καθορίζεται ενδογενώς από το ίδιο το μοντέλο.

Ειδικά για την περίπτωση των ασθενοφόρων, τα μοντέλα τα οποία περιγράφηκαν αγνοούν τη στοχαστική (τυχαία) φύση της ζήτησης και το γεγονός ότι το πλησιέστερο όχημα μπορεί να μην είναι διαθέσιμο την ώρα της κλήσης του. Εφόσον τα δεδομένα του μοντέλου χαρακτηριστούν ως τυχαίες μεταβλητές, τα αποτελέσματα θα είναι και αυτά τυχαίες μεταβλητές. Μ' αυτή την έννοια το ενδιαφέρον δεν εστιάζεται μόνο στον προσδιορισμό του μέσου χρόνου απόκρισης (όπως στο μοντέλο P-διάμεσος) αλλά και στη συνάρτηση κατανομής των σημείων (κόμβων) ζήτησης. Επιπλέον, όπως είναι στοχαστική η ζήτηση εξίσου στοχαστικοί είναι και οι χρόνοι μετακίνησης¹.

Δεύτερον, υπάρχει ανάγκη εξισορρόπησης του φόρτου των διαφόρων οχημάτων, με την έννοια ότι θα πρέπει να εξασφαλίζεται (α) η διαρκής εντρυφήση και εκπαίδευση του προσωπικού, (β) η καλή λειτουργία και συνεννόηση μεταξύ κέντρου και οχημάτων, (γ) ο σωστός διαχωρισμός των τηλεφωνημάτων σε επείγοντα και σε περιστατικά τα οποία μπορούν να αντιμετωπιστούν επιτόπου και (δ) ένα πολυεπίπεδο σύστημα όπου θα είναι διαθέσιμο προσωπικό διαφορετικού επιπέδου εκπαίδευσης και ικανοτήτων σε οχήματα διαφορετικού εξοπλισμού και δυνατοτήτων (Daskin, 1995 κ.α.).

Τρίτον, τα μοντέλα που περιγράφηκαν νωρίτερα, αγνοούν τη χρονική διαφοροποίηση στη συνολική ένταση των κλήσεων (χαρακτηριστικά Παρασκευή και Σάββατο βράδυ έχουν τον μεγαλύτερο φόρτο) και τη χρονική διαφοροποίηση στη χωρική κατανομή των κλήσεων (περισσότερα περιστατικά θα αναφέρονται από περιοχές όπου στεγάζονται χώροι εργασίας κατά τις ώρες λειτουργίας παρά τις πρώτες πρωινές ώρες). Η χρονική διαφοροποίηση της ζήτησης υπονοεί ότι η χρήση σταθερών σημείων μπορεί να μην είναι βέλτιστη. Αντίθετα, μπορεί να είναι προτιμότερη η χρήση μετακινούμενων (αναχωροθετούμενων) ασθενοφόρων (Φώτης, 1997).

Ειδικότερα για τη χωροθέτηση μη σταθερών κέντρων υπάρχουν επεκτάσεις των ανωτέρω μοντέλων, όπως τα μοντέλα *μετακινούμενος / προοδευτικός P-διάμεσος / P-κέντρο* (**mobile / progressive P-median / P-center**) (Drezner, 1993 κ.α.). Επιπλέον, υπάρχουν εξειδικευμένα μοντέλα δρομολόγησης οχημάτων (για παράδειγμα, *ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης [πλησιέστερο ασθενοφόρο → περιστατικό → πλησιέστερο νοσοκομείο]* και η αντίστοιχη κατανομή της ζήτησης) (**vehicle routing models**). Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν, γίνεται μια εκτενέστερη ανάλυση των βασικών μοντέλων που προαναφέρθηκαν και δίνονται οι μαθηματικοί ορισμοί τους.

¹ Πολλές από αυτές τις παραμέτρους μπορούν να εισαχθούν στα μοντέλα που προαναφέρθηκαν. Για παράδειγμα, στο μοντέλο μέγιστης κάλυψης είναι δυνατόν να μεγιστοποιηθεί η πιθανότητα μέγιστης κάλυψης της ζήτησης, ή, εναλλακτικά, να μεγιστοποιηθεί η ζήτηση που καλύπτεται από τουλάχιστον $v > 1$ κέντρα (π.χ. ασθενοφόρα) (Daskin, 1995).

2.3.2.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΥΝΟΛΟΥ

Το μοντέλο κάλυψης συνόλου (set covering), είναι ίσως ένα από τα απλούστερα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής. Αντικείμενο του προβλήματος είναι η εύρεση του ελάχιστου δυνατού συνόλου από απαιτούμενα κέντρα (λειτουργίες), ούτως ώστε να καλύπτεται το σύνολο της ζήτησης. Ένας κόμβος θεωρείται ότι καλύπτεται εάν η απόστασή του από το κέντρο που το εξυπηρετεί είναι μικρότερη από μία δεδομένη απόσταση κάλυψης. Το μοντέλο μπορεί να διατυπωθεί μαθηματικά ως εξής:

Δεδομένα

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν το υποψήφιο κέντρο } j \text{ καλύπτει τη ζήτηση στον κόμβο } i \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

f_j = κόστος χωροθέτησης στο υποψήφιο κέντρο j (προαιρετικό)

Μεταβλητές απόφασης

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{αν γίνει χωροθέτηση στο υποψήφιο κέντρο } j \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{MIN} \sum_j f_j X_j \quad (2.1\alpha)$$

Περιορισμοί

$$\sum_j a_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (2.1\beta)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (2.1\gamma)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (2.1α) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος των κέντρων εξυπηρέτησης (παραρτημάτων της λειτουργίας) που χωροθετούνται. Οι περιορισμοί (2.1β) υποδηλώνουν ότι κάθε κόμβος ζήτησης πρέπει να καλύπτεται από τουλάχιστον ένα κέντρο εξυπηρέτησης. Οι περιορισμοί (2.1γ) δηλώνουν τις τιμές που μπορεί να πάρει η μεταβλητή X_j .

Η βέλτιστη λύση της αντικειμενικής συνάρτησης δεν είναι απαραίτητο να βρίσκεται σε προκαθορισμένους κόμβους του προβλήματος. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο 2 κόμβων που ενώνονται μεταξύ τους με τόξο μήκους 50 μέτρων, η βέλτιστη λύση βρίσκεται μεταξύ των δυο κόμβων όταν η απόσταση κάλυψης είναι 25 μέτρα. Στην περίπτωση που η χωροθέτηση μπορεί να γίνει μόνο σε προκαθορισμένους κόμβους, τότε είναι πιθανόν να χρειάζονται περισσότερα κέντρα εξυπηρέτησης από το ελάχιστο δυνατό (vertex set covering). Παρ' όλα αυτά (αν και δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτικό στην πράξη) κάθε πρόβλημα N κόμβων ζήτησης μπορεί να εμπλουτιστεί με N^2 επιπλέον υποψήφιους προς χωροθέτηση κόμβους (χωρίς ζήτηση), οι οποίοι θα βρίσκονται ενδιάμεσα σε κάθε ζεύγος κόμβων ζήτησης. Σ' αυτή την περίπτωση, η βέλτιστη λύση μπορεί να βρεθεί χωροθετώντας κέντρα στο σύνολο $\{N+N^2\}$.

Το πεδίο εφαρμογής του μοντέλου κάλυψης συνόλου είναι ευρύ και εκτός από προβλήματα χωροθέτησης αντιμετωπίζει και προβλήματα όπως ο προγραμματισμός διαθεσιμότητας των πληρωμάτων αερογραμμών, η επιλογή κατάλληλων εργαλείων σε βιομηχανίες κ.ά. (Daskin, 1995 κ.α.). Επιπλέον, λόγω του ότι όσο αυξάνει η απόσταση κάλυψης παρουσιάζονται πολλές εναλλακτικές βέλτιστες λύσεις, υπάρχουν παραλλαγές του μοντέλου οι οποίες αντιμετωπίζουν παράλληλα και άλλα κριτήρια (για παράδειγμα, από τις βέλτιστες λύσεις να βρεθεί εκείνη που μεγιστοποιεί τον αριθμό των κόμβων ζήτησης που καλύπτονται τουλάχιστον 2 φορές).

2.3.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ

Ένα βασικό πρόβλημα του μοντέλου κάλυψης συνόλου είναι ότι, πολλές φορές, ο αριθμός των κέντρων εξυπηρέτησης που απαιτούνται για να καλύψουν όλους τους κόμβους ζήτησης υπερβαίνει τα όρια του (οικονομικά) εφικτού. Επιπλέον, το μοντέλο κάλυψης συνόλου μεταχειρίζεται όλους τους κόμβους ζήτησης ισάξια, ανεξάρτητα από τη ζήτηση κάθε κόμβου. Για παράδειγμα, ένας κόμβος που δημιουργεί ζήτηση 10.000 μονάδων το χρόνο, είναι εξίσου σημαντικό να καλυφθεί με έναν που δημιουργεί ζήτηση 10 μονάδων το χρόνο.

Λόγω αυτών των αδυναμιών, οι Church και Reville πρότειναν το 1974 το μοντέλο μέγιστης κάλυψης (maximal covering), όπου για δεδομένο αριθμό κέντρων εξυπηρέτησης μεγιστοποιείται η ζήτηση που καλύπτεται σε μια προκαθορισμένη απόσταση κάλυψης. Η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου μέγιστης κάλυψης είναι η εξής:

Δεδομένα

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν το υποψήφιο κέντρο } j \text{ καλύπτει τη ζήτηση στον κόμβο } i \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

h_i = ζήτηση στον κόμβο i

P = ο αριθμός των προς χωροθέτηση κέντρων εξυπηρέτησης

Μεταβλητές απόφασης

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται} \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

Αντικειμενική συνάρτηση

$$MAX \sum_i h_i Z_i \quad (2.2\alpha)$$

Περιορισμοί

$$Z_i \leq \sum_j a_{ij} X_j \quad \forall i \quad (2.2\beta)$$

$$\sum_j X_j \leq P \quad (2.2\gamma)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (2.2\delta)$$

$$Z_i = 0,1 \quad \forall i \quad (2.2\epsilon)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (2.2α) μεγιστοποιεί το σύνολο της ζήτησης που καλύπτεται. Οι περιορισμοί (2.2β) υποδηλώνουν ότι η ζήτηση σε έναν κόμβο i δεν μπορεί να καλυφθεί εκτός εάν χωροθετηθεί τουλάχιστον ένα κέντρο εξυπηρέτησης το οποίο να καλύπτει τον κόμβο i . Ο περιορισμός (2.2γ) απαιτεί τη χωροθέτηση το πολύ P κέντρων εξυπηρέτησης. Τέλος, οι περιορισμοί (2.2δ) και (2.2ε) δηλώνουν τις τιμές των μεταβλητών X_j, Z_i .

Ένα σύννηθες χαρακτηριστικό του μοντέλου μέγιστης κάλυψης, το οποίο αναφέρθηκε και στο παράδειγμα των ασθενοφόρων, είναι ότι κάθε επιπλέον κέντρο εξυπηρέτησης

που χωροθετείται βελτιώνει *ολοένα και λιγότερο* το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης (Daskin, 1995). Τις περισσότερες φορές, ο αριθμός P μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 1-N όπου N ο αριθμός των κέντρων που απαιτούνται για να καλυφθεί το σύνολο της ζήτησης (όπως προσδιορίζεται από το μοντέλο κάλυψης συνόλου).

Σε πολλές περιπτώσεις, τα χωροθετούμενα κέντρα εξυπηρέτησης υπόκεινται σε περιορισμούς χωρητικότητας, ή απλά μπορούν να είναι κατειλημμένα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις το ενδιαφέρον δεν εστιάζεται μόνο στη μεγιστοποίηση της κάλυψης της ζήτησης από μια λειτουργία αλλά και στη *διαθεσιμότητα* του αντίστοιχου κέντρου εξυπηρέτησης, όταν προκύψει ζήτηση την οποία καλείται να καλύψει. Κατ' αυτό τον τρόπο, ορίζεται μια παραλλαγή του μοντέλου μέγιστης κάλυψης, το μοντέλο *μέγιστης προσδοκώμενης κάλυψης* (maximum expected covering), όπου κάθε κόμβος ζήτησης συνοδεύεται από μια μεταβλητή πιθανότητα κάλυψης. Αντίστοιχα, κάθε υποψήφιο κέντρο εξυπηρέτησης συνοδεύεται από μία δεδομένη πιθανότητα να είναι κατειλημμένο (Daskin, 1995).

2.3.2.3 ΜΟΝΤΕΛΟ P-ΚΕΝΤΡΟ

Στα μοντέλα κάλυψης που αναλύθηκαν παραπάνω, η απόσταση κάλυψης (δηλαδή το κριτήριο ικανοποιητικής προσπέλασης των κέντρων εξυπηρέτησης από τη ζήτηση) ήταν δεδομένο του προβλήματος το οποίο καθορίζουν οι λήπτες αποφάσεων ή κάποιο σταθερότυπο της εξεταζόμενης λειτουργίας. Για παράδειγμα, κατά τη χωροθέτηση σχολικών μονάδων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα, χρησιμοποιείται το σταθερότυπο των 800 μέτρων, το οποίο καθορίζει τη μέγιστη απόσταση που καλείται να διανύσει κάθε μαθητής προκειμένου να μεταβεί στο αντίστοιχο σχολείο (κέντρο εξυπηρέτησης). Ένα χαρακτηριστικό πρόβλημα με το μοντέλο της μέγιστης κάλυψης, είναι ότι η ζήτηση που τελικά δεν καλύπτεται μπορεί να βρίσκεται πολύ πιο απομακρυσμένη από το σταθερότυπο της συγκεκριμένης λειτουργίας (λ.χ. 2 χιλιόμετρα στην περίπτωση των σχολείων).

Το μοντέλο P-Κέντρο (P-center), σε αντίθεση με τα παραπάνω μοντέλα, καθορίζει *ενδογενώς* την απόσταση κάλυψης για δεδομένο αριθμό (P) κέντρων εξυπηρέτησης. Πιο απλά, το μοντέλο P-κέντρο ελαχιστοποιεί τη *μέγιστη απόσταση μεταξύ του περισσότερου απομακρυσμένου κόμβου ζήτησης και του αντίστοιχου κέντρου εξυπηρέτησης* (βλ. 2.3α). Για το λόγο αυτό, το μοντέλο είναι γνωστό και ως μοντέλο *ελάχιστης-μέγιστης απόστασης* (MinMax). Η μαθηματική διατύπωσή του είναι η εξής:

Δεδομένα

d_{ij} = απόσταση μεταξύ του κόμβου ζήτησης i και του υποψήφιου κέντρου j

h_i = ζήτηση στον κόμβο i

P = ο αριθμός των προς χωροθέτηση κέντρων εξυπηρέτησης

Μεταβλητές απόφασης

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{αν γίνει χωροθέτηση στο υποψήφιο κέντρο } j \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν το υποψήφιο κέντρο } j \text{ εξυπηρετεί τον κόμβο } i \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{MIN}\{\text{MAX}\{d_{ij}Y_{ij}\}\} \quad (2.3\alpha)$$

Περιορισμοί

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2.3\beta)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (2.3\gamma)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (2.3\delta)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (2.3\epsilon)$$

$$Y_{ij} = 0,1 \quad \forall i, j \quad (2.3\sigma\tau)$$

Οι περιορισμοί (2.3β) ορίζουν ότι κάθε κόμβος ζήτησης πρέπει να κατανεμηθεί σε ένα κέντρο εξυπηρέτησης (συνήθως στο πλησιέστερο κέντρο, ή σε κάποιο άλλο το οποίο ορίζεται από τη συνθήκη κατανομής). Οι περιορισμοί (2.3γ) δηλώνουν ότι πρέπει να χωροθετηθούν ακριβώς (P) κέντρα εξυπηρέτησης. Οι περιορισμοί (2.3δ) συνδέουν τις μεταβλητές χωροθέτησης (X_j) και τις μεταβλητές κατανομής (Y_{ij}), ούτως ώστε κάθε κόμβος ζήτησης i να μπορεί να εξυπηρετηθεί από το υποψήφιο κέντρο j μόνο εάν γίνει

χωροθέτηση στον κόμβο j . Οι περιορισμοί (2.3ε) και (2.3στ) δηλώνουν τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές X_j και Y_{ij} .

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι πιθανό να χρειαστεί να ελαχιστοποιηθεί η *μέγιστη βεβαρημένη απόσταση*, δηλαδή το γινόμενο της απόστασης επί τη ζήτηση του αντίστοιχου κόμβου. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η αντικειμενική συνάρτηση (2.3α) παίρνει τη μορφή

$$MIN\{MAX\{h_i d_{ij} Y_{ij}\}\} \quad (2.3\alpha')$$

Παρόλο που η παραπάνω γενίκευση του προβλήματος (βεβαρημένο P-κέντρο – weighted P-center) παρουσιάζει μαθηματικό ενδιαφέρον, στα περισσότερα εφαρμοσμένα προβλήματα έχει νόημα η επίλυση του απλού μοντέλου P-κέντρου, προκειμένου να καθοριστεί η συμπεριφορά του συστήματος στη χειρότερη περίπτωση (ανεξάρτητα από τη ζήτηση κάθε κόμβου) (Daskin, 1995).

Η μέχρι τώρα διατύπωση του μοντέλου, προϋποθέτει ότι η χωροθέτηση γίνεται σε προκαθορισμένους κόμβους (υποψήφια κέντρα εξυπηρέτησης). Παρ' όλα αυτά, τις περισσότερες φορές, η πραγματικά βέλτιστη λύση βρίσκεται σε ενδιάμεσα σημεία του δικτύου (ή του χώρου). Στην περίπτωση που αναλύθηκε, το μοντέλο λέγεται *κομβικό P-κέντρο* (vertex P-center), ενώ η δεύτερη, μη περιορισμένη εκδοχή, είναι γνωστή ως *απόλυτο P-κέντρο* (absolute P-center). Όπως και στην περίπτωση των μοντέλων κάλυψης, θεωρητικά, κάθε πρόβλημα *κομβικού* P-κέντρου (N κόμβων) μπορεί να μετατραπεί σε ένα αντίστοιχο πρόβλημα *απόλυτου* P-κέντρου εμπλουτίζοντάς το με N^2 επιπλέον υποψήφιους προς χωροθέτηση κόμβους (χωρίς ζήτηση) οι οποίοι θα βρίσκονται ενδιάμεσα σε κάθε ζεύγος κόμβων ζήτησης (Daskin, 2000).

2.3.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ

Το μοντέλο P-κέντρο εστιάζει στη συμπεριφορά του συστήματος στη χειρότερη περίπτωση (ελαχιστοποίηση μέγιστης απόστασης). Συνήθως, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μέτρια μέση εξυπηρέτηση της ζήτησης. Αντίθετα, στο μοντέλο P-Διάμεσος (P-median), *ελαχιστοποιείται η συνολική απόσταση από όλους τους κόμβους ζήτησης προς τα αντίστοιχα (P) κέντρα εξυπηρέτησης*, το οποίο μαθηματικά διατυπώνεται ως εξής:

Δεδομένα

d_{ij} = απόσταση μεταξύ του κόμβου ζήτησης i και του υποψήφιου κέντρου j

h_i = ζήτηση στον κόμβο i

P = ο αριθμός των προς χωροθέτηση κέντρων εξυπηρέτησης

Μεταβλητές απόφασης

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{αν γίνει χωροθέτηση στο υποψήφιο κέντρο } j \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν το υποψήφιο κέντρο } j \text{ εξυπηρετεί τον κόμβο } i \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{MIN} \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (2.4\alpha)$$

Περιορισμοί

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2.4\beta)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (2.4\gamma)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (2.4\delta)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (2.4\epsilon)$$

$$Y_{ij} = 0,1 \quad \forall i, j \quad (2.4\sigma\tau)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (2.4α) ελαχιστοποιεί τη συνολική διανυόμενη απόσταση από τους κόμβους ζήτησης στα αντίστοιχα (συνήθως στο πλησιέστερο κάθε κόμβου) κέντρα εξυπηρέτησης. Όπως και στην περίπτωση του μοντέλου P-κέντρου, οι περιορισμοί (2.3β) ορίζουν ότι κάθε κόμβος ζήτησης πρέπει να κατανεμηθεί σε ένα κέντρο εξυπηρέτησης. Οι περιορισμοί (2.3γ) δηλώνουν ότι πρέπει να χωροθετηθούν ακριβώς (P) κέντρα εξυπηρέτησης. Οι περιορισμοί (2.3δ) συνδέουν τις μεταβλητές χωροθέτησης (X_j) και τις μεταβλητές κατανομής (Y_{ij}), ούτως ώστε κάθε κόμβος

ζήτησης i να μπορεί να εξυπηρετηθεί από το υποψήφιο κέντρο j μόνο εάν γίνει χωροθέτηση στον κόμβο j . Οι περιορισμοί (2.3ε) και (2.3στ) δηλώνουν τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές X_j και Y_{ij} .

Η παραπάνω διατύπωση του μοντέλου προϋποθέτει ότι η χωροθέτηση μπορεί να γίνει μόνο σε προεπιλεγμένα υποψήφια κέντρα – συνήθως στους κόμβους ενός δικτύου (γραφήματος). Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα μοντέλα, ένας τέτοιος περιορισμός δεν εξασφαλίζει το απαραίτητο πλήθος κόμβων ούτως ώστε να βρεθεί η πραγματικά βέλτιστη λύση. Παρ' όλα αυτά, ειδικά για το μοντέλο P-διάμεσος, έχει αποδειχτεί ότι *υπάρχει τουλάχιστον μία βέλτιστη λύση η οποία συνίσταται μόνο από $P \in N$ κόμβους του δικτύου* (Hakimi, 1965). Αυτή η σημαντική ιδιότητα δημιουργεί πρόσφορο έδαφος για επεκτάσεις του μοντέλου P-διάμεσος, καθώς και για την υλοποίηση αποδοτικών αλγορίθμων εύρεσης της βέλτιστης λύσης.

Μια χρήσιμη παραλλαγή του μοντέλου P-διάμεσος είναι το P-διάμεσος με περιορισμό μέγιστης ή/και ελάχιστης χωρητικότητας (capacitated P-median). Σε αυτή την περίπτωση, κάθε κέντρο εξυπηρέτησης μπορεί να εξυπηρετήσει ένα μέγιστο σύνολο ζήτησης (π.χ. 1000 άτομα). Αντίστοιχα, κάθε κέντρο εξυπηρέτησης μπορεί να είναι *υποχρεωμένο* να εξυπηρετεί ένα ελάχιστο σύνολο ζήτησης (π.χ. 50 άτομα). Αυτοί οι περιορισμοί υπεισέρχονται συνήθως στη συνθήκη κατανομής των κόμβων στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης. Άλλες πιθανές παραλλαγές είναι το μοντέλο P-διάμεσος με περιορισμό μέγιστης απόστασης, και προβλήματα όπου η ζήτηση είναι μεταβλητή (προβλήματα χωροθέτησης υπό αβεβαιότητα).

2.3.2.5 ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Στα μοντέλα που προαναφέρθηκαν (εκτός από το μοντέλο κάλυψης συνόλου) η αντικειμενική συνάρτηση θεωρούσε δεδομένο τον αριθμό των προς χωροθέτηση κέντρων. Κατ' αυτό τον τρόπο, γίνεται διαχωρισμός των ωφελειών που προκύπτουν από την αντικειμενική συνάρτηση (λ.χ. της μείωσης της μέσης απόστασης) από το κόστος εγκατάστασης / λειτουργίας των συγκεκριμένων κέντρων εξυπηρέτησης. Μάλιστα, σε κάθε υποπεριοχή του προβλήματος, το κόστος αυτό μπορεί να διαφέρει. Το μοντέλο σταθερού κόστους (fixed charge) αποτελεί μια παραλλαγή του μοντέλου P-διάμεσος, όπου *κάθε* υποψήφιο κέντρο συνοδεύεται από μια σταθερά η οποία εκφράζει το κόστος που συνεπάγεται η χωροθέτηση στο συγκεκριμένο κέντρο. Η μαθηματική διατύπωση του μοντέλου είναι η εξής:

Δεδομένα

f_j = σταθερό κόστος που συνεπάγεται η χωροθέτηση στο υποψήφιο κέντρο j

d_{ij} = απόσταση μεταξύ του κόμβου ζήτησης i και του υποψήφιου κέντρου j

h_i = ζήτηση στον κόμβο i

α = κόστος ανά μονάδα απόστασης ανά μονάδα ζήτησης

Μεταβλητές απόφασης

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{αν γίνει χωροθέτηση στο υποψήφιο κέντρο } j \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν το υποψήφιο κέντρο } j \text{ εξυπηρετεί τον κόμβο } i \\ 0 & \text{αν όχι} \end{cases}$$

Αντικειμενική συνάρτηση

$$\text{MIN} \left\{ \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \right\} \quad (2.5\alpha)$$

Περιορισμοί

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2.5\beta)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (2.5\gamma)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (2.5\delta)$$

$$Y_{ij} = 0,1 \quad \forall i, j \quad (2.5\epsilon)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (2.5α) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος, το οποίο προκύπτει από το άθροισμα (α) του κόστους χωροθέτησης στα επιλεγμένα κέντρα εξυπηρέτησης και (β) της συνολικής απόστασης που διανύει κάθε μονάδα ζήτησης επί το κόστος ανά μονάδα απόστασης. Σε αντίθεση με τα μοντέλα που αναλύθηκαν, δεν υπάρχει περιορισμός στα χωροθετούμενα κέντρα, εφόσον ο αριθμός τους προκύπτει ενδογενώς από την επίλυση της αντικειμενικής συνάρτησης. Οι υπόλοιποι περιορισμοί είναι ίδιοι με τα μοντέλα P-κέντρο και P-διάμεσος. Το μοντέλο σταθερού κόστους,

είναι στην πραγματικότητα ένα διμεταβλητό μοντέλο. Στο επόμενο υποκεφάλαιο, θα αναλυθούν διεξοδικότερα τα πολυμεταβλητά μοντέλα. Στο γράφημα 2-1, φαίνεται η σχέση των μεταβλητών σταθερού κόστους και συνολικής απόστασης, για κάθε επιπλέον χωροθετούμενο κέντρο.

Όπως και στην περίπτωση του μοντέλου P-διάμεσος, μπορεί να εισαχθεί περιορισμός χωρητικότητας των υποψήφιων κέντρων (capacitated fixed charge). Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι σε όσα μοντέλα γίνεται χρήση του περιορισμού χωρητικότητας υπάρχουν δυο εναλλακτικές προσεγγίσεις: (α) κατανομή κάθε κόμβου σε ένα μόνο κέντρο εξυπηρέτησης – όπως έγινε στα παραπάνω ή (β) ποσοστιαία κατανομή της ζήτησης κάθε κόμβου σε αντίστοιχα κέντρα. Οι αλλαγές που γίνονται στη διατύπωση των μοντέλων είναι οι εξής:

Δεδομένα

C_{maxj} = μέγιστη ζήτηση που επιτρέπεται να εξυπηρετεί το υποψήφιο κέντρο j

C_{minj} = ελάχιστη ζήτηση που απαιτείται να εξυπηρετεί το υποψήφιο κέντρο j

Μεταβλητές απόφασης

Y_{ij} = ποσοστό ζήτησης του κόμβου i που εξυπηρετείται από το κέντρο j

Περιορισμοί

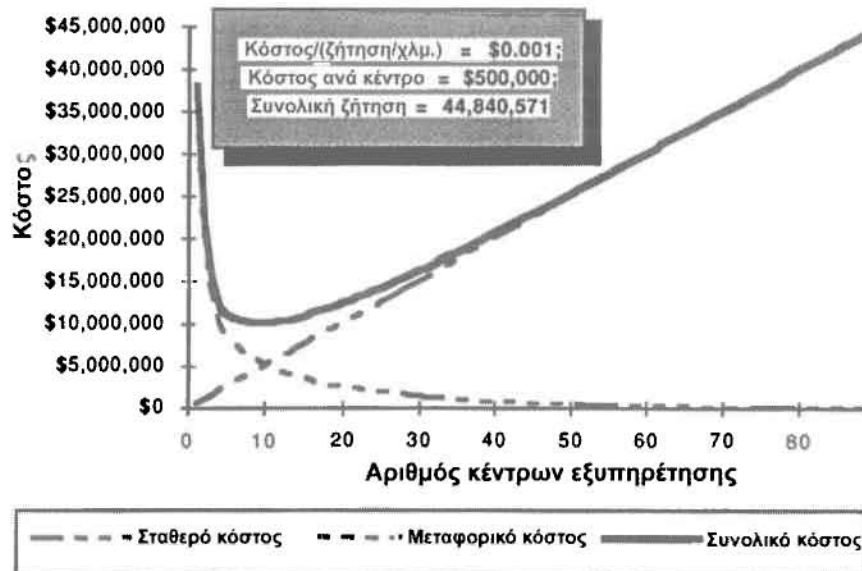
$$Y_{ij} > 0 \quad \forall i, j$$

Γενικά, δεν χρειάζονται επιπλέον περιορισμοί που να απαιτούν την οριοθέτηση της ζήτησης η οποία θα εξυπηρετείται από κάθε κέντρο. Οι περιορισμοί αυτοί καλύπτονται από τη συνθήκη κατανομής – η οποία, συνήθως, δεν υπεισέρχεται στη γενική διατύπωση των μοντέλων.

Η χρήση του περιορισμού χωρητικότητας προσδίδει μεγαλύτερη ευελιξία στα παραπάνω μοντέλα, βρίσκοντας εφαρμογή στη χωροθέτηση σχολείων, χώρων στάθμευσης κ.λπ. Παρ' όλα αυτά, σε ορισμένα μοντέλα (όπως στο μοντέλο μέγιστης κάλυψης) έρχεται σε άμεση αντίθεση με την αντικειμενική συνάρτηση (conflicting objectives). Επιπλέον, επιβάλλοντας τον περιορισμό χωρητικότητας (καθώς και

οποιονδήποτε επιπρόσθετο περιορισμό) αυξάνεται η υπολογιστική ένταση και κατ' επέκταση ο χρόνος επίλυσης του δεδομένου προβλήματος (Revelle και Elzinga, 1989).

Γράφημα 2-1: σχέση των μεταβλητών κόστους και αριθμών κέντρων εξυπηρέτησης



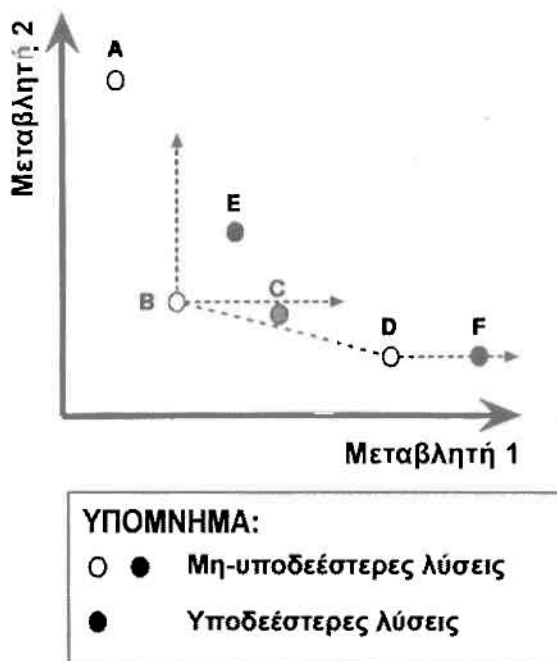
Πηγή: Daskin, 1995

2.3.2.6 ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Οι χωροθετικές αποφάσεις είναι, από τη φύση τους, μεγάλης στρατηγικής σημασίας και έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Για το λόγο αυτό, είναι πολύ πιθανό να πρέπει να συνυπολογιστούν μερικώς ασυμβίβαστοι ή αντικρουόμενοι επιμέρους στόχοι. Για παράδειγμα, οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), είναι επιθυμητό να βρίσκονται όσο το δυνατόν μακρύτερα από κατοικημένες περιοχές και ευαίσθητα οικοσυστήματα. Από την άλλη, είναι απαραίτητο, για οικονομικούς λόγους, να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση που διανύουν τα απορριμματοφόρα από τους τόπους συλλογής απορριμμάτων προς τους αντίστοιχους ΧΥΤΑ. Όμως, η μεγαλύτερη παραγωγή απορριμμάτων γίνεται στα αστικά κέντρα. Επομένως, πρέπει να υπάρξει κάποιου είδους συμβιβασμός μεταξύ (α) της μεγιστοποίησης της απόστασης από κατοικημένες περιοχές και (β) της ελαχιστοποίησης της συνολικής απόστασης που διανύουν τα απορριμματοφόρα. Τα μοντέλα τα οποία εξετάστηκαν προηγουμένως, βελτιστοποιούσαν μία μεταβλητή - στόχο. Αντίθετα, τα πολυμεταβλητά μοντέλα μπορούν να συνδυάσουν δυο ή και περισσότερα ανεξάρτητα μοντέλα, παρέχοντας ενδιάμεσες λύσεις, αντιστοιχώντας σε κάθε μοντέλο έναν συντελεστή βαρύτητας.

Η εύρεση ενδιάμεσων λύσεων για ένα μοντέλο n -μεταβλητών μεταξύ n βέλτιστων λύσεων αντίστοιχων μονομεταβλητών μοντέλων είναι μία διαδικασία εντοπισμού *μη υποδεέστερων* λύσεων (non-inferior solutions). Μια λύση X θεωρείται μη υποδεέστερη, όταν δεν υπάρχει (ή δεν έχει βρεθεί) άλλη λύση Y η οποία να είναι, για κάθε μεταβλητή n , ποιοτικά εξίσου καλή με τη X , και για τουλάχιστον μία μεταβλητή να είναι καλύτερη από τη X . Σ' αυτή την περίπτωση, η λύση X θεωρείται *υποδεέστερη [της λύσης Y]* (inferior) και συνήθως απορρίπτεται (Daskin, 1995).

Γράφημα 2-2: Τυπικές ενδιάμεσες λύσεις διμεταβλητού μοντέλου



Πηγή: Daskin, 1995

Δυο είναι οι βασικές μέθοδοι διατύπωσης πολυμεταβλητών μοντέλων. Η απλούστερη μέθοδος, είναι η τοποθέτηση κατάλληλων *βαρών* στα εμπλεκόμενα μοντέλα. Συνήθως, τοποθετείται ένα πολύ μεγάλο βάρος στο ένα μοντέλο, και στα άλλα μοντέλα τοποθετούνται αμελητέα και διαρκώς αυξανόμενα βάρη, προκειμένου να προκύψουν πιθανές μη υποδεέστερες λύσεις. Μια καλύτερη, αλλά λιγότερο αποδοτική μέθοδος, είναι η μέθοδος των επιπλέον *περιορισμών*. Σ' αυτή τη μέθοδο, όλα τα εμπλεκόμενα μοντέλα, εκτός ενός (μοντέλο βάσης), υπεισέρχονται με τη μορφή περιορισμών στο μοντέλο βάσης (Cohon, 1978). Εκτός από τη μέθοδο διατύπωσης του μοντέλου, σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των λύσεων παίζει και η *τεχνική επίλυσης* η οποία θα χρησιμοποιηθεί. Αυτό ισχύει τόσο στα πολυμεταβλητά όσο και στα

μονομεταβλητά μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής. Στο *γράφημα 2-2* φαίνονται οι λύσεις οι οποίες προέκυψαν από ένα διμεταβλητό μοντέλο. Μπορούν να διακριθούν οι υποδεέστερες και μη υποδεέστερες λύσεις². Μια μη υποδεέστερη λύση η οποία βρίσκεται πάνω από τη γραμμή που ενώνει δυο άλλες μη υποδεέστερες λύσεις είναι εξαιρετικά σπάνιο να βρεθεί με την πρώτη μέθοδο που αναφέρθηκε (Daskin, 1995). Στο επόμενο υποκεφάλαιο αναλύονται οι δημοφιλέστερες τεχνικές επίλυσης των μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής (και εν γένει, προβλημάτων βελτιστοποίησης).

2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Η συνδυαστική φύση των προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής, όπως και των περισσότερων προβλημάτων βελτιστοποίησης, καθιστά πρακτικά αδύνατη την επίλυσή τους με απλή απαρίθμηση όλων των εναλλακτικών λύσεων και επιλογή της βέλτιστης εξ αυτών, ακόμα και με τη χρήση εξαιρετικά ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, τα περισσότερα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής, ανήκουν σε μία κατηγορία προβλημάτων, για τα οποία δεν υπάρχει (και πιθανότατα ούτε πρόκειται να υπάρξει) αλγόριθμος ο οποίος να τα επιλύει σε πολωνυμικό χρόνο (δηλαδή, σε χρόνο σχετικά ανάλογο με το μέγεθος του εκάστοτε προβλήματος). Για παράδειγμα, στο μοντέλο P-διάμεσος, η βέλτιστη λύση προκύπτει από P συγκεκριμένα κέντρα, τα οποία προέρχονται από ένα σύνολο N όλων των υποψήφιων προς χωροθέτηση κόμβων (πιθανών θέσεων). Ως εκ τούτου, οι πιθανές λύσεις προκύπτουν από τους συνδυασμούς των N ανά P:

$$\binom{N}{P} = \frac{N!}{P!(N-P)!}$$

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, για N = 20 και P = 5 οι πιθανές λύσεις είναι $\binom{20}{5} = 15.504$. Για N = 50 και P = 10 οι πιθανές λύσεις είναι $\binom{50}{10} > 10^{10}$. Στη δεύτερη περίπτωση, ακόμη και αν ήταν δυνατό να εξετάζονται ένα εκατομμύριο συνδυασμοί το δευτερόλεπτο, θα χρειαζόνταν πάνω από τρεις ώρες υπολογισμών. Αξίζει να αναφερθεί, ότι *κάθε* εξεταζόμενος συνδυασμός θα απαιτούσε τουλάχιστον 400 συγκρίσεις, 40 πολλαπλασιασμούς και 40 προσθέσεις. Τέλος, στην περίπτωση που N = 100 και P = 15 οι απαιτούμενοι υπολογισμοί θα διαρκούσαν πάνω από 8 *χιλιετίες*. Επιπρόσθετα, τα

² Υποτίθεται ότι η βέλτιστη λύση είναι η ελάχιστη.

περισσότερα ρεαλιστικά προβλήματα χωροθέτησης αποτελούνται από αρκετές εκατοντάδες ή και χιλιάδες κόμβων (N) ενώ τα προς χωροθέτηση κέντρα εξυπηρέτησης (P) μπορούν να είναι αρκετές δεκάδες ή και εκατοντάδες. Είναι προφανές, ότι η απευθείας (εξαντλητική - exhaustive) επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης είναι πρακτικά αδύνατη (Daskin, 1995, κ.α.).

Η κατηγορία προβλημάτων, στην οποία ανήκουν (με κατάλληλες μετατροπές) τα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής, είναι γνωστή ως κατηγορία *μη καθορισμένων πολυωνυμικά ολοκληρωμένων προβλημάτων (Non-deterministic Polynomial (NP) - Complete)*. Γι' αυτά τα προβλήματα, μη καθορισμένες (στοχαστικές) λύσεις μπορούν να αξιολογηθούν, για την ικανοποίηση κάποιου κριτηρίου, σε πολυωνυμικό χρόνο. Αυτή η ιδιότητα, επιτρέπει την ανάπτυξη αποδοτικών αλγορίθμων, οι οποίοι εξετάζουν λύσεις με συστηματικό ή μη τρόπο από μια καθορισμένη υποπεριοχή του συνόλου των πιθανών λύσεων (solution neighborhood). Οι αλγόριθμοι μπορούν να διαφέρουν στον καθορισμό της περιοχής και στις επιμέρους τεχνικές που εφαρμόζονται για την ανεύρεση της βέλτιστης λύσης της υποπεριοχής. Ο ανεπαρκής καθορισμός της υποπεριοχής δεν εγγυάται την ανεύρεση μιας *συνολικά* βέλτιστης λύσης (global optimum). Αντίθετα, είναι πιθανό να προκύψει κάποιο *τοπικό ελάχιστο* της αντικειμενικής συνάρτησης (local optimum). Παρ' όλα αυτά, ένας τέτοιος "ανεπαρκής" αλγόριθμος εκτελείται σε πολύ μικρότερο χρόνο από κάποιον "αναλυτικότερο". Χοντρικά, οι μέθοδοι επίλυσης χωρίζονται σε κατά προσέγγιση ευριστικούς αλγόριθμους (heuristics) και σε ακριβείς τεχνικές επίλυσης (Taillard, 1998 κ.α.).

2.4.1 ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Συνήθως, σε εφαρμοσμένα προβλήματα χωροθέτησης, δεν απαιτείται μια 100% μαθηματικά βέλτιστη λύση, λόγω του ότι υπάρχουν, ούτως ή άλλως, ποιοτικές μεταβλητές οι οποίες δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Αντίθετα, ένα πλήθος από οριακά υποδεέστερες λύσεις είναι χρήσιμο για τον καθορισμό εναλλακτικών σεναρίων. Επιπλέον, η απαίτηση μιας 100% μαθηματικά βέλτιστης λύσης, προϋποθέτει ότι και τα δεδομένα του προβλήματος είναι 100% ακριβή, κάτι το οποίο είναι σε γενικές γραμμές ανέφικτο (για παράδειγμα, τα δημογραφικά / στατιστικά δεδομένα, παρουσιάζουν πάντα ένα ποσοστό απόκλισης από την πραγματική [δυναμική] κατάσταση).

Οι κατά προσέγγιση ευριστικοί αλγόριθμοι είναι αποδοτικές μέθοδοι επίλυσης χωροθετικών προβλημάτων με μεγάλο αριθμό κόμβων, έχοντας σχετικά περιορισμένες

απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM). Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μια πληθώρα αντικειμενικών συναρτήσεων, χωρίς ουσιαστικές διαφορές στη δομή τους. Τέλος, μπορούν να εντοπίσουν ένα σύνολο οριακά υποδεέστερων λύσεων (Rushton και Kohler, 1973). Το βασικό μειονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι ότι καμία από αυτές δεν εγγυάται τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης. Επιπλέον, οι περισσότερες από αυτές δεν παρέχουν καμία ένδειξη για την πιθανή απόκλιση από τη βέλτιστη λύση. Για δυσκολότερα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής (όπως το P-κέντρο) η απόκλιση αυτή μπορεί να είναι σημαντική. Παρ' όλα αυτά, οι ευριστικοί αλγόριθμοι έχουν επιστρατευθεί κατά κόρον, για την επίλυση προβλημάτων τόσο του συνεχούς όσο και του διακριτού χώρου. Οι ευριστικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε πολλές περαιτέρω κατηγορίες, ανάλογα με τις τεχνικές που ενσωματώνουν και την αναμενόμενη ποιότητα των λύσεων, οι βασικότερες από τις οποίες είναι:

- **Κατασκευαστικοί ευριστικοί αλγόριθμοι** (Constructive heuristics) οι οποίοι δημιουργούν μια λύση από μηδενική βάση. Συνήθως, σε κάθε επιμέρους στάδιο “κατασκευής” της λύσης, λαμβάνεται η καλύτερη απόφαση, χωρίς να επανεξετάζονται τα προηγούμενα στάδια. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι συνήθως πολύ γρήγοροι, αλλά η ποιότητα των λύσεων είναι χαμηλή.
- **Ευριστικοί αλγόριθμοι βελτίωσης** (Improvement heuristics) οι οποίοι βελτιώνουν μια δεδομένη αρχική λύση (η οποία, για παράδειγμα, μπορεί να προέρχεται από έναν κατασκευαστικό αλγόριθμο). Συνήθως, τέτοιοι αλγόριθμοι σταματούν όταν συναντήσουν κάποιο είδος τοπικού ελαχίστου της αντικειμενικής συνάρτησης. Προσφέρουν δε, σημαντικά ποιοτικότερες λύσεις, αλλά ο χρόνος εκτέλεσής τους είναι αυξημένος.
- **Μετα-ευριστικοί αλγόριθμοι** (Meta-heuristics) οι οποίοι προσφέρουν σχεδόν βέλτιστες λύσεις, συνήθως σε χρόνο πολλαπλάσιο από τους απλούς ευριστικούς αλγόριθμους. Οι περισσότεροι απ' αυτούς, χρησιμοποιούν σαν βάση έναν ή περισσότερους αλγόριθμους βελτίωσης, προκειμένου να βρουν την καλύτερη λύση μεταξύ ενός πλήθους τοπικά βέλτιστων λύσεων.

Στα παρακάτω υποκεφάλαια, γίνεται μια επισκόπηση των δημοφιλέστερων ευριστικών αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής. Οι περισσότεροι από αυτούς, σχεδιάστηκαν για το μοντέλο P-διάμεσος, το οποίο είναι και

το πιο διαδεδομένο. Παρ' όλα αυτά, μπορούν να επιλύσουν, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και τα υπόλοιπα μοντέλα.

2.4.1.1 ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Ο προσθετικός αλγόριθμος (γνωστός ως Myopic, Greedy Adding ή απλά Greedy) έχει προταθεί για πολλά μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής από τους Kuehn και Hamburger (1964), Church και Reville (1974) και Khumawala (1973). Αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα κατασκευαστικού αλγόριθμου. Ο αλγόριθμος ξεκινά από μηδενική βάση ή από μια δεδομένη αρχική λύση και προσθέτει κέντρα, ένα κάθε φορά, μέχρι να ικανοποιηθεί κάποια συνθήκη ή να χωροθετηθεί συγκεκριμένος αριθμός κέντρων. Η πρόσθεση ενός επιπλέον κέντρου γίνεται στον κόμβο ο οποίος προσφέρει τη μεγαλύτερη βελτίωση στην αντικειμενική συνάρτηση. Μόλις χωροθετηθεί ένα κέντρο, αυτό παραμένει σταθερό μέχρι το τέλος της διαδικασίας. Η πρόσθεση του πρώτου κέντρου (δεδομένου ότι τυχόν υφιστάμενα κέντρα διατηρούνται σταθερά) είναι πάντα βέλτιστη. Για περισσότερα κέντρα, ο αλγόριθμος αποκλίνει, τις περισσότερες φορές, από τη βέλτιστη λύση³. Μια συνηθισμένη διατύπωση του προσθετικού αλγόριθμου είναι η παρακάτω:

Βήμα 1ο: Διάβασμα αρχικής λύσης (αν υπάρχει), και κατανομή των κόμβων στα αντίστοιχα κέντρα.

Βήμα 2ο: Για κάθε κόμβο που δεν είναι κέντρο, υπολογίζεται η βελτίωση της αντικειμενικής συνάρτησης εάν αυτός προστεθεί στη λύση ως κέντρο.

Βήμα 3ο: Προστίθεται ένα κέντρο στον κόμβο που προκαλεί τη μεγαλύτερη βελτίωση στην αντικειμενική συνάρτηση και γίνεται κατανομή των υπόλοιπων κόμβων στα αντίστοιχα κέντρα.

Βήμα 4ο: Εάν ικανοποιείται κάποια προκαθορισμένη συνθήκη ή το πλήθος των κέντρων ισούται με κάποιο προκαθορισμένο αριθμό, ο αλγόριθμος τερματίζεται, αλλιώς εκτελούνται εκ νέου τα βήματα 2, 3, 4.

³ Χρησιμοποιώντας το λογισμικό που κατασκευάστηκε, υπολογίστηκε ότι για τα μοντέλα P-διάμεσος και μέγιστη κάλυψη, η απόκλιση από τη βέλτιστη λύση είναι της τάξης του 10%. Αντίθετα, στην περίπτωση του P-κέντρου ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται κάκιστα (απόκλιση πάνω από 100%) το οποίο μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας διμεταβλητό μοντέλο P-κέντρου και P-διάμεσου.

Ένα χαρακτηριστικό του αλγορίθμου είναι ότι εκτός από την τελική λύση παρέχει και όλες τις ενδιάμεσες λύσεις οι οποίες προέκυψαν από τις διαδοχικές προσθέσεις κέντρων. Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου (σε σχέση με την τάξη μεγέθους των δεδομένων), για N υποψήφιους κόμβους και P προστιθέμενα κέντρα εξυπηρέτησης ανέρχεται σε $O(N^2P)$ (Daskin, 1995, κ.α.). Το πρόθεμα O δηλώνει το εκτιμώμενο πλήθος των βασικών υπολογισμών (Operations). Στην περίπτωση που $P > N/2$ και οι ενδιάμεσες λύσεις δεν ενδιαφέρουν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια παραλλαγή του προσθετικού αλγόριθμου, ο αφαιρετικός (*drop*):

Βήμα 1ο: Χωροθέτηση κέντρων σε όλα τα υποψήφια κέντρα. Εάν υπάρχουν κόμβοι ζήτησης οι οποίοι δεν είναι υποψήφια κέντρα, κατανέμονται στο αντίστοιχο κέντρο.

Βήμα 2ο: Για κάθε κέντρο, υπολογίζεται η επιβάρυνση της αντικειμενικής συνάρτησης εάν αυτό αφαιρεθεί από τη λύση.

Βήμα 3ο: Αφαιρείται το κέντρο το οποίο προκαλεί τη μικρότερη επιβάρυνση στην αντικειμενική συνάρτηση και γίνεται κατανομή των υπόλοιπων κόμβων στα αντίστοιχα κέντρα.

Βήμα 4ο: Εάν ικανοποιείται κάποια προκαθορισμένη συνθήκη ή το πλήθος των κέντρων ισούται με κάποιο προκαθορισμένο αριθμό, ο αλγόριθμος τερματίζεται, αλλιώς εκτελούνται εκ νέου τα βήματα 2,3,4.

Η εφαρμογή των δυο αυτών παραλλαγών στο ίδιο πρόβλημα, είναι πιθανόν να δώσει διαφορετικό αποτέλεσμα (Daskin, 1995 κ.α.).

2.4.1.2 ΤΥΧΑΙΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Η πολυπλοκότητα $O(N^2P)$ του προσθετικού αλγορίθμου είναι πολλές φορές σημαντική εάν το μόνο που απαιτείται είναι μια σχετικά αξιοπρεπής αρχική λύση. Υπάρχουν πολύ ταχύτερες διαδικασίες, οι οποίες παρέχουν, όμως, αρκετά χειρότερες λύσεις. Αυτές οι λύσεις, συνήθως, χρησιμοποιούνται από άλλους, περισσότερο εξελιγμένους, αλγόριθμους, για τους οποίους μια αρχική λύση του απλού προσθετικού αλγορίθμου είναι σπατάλη χρόνου. Μια τέτοια διαδικασία είναι ο τυχαίος προσθετικός αλγόριθμος, του οποίου η πολυπλοκότητα ανέρχεται σε $O(NP)$ (Taillard, 1998). Πρωτοπαρουσιάστηκε από τους Dyer και Frieze (1985) για την επίλυση προβλημάτων

P-κέντρου, ενώ χρησιμοποιήθηκε και από τον Taillard (1998), προκειμένου να τροφοδοτήσει τον αλγόριθμο εύρεσης υποψήφιας λίστας (Candidate List Search) με αρχικές λύσεις. Μάλιστα, σε αντίθεση με τον απλό προσθετικό αλγόριθμο, οι προκύπτουσες λύσεις είναι μη καθορισμένες (non deterministic), με αποτέλεσμα για το ίδιο πρόβλημα να μπορούν να προκύψουν N διαφορετικές λύσεις (όπου N ο αριθμός των υποψήφιων κέντρων). Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Βήμα 1ο: Τυχαία επιλογή ενός υποψήφιου κέντρου, πρόσθεση ενός κέντρου στον αντίστοιχο κόμβο και κατανομή των υπόλοιπων κόμβων στο κέντρο αυτό.

Βήμα 2ο: Εύρεση του περισσότερο απομακρυσμένου υποψήφιου κέντρου (Σε σχέση με το κέντρο στο οποίο έχει κατανεμηθεί. Προαιρετικά, λαμβάνεται υπόψη και η ζήτηση του αντίστοιχου υποψήφιου κέντρου) και πρόσθεση ενός κέντρου σ' αυτό τον κόμβο.

Βήμα 3ο: Γίνεται ανακατανομή των υπόλοιπων κόμβων στα αντίστοιχα κέντρα.

Βήμα 4ο: Εάν το πλήθος των κέντρων ισούται με κάποιο προκαθορισμένο αριθμό, ο αλγόριθμος τερματίζεται, αλλιώς εκτελούνται εκ νέου τα βήματα 2, 3, 4.

Γενικά, υπάρχουν πολλές παραλλαγές στον τομέα των τυχαίων αλγορίθμων. Μια απλούστερη, αλλά πολύ χειρότερη τεχνική, είναι η απευθείας επιλογή P τυχαίων κέντρων εξυπηρέτησης, με πιθανότητα εκλογής ανάλογη με τη ζήτηση του κάθε υποψήφιου κόμβου.

2.4.1.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ

Ο αλγόριθμος κατάτμησης ή περιοχής (Partitioning / Neighborhood) είναι, ίσως, ο απλούστερος βελτιωτικός αλγόριθμος. Προτάθηκε από τον Maranzana (1964) για την επίλυση προβλημάτων P -διάμεσου, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες αντικειμενικές συναρτήσεις. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του αλγορίθμου είναι η ταχύτητά του, η οποία αντικατοπτρίζεται και από την πολυπλοκότητά του, που είναι της τάξης $O(N^2)$ (Daskin, 1995). Ο αλγόριθμος επιλύει το πρόβλημα αναχωροθέτησης ενός κέντρου, στην περιοχή εξυπηρέτησης καθενός από τα P κέντρα. Δυστυχώς, η ποιότητα των λύσεων τείνει να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της αρχικής λύσης. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ο αλγόριθμος, είναι ο ακόλουθος:

Βήμα 1ο: Διαβάζεται μια αρχική λύση, κατανέμονται οι κόμβοι που δεν είναι κέντρα στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης και υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Βήμα 2ο: Στην περιοχή εξυπηρέτησης *κάθε* κέντρου (neighborhood):

α) γίνεται προσωρινή αντικατάσταση του υφιστάμενου κέντρου από καθέναν από τους υποψήφιους κόμβους (που βρίσκονται στην περιοχή εξυπηρέτησής του) και υπολογίζεται η τιμή της εσωτερικής αντικειμενικής συνάρτησης της περιοχής εξυπηρέτησης του υφιστάμενου κέντρου.

β) η προσωρινή αντικατάσταση που βελτιώνει περισσότερο την εσωτερική αντικειμενική συνάρτηση (αν υπάρχει τέτοια αντικατάσταση) μονιμοποιείται.

Βήμα 3ο: Αν στο 2ο βήμα υπήρξαν μόνιμες αντικαταστάσεις, γίνεται ανακατανομή των κόμβων (οι οποίοι βρίσκονταν στην περιοχή εξυπηρέτησης των αντικατεστημένων κέντρων) στα αντίστοιχα κέντρα και υπολογίζεται η νέα τιμή της *συνολικής* αντικειμενικής συνάρτησης.

Βήμα 4ο: Εάν στο 2ο βήμα δεν έγινε καμία μόνιμη αντικατάσταση, ή δεν άλλαξε η κατανομή των κόμβων, ο αλγόριθμος τερματίζεται, αλλιώς επαναλαμβάνονται τα βήματα 2, 3, 4.

Ο αλγόριθμος αυτός επιλύει προβλήματα του διακριτού χώρου. Ο αντίστοιχος αλγόριθμος στο συνεχή χώρο προτάθηκε από τον Cooper (1963) και ονομάστηκε αλγόριθμος εναλλαγής [μεταξύ] χωροθέτησης-κατανομής (Alternate Location-Allocation – ALT). Παρόλο που η ποιότητα των λύσεων και των δυο αλγορίθμων είναι χαμηλή και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δοσμένη αρχική λύση, εντούτοις, η ταχύτητα με την οποία εκτελούνται επιτρέπει την ενσωμάτωσή τους σε άλλους, πιο πολύπλοκους, αλγορίθμους.

2.4.1.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος προτάθηκε από τους Teitz και Bart (1968) και μπορεί να θεωρηθεί ως αλγόριθμος-σταθμός για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής. Αρχικά, σχεδιάστηκε για να επιλύει προβλήματα P-διαμέσου, αλλά χρησιμοποιήθηκε με ανάλογη επιτυχία και σε προβλήματα μέγιστης κάλυψης. Επίσης,

σε συνδυασμό με τον προσθετικό και τον αφαιρετικό κατασκευαστικό αλγόριθμο μπορεί να αντιμετωπίσει ικανοποιητικά και προβλήματα σταθερού κόστους. Στα προβλήματα P-κέντρου η απευθείας εφαρμογή του αλγορίθμου δεν προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το βασικό μειονέκτημα του αλγορίθμου είναι η ταχύτητα εκτέλεσής του, η οποία είναι πολλαπλάσια του αλγορίθμου κατάτμησης. Η πολυπλοκότητά του ανέρχεται σε $O(PN^2)$ (Daskin, 1995). Τα βήματα που εκτελούνται από το συγκεκριμένο αλγόριθμο είναι τα εξής:

Βήμα 1ο: Διαβάζεται μια αρχική λύση, κατανέμονται οι κόμβοι που δεν είναι κέντρα στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης και υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Βήμα 2ο: Κάθε ένα από τα P κέντρα αντικαθίσταται προσωρινά από κάθε έναν από τους N-P κόμβους που δεν είναι κέντρα. Σε κάθε προσωρινή αντικατάσταση γίνεται ανακατανομή των κόμβων που δεν είναι κέντρα στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης και υπολογίζεται η νέα τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Η προσωρινή αντικατάσταση που επιφέρει τη μεγαλύτερη βελτίωση στην αντικειμενική συνάρτηση (αν υπάρχει) γίνεται μόνιμη.

Βήμα 3ο: Αν στο 2ο βήμα δεν υπήρξαν μόνιμες αντικαταστάσεις, τότε ο αλγόριθμος τερματίζεται, αλλιώς επαναλαμβάνονται τα βήματα 2, 3.

Το 2ο βήμα του αλγορίθμου μπορεί να υλοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: (α) κάθε προσωρινή αντικατάσταση που βελτιώνει την αντικειμενική συνάρτηση γίνεται μόνιμη (β) η προσωρινή αντικατάσταση κάθε κέντρου που βελτιώνει περισσότερο την αντικειμενική συνάρτηση γίνεται μόνιμη και (γ) η προσωρινή αντικατάσταση για το σύνολο κέντρων που βελτιώνει περισσότερο την αντικειμενική συνάρτηση γίνεται μόνιμη (Daskin, 1995).

Η ταχύτητα εκτέλεσης αυτού του αλγορίθμου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τεχνικές που θα υιοθετηθούν κατά την κατασκευή (προγραμματισμό) του. Η αρχική δημοσίευση του αλγορίθμου δεν περιείχε πληροφορίες για την αποτελεσματική υλοποίησή του. Βελτιώσεις του αρχικού αλγορίθμου προτάθηκαν αργότερα από τους Rushton και Kohler (1973), Whitaker (1983), Densham και Rushton (1992) και πρόσφατα από τους Resende και Werneck (2003a), επιταχύνοντας σημαντικά την εκτέλεσή του. Αρκετοί μετα-ευριστικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν σαν βάση τον

αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής, προκειμένου να παράγουν ένα σύνολο τοπικά βέλτιστων λύσεων υψηλής ποιότητας. Ως εκ τούτου, η ταχύτητα εκτέλεσής του πρώτου είναι πρωταρχικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα των –υπολογιστικά εντατικών– μετα-ευριστικών αλγορίθμων που τον χρησιμοποιούν. Λόγω της πολυπλοκότητάς τους, δε θα γίνει αναλυτικότερη επισκόπηση των βελτιωμένων εκδοχών του αλγορίθμου αντικατάστασης κορυφής.

2.4.1.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΥΠΟΨΗΦΙΑΣ ΛΙΣΤΑΣ

Ο αλγόριθμος εύρεσης υποψήφιας λίστας (Candidate List Search) προτάθηκε από τον Taillard (1998) για την επίλυση προβλημάτων P-διαμέσου, αλλά μπορεί να επεκταθεί ώστε να επιλύει και άλλα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής (P-κέντρο, μέγιστης κάλυψης, κ.ά.). Αποτελεί έναν απλό μετα-ευριστικό αλγόριθμο, ο οποίος βασιζόμενος στον αλγόριθμο κατάτμησης και εκτελώντας στοχαστικές αντικαταστάσεις, βρίσκει λύσεις αρκετά καλής ποιότητας, σε περιορισμένο χρόνο. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να ορίσει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων του αλγορίθμου, επιτυγχάνοντας είτε καλύτερες λύσεις σε περισσότερο χρόνο, είτε λιγότερο καλές λύσεις σε συντομότερο χρόνο. Τα βήματα που εκτελούνται από τον αλγόριθμο είναι τα ακόλουθα:

Βήμα 1ο: Διαβάζεται μια αρχική λύση, κατανέμονται οι κόμβοι που δεν είναι κέντρα στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης και υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Βήμα 2ο: Δημιουργείται μια τυχαία αντιμετάθεση π των κέντρων εξυπηρέτησης και μια τυχαία αντιμετάθεση μ των κόμβων που δεν είναι κέντρα. Επιλέγεται το πρώτο στοιχείο από την αντιμετάθεση π και το πρώτο στοιχείο από την αντιμετάθεση μ .

Βήμα 3ο: Το τρέχον κέντρο της αντιμετάθεσης π αντικαθίσταται από τον αμέσως επόμενο κόμβο της αντιμετάθεσης μ ο οποίος προκαλεί αύξηση στην αντικειμενική συνάρτηση μεγαλύτερη από το μέσο όρο⁴. Στη νέα λύση που προκύπτει, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος κατάτμησης.

⁴ Στην πραγματικότητα, από το μέσο όρο (δηλ. την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης δια τον αριθμό των μη κέντρων) αφαιρείται και ένας όρος ο οποίος αποτελείται από την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, πλην την μεγαλύτερη επιβάρυνση που προκαλείται σ' αυτήν από κάποιο κόμβο, δια τον αριθμό των μη κέντρων, δια τον αριθμό της τρέχουσας επανάληψης.

Βήμα 4ο: Εάν μετά το βήμα 3 παρατηρείται βελτίωση της αντικειμενικής συνάρτησης, οι νέες θέσεις των κέντρων και η νέα κατανομή των κόμβων (που προέκυψαν από τον αλγόριθμο κατάτμησης) διατηρούνται και γίνεται ενημέρωση των αντιμεταθέσεων π και μ . Αλλιώς, οι νέες θέσεις των κέντρων, η αρχική αντικατάσταση και η νέα κατανομή των κόμβων απορρίπτονται.

Βήμα 5ο: Αν το τρέχον κέντρο της αντιμετάθεσης π είναι το τελευταίο, δημιουργείται μια νέα αντιμετάθεση π των κέντρων εξυπηρέτησης και επιλέγεται το πρώτο κέντρο αυτής, αλλιώς επιλέγεται το επόμενο κέντρο της αρχικής αντιμετάθεσης π . Αν ο τρέχον κόμβος της αντιμετάθεσης μ είναι ο τελευταίος, επιλέγεται ο πρώτος κόμβος αυτής.

Τα βήματα 3, 4, και 5 εκτελούνται για ένα πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων, ο οποίος ορίζεται από το χρήστη.

Η πολυπλοκότητα του παραπάνω αλγορίθμου υπολογίζεται σε $\tilde{O}(qP^aN^b)$ όπου q ο αριθμός των επαναλήψεων. Οι τιμές των a, b υπολογίζονται εμπειρικά σε περίπου $0.70 \leq a \leq 0.85$ και $1.19 \leq b \leq 1.34$ (Taillard, 1998). Συνήθως, ο αριθμός των επαναλήψεων παίρνει τιμές $100 < q < 1000$. Επίσης, ο παραπάνω αλγόριθμος έχει αποτελέσει τη βάση άλλων, ταχύτερων αλγορίθμων, οι οποίοι διασπούν ένα πρόβλημα σε μικρότερα μέρη και εφαρμόζουν την παραπάνω διαδικασία σε κάθε ένα (Taillard, 1998).

2.4.1.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ TABU SEARCH

Ο αλγόριθμος Tabu Search έχει επιστρατευθεί για την επίλυση μιας ευρείας γκάμας προβλημάτων βελτιστοποίησης, μεταξύ των οποίων και προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής. Προτάθηκε από τον Glover το 1986, αλλά εξελίσσεται και βελτιώνεται διαρκώς, λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που προσφέρει. Ανάλογα με την υλοποίηση του αλγορίθμου, οι λύσεις μπορεί να είναι εξαιρετικής ποιότητας. Η βασική αρχή είναι ότι, δοσμένης μιας τοπικά βέλτιστης λύσης, γίνονται αλλαγές που επιφέρουν είτε βελτίωση είτε οριακή *επιβάρυνση* της αντικειμενικής συνάρτησης. Ο αλγόριθμος διατηρεί μία λίστα μη επιτρεπτών κινήσεων (Tabu List), οι οποίες αντιπροσωπεύουν πρόσφατες αλλαγές στη λύση, προκειμένου να αποφεύγονται οι τοπικά βέλτιστες λύσεις που έχουν ήδη βρεθεί. Μια απλή διατύπωση του αλγορίθμου είναι η εξής:

Βήμα 1ο: Διαβάζεται μια αρχική λύση, κατανέμονται οι κόμβοι που δεν είναι κέντρα στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης και υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Βήμα 2ο: Η τρέχουσα λύση μετατρέπεται στην καλύτερη *επιτρεπτή γειτονική λύση* (όχι απαραίτητα καλύτερη), με βάση κάποιο άλλο αλγόριθμο (π.χ. αντικατάστασης κορυφής) ή διαδικασία. Η νέα λύση προστίθεται στη λίστα μη επιτρεπτών κινήσεων.

Βήμα 3ο: Ενημέρωση της λίστας μη επιτρεπτών κινήσεων (αφαίρεση ή/και πρόσθεση στοιχείων από τη λίστα, συρρίκνωση ή διεύρυνση της λίστας κ.ά.).

Βήμα 4ο: Αν η νέα λύση βελτιώνει την αντικειμενική συνάρτηση τότε γίνεται τρέχουσα. Τα βήματα 2, 3, 4 εκτελούνται μέχρις ότου ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο (π.χ. η τρέχουσα λύση δεν βελτιώθηκε για x επαναλήψεις).

Η επιτυχία ή όχι της παραπάνω μεθόδου εξαρτάται από το μέγεθος και τις τεχνικές ενημέρωσης της λίστας μη επιτρεπτών κινήσεων, καθώς και από τη διαδικασία (αλγόριθμο) εύρεσης γειτονικών λύσεων. Οι υπάρχουσες τεχνικές ενημέρωσης και διαχείρισης της λίστας (ή των λιστών) είναι πολλές και διακρίνονται σε στατικές και δυναμικές (Glover, 1996 κ.α.).

2.4.1.7 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic Algorithms – GA) έχουν επίσης επιστρατευθεί για την επίλυση πολλών προβλημάτων βελτιστοποίησης, ενώ βρίσκουν εφαρμογή και σε άλλα πεδία, όπως τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI), εξομοίωσης (Simulation) κ.α. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι ισχυρά εργαλεία επίλυσης προβλημάτων συνδυαστικής φύσης και μπορούν να αντεπεξέλθουν με επιτυχία στα δυσκολότερα μοντέλα. Το βασικό μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι ο αρκετά μεγάλος χρόνος που απαιτούν για την επίλυση των περισσότερων προβλημάτων. Ένας τυπικός γενετικός αλγόριθμος δημιουργεί έναν πληθυσμό από διαφορετικές λύσεις του προβλήματος, ο οποίος (πληθυσμός) εξελίσσεται μέσω διαδικασιών όπως η *διασταύρωση* (συνδυασμός λύσεων), η *μετάλλαξη* (μετατροπή-βελτίωση λύσεων από εξωγενείς διαδικασίες [π.χ. αλγορίθμους]), η *διατάραξη* του πληθυσμού κ.ά. Σε κάθε μονάδα του πληθυσμού αντιστοιχεί μια τιμή η οποία αντιπροσωπεύει την *αντοχή* του

(fitness) σε σχέση με τις υπόλοιπες μονάδες του πληθυσμού. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου δημιουργούνται νέες μονάδες, ενώ οι μονάδες με χαμηλή αντοχή εξαλείφονται. Σταδιακά, ο πληθυσμός *βελτιώνεται* καθώς η αντικειμενική συνάρτηση πλησιάζει στη βέλτιστη τιμή της (Goldberg, 1989 κ.α.). Μια αναπαράσταση των βημάτων ενός τέτοιου αλγορίθμου (Κατασκευαστικός Γενετικός Αλγόριθμος, απλούστευση από το πρωτότυπο [Lorena κ.ά., 1998]) είναι η παρακάτω:

Βήμα 1ο: Δημιουργία του πληθυσμού (χρησιμοποιώντας κάποιο τυχαίο ή κατασκευαστικό αλγόριθμο) και αξιολόγησή τους (με βάση τη *συνάρτηση αντοχής*).

Βήμα 2ο: Επιλέγονται οι μονάδες του πληθυσμού (λύσεις) των οποίων η αντοχή είναι μεγαλύτερη από κάποια, σταδιακά εξελισσόμενη, τιμή.

Βήμα 3ο: Διασταύρωση των μονάδων του πληθυσμού (συνδυασμός λύσεων) και *μετάλλαξη* των νέων μονάδων που προκύπτουν (βελτίωση των νέων λύσεων με κάποιο αλγόριθμο ή διαδικασία).

Βήμα 4ο: Αξιολόγηση των μονάδων του πληθυσμού (υπολογισμός της αντοχής τους), και κατάταξή τους. Τα βήματα 2, 3 και 4 εκτελούνται μέχρις ότου ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο (π.χ. μέχρις ότου όλες οι μονάδες του πληθυσμού έχουν την ίδια αντοχή).

2.4.1.8 ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ονομάζεται υβριδικός (Hybrid) γιατί συνδυάζει στοιχεία από πολλούς μετα-ευριστικούς αλγορίθμους (GRASP⁵, Tabu Search, γενετικούς αλγορίθμους κ.α.). Βασίζεται σε διαδοχικές εκτελέσεις ενός είδους τυχαίου αλγορίθμου, οι λύσεις του οποίου βελτιώνονται από τον νέο αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής των Resende και Werneck (2003a) πολυπλοκότητας $O(N^2)$. Οι λύσεις που προκύπτουν συνδυάζονται μεταξύ τους⁶ με μια τεχνική η οποία ονομάζεται Path Relinking (Glover κ.ά., 2000 κ.α.). Οι καλύτερες και περισσότερο διαφορετικές μεταξύ τους λύσεις, οι οποίες προκύπτουν κατά τη διάρκεια του αλγορίθμου, διατηρούνται σε μια πεπερασμένη *τράπεζα λύσεων ελίτ* (pool of elite solutions). Με τις λύσεις ελίτ

⁵ Βλ. κ. 2.4.1.9

⁶ Για τον συνδυασμό, επιλέγονται κατά το δυνατόν διαφορετικές (diversified) μεταξύ τους λύσεις.

συνδυάζονται οι νέες λύσεις που προκύπτουν, δημιουργώντας καινούριες, οι οποίες, ανάλογα με την ποιότητά τους, αντικαθιστούν τις υπάρχουσες λύσεις ελίτ. Στο τέλος της διαδικασίας, οι λύσεις ελίτ συνδυάζονται μεταξύ τους σε μια προσπάθεια να δημιουργηθούν νέες, ακόμα καλύτερες λύσεις (Resende και Werneck, 2003b). Με μορφή βημάτων, ο αλγόριθμος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Βήμα 1ο: Εφαρμόζεται κάποιο είδος τυχαίου αλγορίθμου για την κατασκευή μιας μη-καθορισμένης (non-deterministic) αρχικής λύσης. Η αρχική λύση βελτιώνεται από τον αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής (1η νέα λύση).

Βήμα 2ο: Αν η τράπεζα λύσεων ελίτ δεν είναι κενή, τότε εφαρμόζεται η τεχνική Path Relinking μεταξύ της 1ης νέας λύσης και κατάλληλης λύσης από την τράπεζα των λύσεων ελίτ, για να προκύψει μια 2η νέα λύση, η οποία επίσης βελτιώνεται από τον αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής.

Βήμα 3ο: Αν οι νέες λύσεις 1, 2 είναι καλύτερες και διαφορετικές από τις υπάρχουσες λύσεις ελίτ, τότε προστίθενται στην τράπεζα των λύσεων ελίτ. Αν η τράπεζα των λύσεων ελίτ περιέχει παραπάνω από ένα προκαθορισμένο αριθμό λύσεων (συνήθως 10, [ορίζεται από το χρήστη]), τότε η χειρότερη (-ες) απορρίπτεται. Τα βήματα 1, 2, 3 εκτελούνται για ένα πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων (συνήθως 32, [ορίζεται από το χρήστη]).

Βήμα 4ο: Ο αλγόριθμος τερματίζεται με την εφαρμογή ενός προαιρετικού βελτιωτικού βήματος, όπου οι λύσεις ελίτ συνδυάζονται μεταξύ τους με την τεχνική Path Relinking και στις νέες λύσεις εφαρμόζεται ο αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής. Η τράπεζα των λύσεων ελίτ ανανεώνεται με βάση τις νέες λύσεις και το βήμα 4 επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να μην μεταβάλλεται άλλο η τράπεζα των λύσεων ελίτ.

Οι δημιουργοί αυτού του αλγορίθμου κατασκεύασαν και ένα προγραμματιστικό περιβάλλον ανοικτής αρχιτεκτονικής, το οποίο συμπεριλαμβάνει τον παραπάνω αλγόριθμο καθώς και άλλους (Tabu Search), για την επίλυση προβλημάτων P-διαμέσου (<http://www.research.att.com/~mgcr/popstar>). Η ποιότητα των λύσεων του αλγορίθμου είναι, στη χειρότερη περίπτωση, ελάχιστη χειρότερη από τη βέλτιστη λύση. Μάλιστα, υιοθετώντας τον νέο ταχύτατο αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής, ο αλγόριθμος εκτελείται σε πολύ ικανοποιητικούς χρόνους.

2.4.1.9 ΑΛΛΟΙ ΕΥΡΙΣΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι ευριστικοί αλγόριθμοι (μαζί με τις παραλλαγές τους) που υπάρχουν για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής, είναι δεκάδες. Ως εκ τούτου είναι αδύνατον να παρουσιαστούν όλοι, έστω και γενικά, στην παρούσα διπλωματική. Οι σημαντικότεροι από τους εναπομείναντες αλγορίθμους παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

— ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH – VNS)

Αυτός ο αλγόριθμος αποτελεί μια επέκταση του απλού αλγόριθμου αντικατάστασης κορυφής, όπου μπορούν να γίνουν n ταυτόχρονες αντικαταστάσεις, όπου $1 \leq n \leq P$ (P = αριθμός των προς χωροθέτηση κέντρων). Ο αλγόριθμος απαντάται σε πολλές εκδοχές και προσφέρει αρκετά καλές λύσεις σε σχετικά ικανοποιητικό χρόνο (Mladenović κ.ά., 1997 κ.α.).

— ΤΥΧΑΙΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΕΥΡΕΣΗΣ (GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE – GRASP)

Η συγκεκριμένη κατηγορία αλγορίθμων βασίζεται σε διαδοχικές εκτελέσεις κάποιου κατασκευαστικού, μη-κανονιστικού αλγορίθμου, οι οποίες βελτιώνονται από άλλους αλγορίθμους. Συνήθως, οι λύσεις που προκύπτουν συνδυάζονται, προκειμένου να προκύψουν νέες (προσαρμοσμένες) λύσεις (Resende και Werneck, 2003b κ.α.).

— ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ-ΤΟΠΙΚΗΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (GLOBAL-REGIONAL INTERCHANGE ALGORITHM – GRIA)

Ο αλγόριθμος GRIA συνδυάζει τους αλγόριθμους κατάτμησης (βλ. κ. 2.4.1.3) και αντικατάστασης κορυφής (βλ. κ. 2.4.1.4) σε εναλλασσόμενα στάδια, προκειμένου να παράγει λύσεις υψηλής ποιότητας σε περιορισμένο χρόνο (Densham και Rushton, 1992 κ.α.).

2.4.2 ΑΚΡΙΒΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Αν και σε εφαρμοσμένα προβλήματα χωροθέτησης δεν απαιτείται μια 100% βέλτιστη λύση, οι ευριστικοί αλγόριθμοι δεν προσφέρουν κάποια ένδειξη για την ποιότητα της λύσης. Ανάλογα με τον αλγόριθμο και το πρόβλημα που επιλύεται, οι λύσεις αυτές μπορεί να είναι σχεδόν βέλτιστες, μέτριες ή και φτωχές. Οι ακριβείς τεχνικές επίλυσης, κατά τη διάρκεια εκτέλεσής τους, παρέχουν ένδειξη της αναμενόμενης απόκλισης από τη βέλτιστη λύση, η οποία αναζητείται. Οι ακριβείς τεχνικές επίλυσης, δοσμένου ενός κατάλληλου χρονικού περιθωρίου, βρίσκουν πάντα τη βέλτιστη λύση. Το βασικό μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM) και υπολογιστικό χρόνο. Στη χειρότερη περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να πληροφορηθεί για τη μέγιστη αναμενόμενη απόκλιση από τη βέλτιστη λύση και να σταματήσει τη διαδικασία επίλυσης (αποκομίζοντας μια βέλτιστη ή σχεδόν βέλτιστη λύση). Οι ακριβείς τεχνικές επίλυσης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές σε προβλήματα μικρής κλίμακας. Καθώς το μέγεθος του προβλήματος αυξάνει, η χρήση τεχνικών ακριβούς επίλυσης καθίσταται απαγορευτική. Παρακάτω παρατίθενται μερικές κλασικές τεχνικές ακριβούς επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή και στα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής. Λόγω της πολυπλοκότητάς τους, οι περισσότερες δεν θα αναλυθούν σε βάθος, αλλά θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Για περισσότερες λεπτομέρειες, ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στις αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές.

2.4.2.1 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ/ΑΚΕΡΑΙΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Τα περισσότερα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής μπορούν να διατυπωθούν ως μαθηματικά προγράμματα (βλ. κ. 2.3.2). Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) συνίσταται στη γραμμική επίλυση της αντικειμενικής συνάρτησης με βάση τους περιορισμούς που ορίζονται από το εκάστοτε μοντέλο. Συνήθως, το *αρχικό* πρόβλημα (primal) μετασχηματίζεται στο *διπλό* πρόβλημα (dual) το οποίο είναι μια παραλλαγή του αρχικού προβλήματος, με περισσότερες μεταβλητές (dual variables, slack variables) οι οποίες καθιστούν το πρόβλημα γραμμικά επίλυσιμο. Πολλές φορές, είναι εφικτή η *χαλάρωση* του προβλήματος, με την αφαίρεση κάποιου περιορισμού και αντικατάστασή του από μεταβλητές οι οποίες υπεισέρχονται στην αντικειμενική

συνάρτηση. Επίσης, σε αρκετά προβλήματα είναι δυνατή η εφαρμογή τεχνικών απαλοιφής περιοχών πιθανών λύσεων (reduction techniques), προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία επίλυσης. Η διαδικασία επίλυσης ποικίλει από αλγόριθμο σε αλγόριθμο, αν και συνήθως υιοθετείται η τεχνική branch and bound (αναλύεται στη συνέχεια). Στο τέλος της διαδικασίας, η λύση που βρέθηκε ανταποκρίνεται στη βέλτιστη λύση του αρχικού προβλήματος (Daskin, 1995 κ.α.). Το ουσιαστικό μειονέκτημα των μεθόδων γραμμικού και ακέραιου (0/1) προγραμματισμού είναι ο ασύμφορος μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την επίλυση, ακόμα και μικρού μεγέθους, προβλημάτων. Ο γνωστότερος, ίσως, αλγόριθμος επίλυσης γραμμικών προγραμμάτων είναι ο SIMPLEX (<http://www-fp.mcs.anl.gov/otc/Guide/CaseStudies/simplex/explanation.html>).

2.4.2.2 BRANCH AND BOUND

Η τεχνική branch and bound απαντάται σε πολλούς αλγορίθμους ακριβούς επίλυσης σε συνδυασμό με άλλες, αποδοτικότερες τεχνικές, προκειμένου να βρεθεί μια αποδεδειγμένα βέλτιστη λύση. Η τεχνική αρχίζει με τη θεώρηση πως κάποιος κόμβος του προβλήματος αποτελεί μέρος της βέλτιστης λύσης. Στο σημείο αυτό, ο αλγόριθμος διακλαδίζεται (*branch*) σε τόσες εκδοχές, όσες και οι εναπομείναντες κόμβοι του προβλήματος, αντιστοιχώντας μια τιμή σε κάθε εκδοχή. Κατόπιν, από τους εναπομείναντες κόμβους επιλέγεται ένας στον οποίο ο αλγόριθμος εκτελεί νέα διακλάδωση κ.ο.κ. Κατά τη διάρκεια επίλυσης του προβλήματος, πολλές εκδοχές (λύσεις) αποδεικνύονται καλύτερες από άλλες. Με αυτόν τον τρόπο, ο αλγόριθμος αποκλείει (*bound*) όλες τις ενεργές εκδοχές (όχι απαραίτητα πλήρως αναλυμένες) οι οποίες είναι χειρότερες από τη μέχρι στιγμής καλύτερη, πλήρως αναλυμένη, εκδοχή. Ο αλγόριθμος σταματάει όταν δεν υπάρχουν άλλες μη αποκλεισμένες εκδοχές, ή όταν έχει αναλυθεί ένα προκαθορισμένο πλήθος εκδοχών (Daskin, 1995 κ.α.). Για μεγάλα προβλήματα, ο αλγόριθμος γίνεται υπολογιστικά εντατικός και λειτουργεί αποδοτικά μόνο σε συστήματα παράλληλων υπολογιστικών συστημάτων υψηλών επιδόσεων (Yeşilkökçen κ.ά., 1998 κ.α.).

2.4.2.3 ΧΑΛΑΡΩΣΗ LAGRANGE

Η χαλάρωση Lagrange (Lagrange Relaxation) είναι μια τεχνική βελτιστοποίησης που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στα περισσότερα προβλήματα χωροθέτησης-

κατανομής (Senne και Lorena, 2000 κ.α.). Η διαδικασία συνίσταται στην χαλάρωση του αρχικού προβλήματος (δηλ. στην αφαίρεση κάποιου περιορισμού) και στην προσθήκη ορισμένων μεταβλητών στην αντικειμενική συνάρτηση (πολλαπλασιαστές Lagrange). Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, επιλύεται το χαλαρωμένο πρόβλημα, το οποίο για σταθερές τιμές των πολλαπλασιαστών Lagrange είναι απλούστατο. Η τιμή που προκύπτει από το χαλαρωμένο πρόβλημα είναι πάντα καλύτερη από τη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του αρχικού προβλήματος. Έτσι ορίζεται ένα *κατώτατο όριο (lower bound)* της αντικειμενικής συνάρτησης. Οι λύσεις που προκύπτουν από το χαλαρωμένο πρόβλημα δεν είναι απαραίτητα εφικτές λύσεις του αρχικού προβλήματος – πιθανότατα παραβιάζουν τον περιορισμό που αφαιρέθηκε. Παρ' όλα αυτά, είναι δυνατή η αξιολόγησή τους, με βάση την αρχική αντικειμενική συνάρτηση και τους αρχικούς περιορισμούς. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει μια εφικτή λύση της αρχικής αντικειμενικής συνάρτησης. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, ορίζεται ένα *ανώτατο όριο (upper bound)* της αντικειμενικής συνάρτησης το οποίο αντιστοιχεί στην μέχρι στιγμής καλύτερη εφικτή λύση του αρχικού προβλήματος. Σκοπός του αλγορίθμου είναι, μέσω μιας τεχνικής γνωστής ως *subgradient optimization*, να ταυτίσει το κατώτερο με το ανώτερο όριο, παρέχοντας έτσι μια αποδεδειγμένα βέλτιστη λύση (Daskin, 1995 κ.α.). Για μεγάλα ή δύσκολα προβλήματα, ο αλγόριθμος μπορεί να συνδυαστεί με την τεχνική Branch and Bound (βλ. κ. 2.4.2.2).

Επειδή αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται στο λογισμικό, κρίνεται σκόπιμη μια αναλυτικότερη παρουσίασή του με τη μορφή βημάτων:

Βήμα 1ο: Αν υπάρχει διαθέσιμη κάποια αρχική λύση, τότε η αντίστοιχη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης γίνεται το νέο ανώτατο όριο. Δημιουργείται το χαλαρωμένο πρόβλημα και υπολογίζονται αρχικές (αυθαίρετες) τιμές των πολλαπλασιαστών Lagrange.

Βήμα 2ο: Επιλύεται το χαλαρωμένο πρόβλημα, και υπολογίζεται η τιμή της χαλαρωμένης αντικειμενικής συνάρτησης (κατώτατο όριο).

Βήμα 3ο: Η λύση του χαλαρωμένου προβλήματος αντιστοιχίζεται σε μια εφικτή λύση του αρχικού προβλήματος και υπολογίζεται η νέα τιμή της αρχικής αντικειμενικής συνάρτησης. Εάν η νέα τιμή είναι καλύτερη από το ανώτατο όριο, τότε το ανώτατο όριο αντικαθίσταται από αυτήν.

Βήμα 4ο: Υπολογίζεται το βήμα (*stepsize*) του αλγορίθμου με βάση την τεχνική subgradient optimization.

Βήμα 5ο: Γίνεται έλεγχος των συνθηκών τερματισμού του αλγορίθμου. Σε περίπτωση που ισχύει κάποια συνθήκη τερματισμού ο αλγόριθμος σταματάει.

Βήμα 6ο: Υπολογίζονται οι νέες τιμές των πολλαπλασιαστών Lagrange και εκτελούνται εκ νέου τα βήματα 2, 3, 4, 5 και 6.

Για το συγκεκριμένο αλγόριθμο, ο χρήστης πρέπει να ορίσει μια σειρά από παραμέτρους (οι παράμετροι που περιέχουν το σύμβολο * αποτελούν συνθήκες τερματισμού του αλγορίθμου):

- Το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων * (ελάχιστο προτεινόμενο: 450)
- Το ελάχιστο αποδεκτό ποσοστό απόκλισης του ανώτατου από το κατώτατο όριο* (αντιπροσωπεύει την ελάχιστη αναμενόμενη ακρίβεια του αλγορίθμου – ελάχιστο προτεινόμενο 0.01%)
- Την αρχική τιμή της μεταβλητής Alpha⁷ (συνήθως 2) καθώς και τον αριθμό των διαδοχικών επαναλήψεων (συνήθως 36) που επιτρέπεται να εκτελεστούν χωρίς να υπάρξει βελτίωση του κατώτατου ορίου (στην περίπτωση αυτή, η τιμή της μεταβλητής Alpha υποδιπλασιάζεται – π.χ.: 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 κ.ο.κ.)
- Την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή που μπορεί να πάρει η μεταβλητή Alpha* (ελάχιστο προτεινόμενο: 0.0005)
- Την τιμή του παράγοντα απόσβεσης⁸ (*damping factor*), η οποία ορίζεται συνήθως σε 0.3.

Επίσης, στο βήμα 3 η τιμή του ανώτατου ορίου μπορεί να βελτιωθεί εάν εφαρμοστεί στη νέα εφικτή λύση κάποιος ευριστικός αλγόριθμος (συνήθως εφαρμόζεται ο αλγόριθμος κατάτμησης λόγω της μεγάλης του ταχύτητας, ενώ ο αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε φορά που υποδιπλασιάζεται η

⁷ Η μεταβλητή Alpha υπεισέρχεται στην τεχνική subgradient optimization για τον καθορισμό του βήματος του αλγορίθμου. Με τη σταδιακή μείωση της μεταβλητής, επιτυγχάνεται απεμπλοκή του αλγορίθμου στις περιπτώσεις που δεν μπορεί να βρει καλύτερες λύσεις του χαλαρωμένου προβλήματος.

⁸ Κάποιες φορές, οι πολλαπλασιαστές Lagrange ταλαντεύονται μεταξύ δυο σετ των ίδιων τιμών, καθυστερώντας σημαντικά τον αλγόριθμο. Ο παράγοντας απόσβεσης διατηρεί ένα μέσο όρο όλων των προηγούμενων υπολογισμένων πολλαπλασιαστών και σταθμίζει σε κάθε επανάληψη τους νέους πολλαπλασιαστές με το μέσο όρο. Ο παράγοντας απόσβεσης παίρνει τιμές $0 < d.f. < 1$.

τιμή της μεταβλητής Alpha). Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο αλγόριθμος μπορεί να επιταχυνθεί σημαντικά εάν εφαρμοστεί μια τεχνική αποκλεισμού και υποχρεωτικής συμπερίληψης μεταβλητών (δηλαδή κόμβων του προβλήματος) ανάλογα με τη συμβολή τους στην αντικειμενική συνάρτηση (Variable Forcing) (Daskin, 2000 κ.α.). Μια άλλη τεχνική βελτίωσης του αλγορίθμου (δεν συμπεριλαμβάνεται στο λογισμικό) επιλύει ένα διπλά χαλαρωμένο πρόβλημα (Lagrange/Surrogate Relaxation) (Senne και Lorena, 2000 κ.α.).

2.4.2.4 ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΚΡΙΒΟΥΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Όπως και στην περίπτωση των ευριστικών αλγορίθμων, έτσι υπάρχουν δεκάδες τεχνικές ακριβούς επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης με πολλές παραλλαγές. Συνοπτικά, μερικές επιπλέον τεχνικές ακριβούς επίλυσης παρατίθενται παρακάτω:

— BRANCH AND CUT

Η συγκεκριμένη τεχνική ενδείκνυται για προβλήματα που περιλαμβάνουν μεγάλο πλήθος μεταβλητών. Επιλύει γραμμικά προγράμματα εφαρμόζοντας τεχνικές παραγωγής στηλών (column generation) και τομών (cuts) της περιοχής λύσης με βάσει προκαθορισμένα κριτήρια (valid inequalities) τα οποία είναι διαφορετικά για κάθε πρόβλημα. Συνήθως, τέτοιοι αλγόριθμοι εκτελούνται σε παράλληλες συστοιχίες υπολογιστών (Ladányi κ.ά., 2001 κ.α.).

— ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ BENDER

Μια παρόμοια μέθοδος με τη χαλάρωση Lagrange είναι η αποσύνθεση Bender (Bender's Decomposition) η οποία διασπά σύνθετα προβλήματα σε απλούστερα τα οποία επιλύονται είτε με γραμμικό προγραμματισμό είτε με άλλες τεχνικές (π.χ. Branch and Bound) (Daskin, 1995 κ.α.).

— ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ DUAL-BASED

Κατηγορία μεθόδων βελτιστοποίησης του αρχικού (μη χαλαρωμένου) προβλήματος. Συνδυάζονται και με άλλες τεχνικές βελτιστοποίησης (Daskin, 1995 κ.α.).

2.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Η διαδικασία επίλυσης με ακριβείς τεχνικές παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες και παράλληλα χαρακτηριστικές αδυναμίες. Αντίθετα, οι ευριστικοί αλγόριθμοι επιδεικνύουν ισχυρότερη ομοιογένεια ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Παρακάτω, επιχειρείται μια σύγκριση μεταξύ των δυο αυτών μεθόδων, με έμφαση στις όποιες διαφορές και ομοιότητες παρουσιάζουν (Φώτης, 1997):

- Οι ακριβείς τεχνικές επίλυσης πάντα βρίσκουν τη βέλτιστη λύση ενώ οι ευριστικοί αλγόριθμοι δεν το εξασφαλίζουν.
- Οι ακριβείς τεχνικές επίλυσης, κατά τη διάρκεια εκτέλεσής τους παρέχουν ένδειξη για την αναμενόμενη ποιότητα της μέχρι στιγμής βέλτιστης λύσης, σε αντίθεση με τους ευριστικούς.
- Οι συνολικοί χρόνοι επίλυσης για τους ευριστικούς αλγορίθμους μπορούν να εκτιμηθούν με σχετική ακρίβεια, πράγμα το οποίο δεν ισχύει για τις ακριβείς τεχνικές. Συνήθως, οι χρόνοι εκτέλεσης των τελευταίων είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι από αυτούς των πρώτων.
- Οι ευριστικοί αλγόριθμοι μπορούν να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν σε συστήματα υπολογιστών με χαμηλές ταχύτητες και περιορισμένο χώρο αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων, ενώ οι ακριβείς τεχνικές προϋποθέτουν αρκετά μεγάλη μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM) και γρήγορους επεξεργαστές για την επίλυση μεγάλων προβλημάτων.
- Οι ακριβείς τεχνικές μπορούν να επιλύσουν και προβλήματα στα οποία ενδογενώς προσδιορίζεται ο αριθμός των υπηρεσιών, σε αντίθεση με την πλειονότητα των ευριστικών.

Με δεδομένο ότι κατά τη διάρκεια πραγματικών χωροθετικών προβλημάτων η έμφαση δίνεται στην παραγωγή εναλλακτικών προτάσεων που παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, παρά στον εντοπισμό της “βέλτιστης λύσης”, φαίνεται να ευνοούνται οι ευριστικοί αλγόριθμοι. Έτσι, αν και η αξιοπιστία της κάθε λύσης είναι σημαντική, η ταχύτητα και η ευκολία με την οποία παράγεται και αξιολογείται είναι καθοριστική στον προσδιορισμό του βαθμού στον οποίο η διαδικασία λήψης αποφάσεων μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας ένα αμφίδρομο διάλογο χρήστη –

συστήματος ηλεκτρονικών υπολογιστών. Τότε, πλέον, τα πλεονεκτήματα των ευριστικών αλγορίθμων επισκιάζουν τα μειονεκτήματά τους.

Για τη σύγκριση δυο οποιονδήποτε αλγορίθμων που έχουν σχεδιαστεί για την επίλυση του ίδιου προβλήματος, υπάρχει ένας αριθμός κριτηρίων που θεωρούνται κρίσιμα: ακρίβεια, ευρωστία (δηλ. καλή συμπεριφορά σε διάφορα προβλήματα ή εκδοχές του ίδιου προβλήματος – robustness), ταχύτητα, αποδοτικότητα και το μέγεθος του προβλήματος (Φώτης, 1997 κ.α.).

2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τελευταία έχει γίνει γνωστό ότι πολλές από τις κλασικές διατυπώσεις της θεωρίας χωροθετήσεων, μπορούν να ερμηνευτούν σαν συγκεκριμένα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής. Για παράδειγμα, ο Rushton (1972) περιέγραψε έναν αλγόριθμο για συνεχή ζήτηση, ο οποίος προσπαθεί να χωροθετήσει τα κέντρα έτσι, ώστε οι περιφέρειές τους να περιέχουν ίσο πληθυσμό. Ένας τέτοιος αλγόριθμος, φυσικά, δεν είναι τίποτα άλλο παρά διαφορετική διατύπωση της ίδιας της θεωρίας της κεντρικής θέσης, τουλάχιστον έτσι όπως την ξαναδιατύπωσαν οι Berry και Garrison (1958). Ένα άλλο παράδειγμα, είναι η δουλειά των Church και Reville (1973), οι οποίοι προτείνοντας έναν αλγόριθμο στηριζόμενο στη θέση ότι η χρήση υπηρεσιών ελαττώνεται με την απόσταση από την υπηρεσία αυτή, ουσιαστικά έκαναν εφαρμογή της γνωστής αρχής που αναπτύχθηκε από τον Christaller, ότι δηλαδή λιγότερες υπηρεσίες και αγαθά των κεντρικών θέσεων καταναλίσκονται από τον πληθυσμό εξαιτίας της απόστασης. Επομένως, είναι φανερό ότι ένα σημαντικό ποσοστό της γνώσης της θεωρίας χωροθετήσεων έχει μεταφραστεί σε αλγορίθμους χωροθέτησης-κατανομής.

Επιπλέον, η χρήση των μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής επιτρέπει τη γρήγορη επίλυση του κλασικού προβλήματος του Weber (χωροθέτηση βιομηχανιών) και μάλιστα κάτω από διαφορετικές συνθήκες (στο συνεχή χώρο και σε δίκτυο). Πρόσθετα, οι διαδικασίες των μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής, έχοντας ορισμένες γεωμετρικές ιδιότητες που προσαρμόζονται σε προβλήματα περιφερειοποίησης, μπορούν εύκολα να βοηθήσουν στην επίλυσή τους. Κυρίως, όμως, η χρησιμότητα των μοντέλων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική από κοινωνική σκοπιά. Πρώτον, γιατί με το να δείχνουν ότι υπάρχουν καλύτερες χωρικές λύσεις, δίνουν στις διάφορες κοινωνικές ομάδες επιχειρήματα ενάντια σε μη αποτελεσματικές ή άδικες προτάσεις χωροθέτησης κέντρων παροχής κοινωνικών υπηρεσιών. Δεύτερον, δίνουν τη δυνατότητα διερεύνησης και

αξιολόγησης διάφορων συνδυασμών δίκαιας και αποτελεσματικής χωρικής κατανομής των υπηρεσιών αυτών. Ιδιαίτερα σε χώρες του τρίτου κόσμου, όπου η ανάγκη για νέες υποδομές και υπηρεσίες είναι μεγάλη και οι διαθέσιμοι πόροι περιορισμένοι, η χρήση μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής μπορεί να επιδράσει καταλυτικά στην αποτελεσματική κάλυψη των αναγκών με όσο το δυνατόν περιορισμένο κόστος.

Τέλος, από καθαρά πρακτική σκοπιά, τα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής μπορούν να επιλύσουν τα εξής τρία σημαντικά προβλήματα οργάνωσης χώρου (Φώτης, 1997):

- Το πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης Ρ-κέντρων παροχής υπηρεσιών, με την παραδοχή ότι στην περιοχή δεν υπάρχουν άλλα τέτοια κέντρα (*το γενικό πρόβλημα*).
- Το πρόβλημα της βέλτιστης χωροθέτησης Κ επιπλέον κέντρων, θεωρώντας τα υπάρχοντα κέντρα σαν δοσμένα (*το προσθετικό πρόβλημα*).
- Το πρόβλημα της αναδιοργάνωσης ενός χωρικού συστήματος, όπου δοσμένων Ρ-κέντρων παροχής υπηρεσιών σε μια περιοχή, κλείνουν κέντρα που δεν είναι βέλιστα χωροθετημένα και ανοίγουν καινούρια σε βέλτιστες θέσεις (*το πρόβλημα της αναδιοργάνωσης*).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν, βασικά προεκτείνουν τους κλασικούς τρόπους επίλυσης και δεν τους αντικαθιστούν τελείως. Μάλιστα, όπως θα φανεί στο επόμενο κεφάλαιο, τόσο κλασικές μέθοδοι χωροθέτησης (οι οποίες βασίζονται εν μέρει στην εμπειρία και τη διορατικότητα του ερευνητή) όσο και μέθοδοι χωροθέτησης-κατανομής μπορούν να συνδυαστούν κάτω από ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων.

Η βελτιστοποίηση της γεωγραφικής προσιτότητας για κοινωνικές υπηρεσίες, είναι ένα μικρό μόνο μέρος ενός μεγαλύτερου προβλήματος. Ο Weber (1972) έχει γράψει για τη σπουδαιότητα των πολιτιστικών και κοινωνικών εμποδίων μεταξύ του πλατύ κοινού και των εξειδικευμένων επαγγελματιών, οι οποίοι προσφέρουν μορφωτικές, ιατρικές και άλλες αναγκαίες υπηρεσίες. Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η απόσταση είναι μεγαλύτερο εμπόδιο για τους φτωχούς παρά για τους πλούσιους. Επομένως, για πολλές υπηρεσίες, οι κοινωνικές και οι χωρικές διαστάσεις του προβλήματος θα έπρεπε να εξετάζονται ταυτόχρονα (Φώτης, 1997).

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλά από τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στις ιδιωτικές και δημόσιες υπηρεσίες είναι χωρικής φύσης: διευθύνσεις πελατών, θέσεις κέντρων διανομής, κριτήρια επιλογής θέσεων υπηρεσιών, χωρική κατανομή δημογραφικών δεδομένων, κ.ά. Πολλές φορές, είναι απαραίτητο να ληφθούν αποφάσεις οι οποίες θα βασίζονται στη σωστή ερμηνεία χωρικών δεδομένων (π.χ., “Εύρεση των πιθανών κέντρων εξυπηρέτησης, τα οποία ανταποκρίνονται σε ικανή χωρητικότητα, προσπελασιμότητα και άλλες πιθανές χωρικές παραμέτρους”). (Crossland, κ.ά., 1995). Η τεχνολογία των **Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών** (ΓΣΠ) – Geographic Information Systems (GIS) – αναπτύχθηκε ως μέσο οργάνωσης και ανάλυσης χωρικών δεδομένων. Παρ’ όλα αυτά, εκείνο που πραγματικά χρειάζονται οι λήπτες αποφάσεων για την επίλυση χωρικών προβλημάτων είναι τα **Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων** (ΣΣΧΑ) – Spatial Decision Support Systems (SDSS). Θεωρητικά, τα ΣΣΧΑ είναι εξειδικευμένα λογισμικά Η/Υ, τα οποία είναι προφανή στον τρόπο χρήσης, επιλύουν συγκεκριμένα χωρικά προβλήματα με αποδοτικό τρόπο και εξάγουν άμεσα αποτελέσματα. Τα ΣΣΧΑ στηρίζονται στην τεχνολογία των ΓΣΠ, αλλά είναι απλούστερα στη χρήση από τα ολοκληρωμένα ΓΣΠ, γιατί προσφέρουν λύσεις για συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων. Σ’ αυτό το κεφάλαιο, εξετάζονται τα *χαρακτηριστικά* των ΓΣΠ και των ΣΣΧΑ καθώς και οι λόγοι οι οποίοι καθιστούν πολλά διαθέσιμα ΣΣΧΑ *αναποτελεσματικά*. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην ειδικότερη κατηγορία των **Συστημάτων Στήριξης Αποφάσεων Χωροθέτησης-Κατανομής** (ΣΣΑΧΚ) – (Location-Allocation Decision Support Systems (LADSS) – και επιχειρείται μια μερική επισκόπηση και σύγκριση των διαθέσιμων λογισμικών.

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Η τεχνολογία των ΓΣΠ είναι μια αλματώδως αναπτυσσόμενη βιομηχανία και, παράλληλα, μια σημαντική, σχετικά νέα, προσέγγιση στη διαχείριση και ανάλυση δεδομένων. Σε αρκετούς ανθρώπους, έχει καλλιεργηθεί η εντύπωση ότι τα ΓΣΠ είναι, απλώς, μία ακόμη μέθοδος χαρτογραφικής απεικόνισης πληροφοριών, παρόλο που στην πραγματικότητα, οι δυνατότητες των ΓΣΠ είναι απεριόριστες. Οι κατασκευαστές

ΓΣΠ, αλλά και γενικότερα η επιστημονική κοινότητα, δεν έχουν καταλήξει ακόμα σε συγκεκριμένο ορισμό ενός ΓΣΠ. Ο Hanigan (1988) ορίζει ένα ΓΣΠ ως *Σύστημα Διαχείρισης Πληροφοριών* με τις εξής δυνατότητες:

- **συλλογή, αποθήκευση και ανάκτηση πληροφοριών**, με βάση τη θέση της εκάστοτε πληροφορίας στο χώρο
- **αναγνώριση θέσεων ή ενοτήτων** σε ένα δεδομένο περιβάλλον, οι οποίες πληρούν συγκεκριμένα **κριτήρια**
- **διερεύνηση των σχέσεων** μεταξύ διαφορετικών **συνόλων δεδομένων** στο συγκεκριμένο περιβάλλον
- **χωρική ανάλυση** των σχετικών δεδομένων, προκειμένου να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων σχετικών με το συγκεκριμένο περιβάλλον
- **εξαγωγή δεδομένων** σε συγκεκριμένα **αναλυτικά μοντέλα** τα οποία να είναι σε θέση να **αξιολογήσουν εναλλακτικές λύσεις** επί του συγκεκριμένου περιβάλλοντος
- **οπτικοποίηση** του συγκεκριμένου περιβάλλοντος τόσο **γραφικά** όσο και **ποσοτικά**, πριν ή/και μετά την εκάστοτε ανάλυση

Μια σημαντική διαφοροποίηση των ΓΣΠ από τα πιο εξειδικευμένα ΣΣΧΑ, προκύπτει από το κοινό στο οποίο στοχεύουν (target audience). Στην περίπτωση των ΓΣΠ, δίνεται μεγάλη σημασία στο “στήσιμο” αναλυτικών βάσεων δεδομένων και στον ορισμό πολύπλοκων συναρτήσεων (functions), συχνά μέσα από εκτενή μενού εντολών και παραθύρων διαλόγων (Daniel, 1992). Αυτή η πολυπλοκότητα είναι αναγκαία, λόγω του ότι ένα ΓΣΠ οφείλει να είναι γενικής χρήσης και, ως εκ τούτου, πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα αναλυτικά και σχεδιαστικά εργαλεία. Αντίθετα τα ΣΣΧΑ, ενώ εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες και ενσωματώνουν βασικές αρχές των ΓΣΠ, παραμένουν λιτά και προσανατολισμένα στο(-α) συγκεκριμένο πρόβλημα το οποίο καλούνται να επιλύσουν. Αυτό δεν υπονοεί ότι τα ΓΣΠ μπορούν να εκτελέσουν όλες τις λειτουργίες ενός ΣΣΧΑ, σε πολλαπλάσιο χρόνο. Αντίθετα, πολλά ΓΣΠ στερούνται εξειδικευμένων μοντέλων και αλγορίθμων για την επίλυση χωρικών / χωροθετικών προβλημάτων (Church και Sorensen, 1994).

3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Τα Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων είναι λογισμικά Η/Υ, τα οποία έχουν σχεδιαστεί προκειμένου να αντιμετωπίσουν προβλήματα χωρικής φύσης. Συγκεκριμένα, αυτό επιτυγχάνεται με την ύπαρξη ενός *ευέλικτου και προσαρμόσιμου συστήματος, το οποίο κάνει χρήση τόσο των διαθέσιμων αναλυτικών μοντέλων, όσο και της βαθύτερης γνώσης του προβλήματος που έχει ο λήπτης αποφάσεων*. Ο αντικειμενικός στόχος των ΣΣΧΑ είναι η *υποστήριξη* (παρά η υποκατάσταση) της κρίσης με τέτοιο τρόπο, ώστε *οι δυνατότητες τόσο του λήπτη αποφάσεων όσο και των υπολογιστών (μοντέλα, αλγόριθμοι) να αξιοποιούνται στο έπακρο*. Τέτοια συστήματα, αποτελούν υποστηρικτικά εργαλεία υπό τον έλεγχο των χρηστών τους, χωρίς να αυτοματοποιούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, να προκαθορίζουν τους στόχους ή να επιβάλλουν λύσεις (Janssen, 1992).

Ένα ΣΣΧΑ σχεδιάζεται προκειμένου να υποστηρίξει ημιδομημένα χωρικά προβλήματα, μια κατηγορία προβλημάτων για τα οποία δεν υπάρχει κανένας αυτόματος αλγόριθμος. Αντίθετα, η διαδικασία επίλυσης αποτελείται από την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων (σεναρίων), προκειμένου να βρεθεί μια καλή λύση, συγκρινόμενη με τη μαθηματικά βέλτιστη. Ένα ΣΣΧΑ πρέπει να περιέχει τρία υποσυστήματα: (α) ένα *“Γνωστικό Σύστημα”* το οποίο περιέχει τα δεδομένα του προβλήματος και τις διαδικασίες διαχείρισής τους, (β) ένα *“Γλωσσικό Σύστημα”* το οποίο αποτελεί το περιβάλλον διασύνδεσης - αλληλεπίδρασης με το χρήστη και (γ) ένα *“Αναλυτικό Σύστημα”* το οποίο περιέχει μοντέλα και αλγορίθμους επίλυσης των εκάστοτε (δομημένων) χωρικών προβλημάτων. Ο χρήστης, με βάση αυτά τα υποσυστήματα, αναπτύσσει μια διαδικασία επίλυσης η οποία να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ανάγκες του (Intergraph, 2002 κ.α.). Οι στόχοι κάθε ΣΣΧΑ μπορούν να συνοψιστούν στους εξής:

- **Στήριξη της διαδικασίας λήψεων αποφάσεων** σε ημι-δομημένα (ρεαλιστικά) χωρικά προβλήματα.
- **Υποστήριξη, και όχι αντικατάσταση, της ανθρώπινης κρίσης.**
- **Βελτίωση της αποτελεσματικότητας, παρά της αποδοτικότητας, της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.**

Οι παραπάνω στόχοι οδηγούν στα ακόλουθα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να διαθέτει ένα ΣΣΧΑ (Intergraph, 2002):

- Χρησιμοποιείται για την **αντιμετώπιση χωρικών προβλημάτων** όπου υπεισέρχονται **ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία** (ημιδομημένα προβλήματα).
- Δημιουργείται με τρόπο ώστε να είναι **εύκολο στη χρήση**, παρέχοντας ένα **φιλικό περιβάλλον διασύνδεσης** με το χρήστη.
- **Η τελική λύση προκύπτει σταδιακά** και είναι **προσαρμόσιμη**.
- Δημιουργείται ούτως ώστε να επιτρέπει στο χρήστη να **αξιοποιεί πλήρως τα διαθέσιμα πραγματικά δεδομένα και τα αντίστοιχα μαθηματικά μοντέλα**, μέσω **αλληλεπιδραστικών ρουτινών και Συστημάτων Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων (ΣΔΒΔ) – Data Base Management Systems (DBMS)**.
- Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα **ανάπτυξης μιας διαδικασίας επίλυσης**, χρησιμοποιώντας τα **μαθηματικά μοντέλα** ως **βοήθεια**, προκειμένου να δημιουργήσει μια σειρά **εναλλακτικών σεναρίων**.
- Παρέχει **ευελιξία χρήσης και ευκολία τροποποίησης**, προκειμένου να **ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες απαιτήσεις του χρήστη**.
- Χρησιμοποιεί **σαφώς τη γνώση του λήπτη αποφάσεων** για το εκάστοτε εξεταζόμενο πρόβλημα.
- **Υποστηρίζει αλλά δεν αντικαθιστά τον λήπτη αποφάσεων**.
- Είναι κατάλληλο για **ρεαλιστικά προβλήματα** όπου
 - **δεν υπάρχει κάποιος αυτόματος αλγόριθμος επίλυσης**
 - **υπάρχει δυσκολία στην ικανοποιητική αναπαράσταση της πραγματικότητας**
 - **υπάρχουν αντικρουόμενοι στόχοι** (conflicting objectives)
 - **υπάρχουν διαφορετικές οπτικές και γνώση του προβλήματος**
 - **πρέπει να διερευνηθούν κοινωνικοί, οικονομικοί και πολιτικοί παράγοντες**
- Παρέχει **αναδραστική (interactive) και αναδρομική (recursive) αντιμετώπιση** του προβλήματος, σε αντίθεση με την παραδοσιακή πρακτική της **σειραϊκής** αντιμετώπισης ανάλογων προβλημάτων.
- **Υποδεικνύει ξεκάθαρα τα στάδια μέσω των οποίων γίνεται η επίλυση του προβλήματος**.
- Παρέχει **οπτικοποίηση και ποσοτικοποίηση των εναλλακτικών σεναρίων και αξιολόγησή τους με βάση προσαρμόσιμη πολυκριτηριακή ανάλυση**.

Όπως προαναφέρθηκε, η έμφαση σε ένα ΣΣΧΑ δεν δίνεται στην παροχή όλων των στοιχείων που χαρακτηρίζουν ένα ΓΣΠ. Αντίθετα, ένα ΣΣΧΑ δύναται να αποτελέσει το βέλτιστο λογισμικό για την κατηγορία χωρικών προβλημάτων για την οποία σχεδιάστηκε. Συγκεκριμένα, η αγορά των ΓΣΠ είναι *οριζόντια* ενώ των ΣΣΧΑ *κάθετη*, δηλαδή δημιουργούνται για μια πολύ συγκεκριμένη λειτουργία. Τα ΣΣΧΑ μπορούν επίσης, να θεωρηθούν ως το *όχημα* μέσω του οποίου οι χρήστες που *δεν γνωρίζουν*, ή *δεν θέλουν να γνωρίζουν*, μπορούν να έλθουν σε επαφή και να εκτιμήσουν τις δυνατότητες των ΓΣΠ. Χωρίς τα ΣΣΧΑ, η τεχνολογία των ΓΣΠ θα μπορούσε να είναι περιορισμένη σε μία καλά εκπαιδευμένη, τεχνικά ικανή κοινότητα. Με τα ΣΣΧΑ, βασικά χαρακτηριστικά των ΓΣΠ μπορούν να φτάσουν ακόμα και σε λήπτες αποφάσεων που μέχρι στιγμής ένιωθαν άνετα μόνο με τις παραδοσιακές μεθόδους επίλυσης χωρικών προβλημάτων (Daniel, 1992).

3.4 ΛΟΓΟΙ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΠΟΛΛΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Παρ' όλη τη μεγάλη προσπάθεια που έχει καταβληθεί και τα κεφάλαια που έχουν επενδυθεί για τη δημιουργία ΣΣΧΑ, στην πράξη, πολλά από αυτά είτε δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ, είτε χρησιμοποιούνται σπανίως (Adelman, 1992 κ.α.). Οι λόγοι αποτυχίας των ΣΣΧΑ είναι πολλοί. Ένας λόγος μπορεί να είναι ότι οι χρήστες του συστήματος το βρίσκουν **πολύ λεπτομερειακό, χρονοβόρο και ακριβό** προκειμένου να λειτουργήσει (Ubbels και Verhallen, 2000). Άλλοι λόγοι πηγάζουν από τη γενικότερη **πολυπλοκότητα του συστήματος και των μοντέλων** (Jones κ.ά., 1998), αλλά και από την **αβεβαιότητα σχετικά με την ποιότητα ή καταλληλότητα των εξαγόμενων αποτελεσμάτων** στο να απαντήσουν το εκάστοτε χωρικό πρόβλημα (Uran και Janssen, 2003). Μάλιστα, η **περιορισμένη συμμετοχή των χρηστών στη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος**, μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιτυχή ΣΣΧΑ (Ascough κ.ά., 1998). Επιπρόσθετα, ο Loucks (1995) δίνει έμφαση στην **ανάγκη για εκπαίδευση στη χρήση οποιουδήποτε ΣΣΧΑ**. Μόνο τότε μπορεί ένα ΣΣΧΑ να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά, να εξαγάγει σωστά αποτελέσματα και να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στήριξης αποφάσεων. Οι English και Dale (1999) περιγράφουν τέσσερις



κατηγορίες παραγόντων οι οποίοι περιορίζουν τη χρήση αναλυτικών εργαλείων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων οι οποίοι είναι:

- **Ανεπαρκείς, υπέρ-επαρκείς ή/και λανθασμένες πληροφορίες** (δεδομένα)
- **Περιορισμοί χρόνου ή/και πόρων**
- **Έλλειψη πρόσβασης** των χρηστών στα ΣΣΧΑ
- **Δυσκολία επικοινωνίας** με το σύστημα και **έλλειψη εμπιστοσύνης** στα εξαγόμενα από αυτό αποτελέσματα.

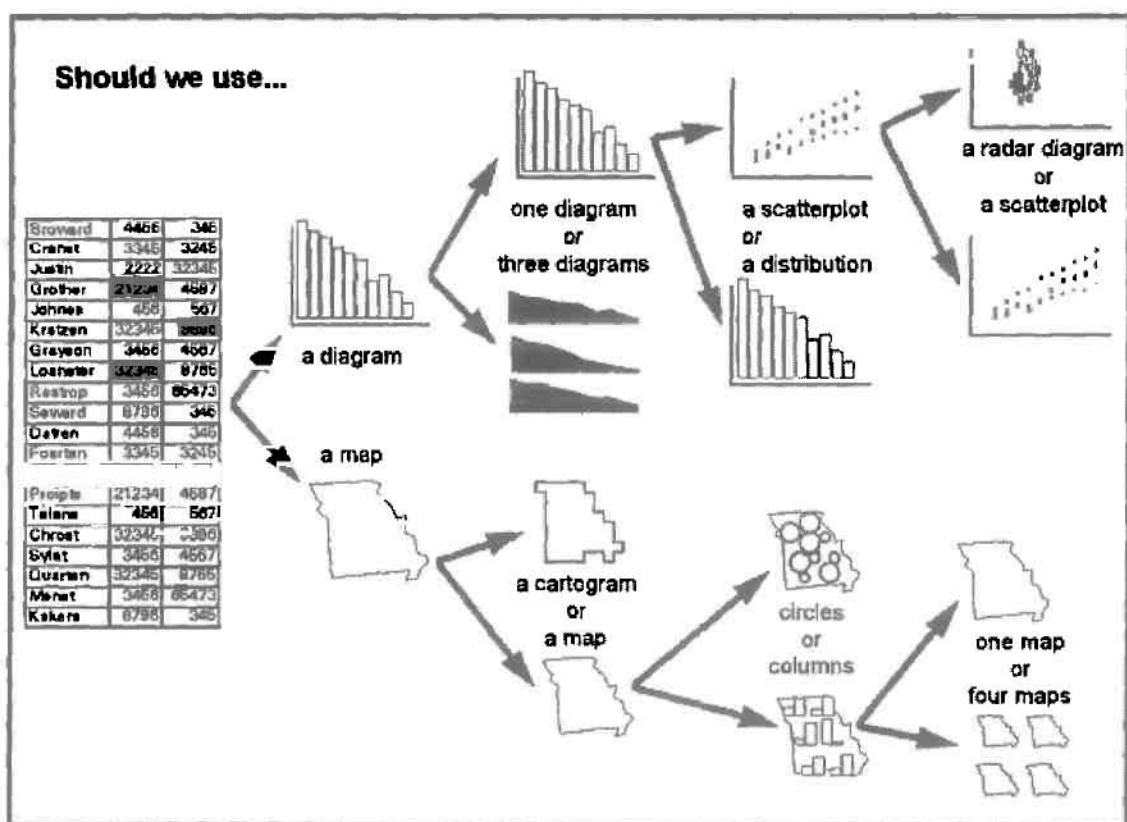
Πρέπει να διευκρινιστεί, πως το κόστος χρήσης ενός ΣΣΧΑ δεν αναφέρεται αναγκαστικά στο κόστος αγοράς του, αλλά στο κόστος συλλογής, επεξεργασίας και ανανέωσης των απαιτούμενων από το σύστημα δεδομένων. Αμέλεια σ' αυτό τον τομέα οδηγεί πολλές φορές σε λανθασμένα ή ανεπαρκή δεδομένα και κατ' επέκταση, συμπεράσματα. Από την άλλη, υπερβολικά αναλυτικά δεδομένα πιθανόν να αποπροσανατολίζουν από το στόχο κάθε χωρικού προβλήματος καθιστώντας χρονοβόρο το διαχωρισμό των απαραίτητων μεταβλητών.

Πολλές φορές, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η αποτυχία ορισμένων ΣΣΧΑ οφείλεται στην αδυναμία πολλών χρηστών να τα χρησιμοποιήσουν όπως θα έπρεπε ή όπως αναμενόταν από τους κατασκευαστές τους. Με άλλα λόγια, η λειτουργικότητα τέτοιων συστημάτων δεν είναι σε κάθε περίπτωση η βέλτιστη. Βέβαια, η λειτουργικότητα είναι ένας πολύ γενικός όρος ο οποίος μπορεί να περιέχει σχεδόν κάθε πλευρά ενός ΣΣΧΑ. Οι Uran και Janssen (2003) ορίζουν τη λειτουργικότητα ενός ΣΣΧΑ με βάση την *ευκολία με την οποία μπορεί αυτό να χρησιμοποιηθεί για να επιτελέσει το σκοπό του*. Πιθανόν, οι λόγοι ύπαρξης δυσλειτουργικών και κατ' επέκταση αποτυχημένων ΣΣΧΑ, είναι όσοι και τα ΣΣΧΑ που έχουν δημιουργηθεί. Τα παρακάτω ερωτήματα είναι σημαντικά, προκειμένου να ερμηνευτεί ή να αιτιολογηθεί η επιτυχία ή αποτυχία ενός οποιουδήποτε ΣΣΧΑ (Uran και Janssen, 2003):

1. Πώς **ορίζονται εναλλακτικές λύσεις**;
2. Πώς μεταβαίνει ο χρήστης από τη **διατύπωση** του προβλήματος στη **λύση** του;
3. Πώς **παρουσιάζονται τα αποτελέσματα**;
4. Πώς υποστηρίζεται η **αξιολόγηση των αποτελεσμάτων**;
5. Κάνει το ΣΣΧΑ αυτό που **πραγματικά** προοριζόταν να κάνει;

Ο σωστός ορισμός των εναλλακτικών λύσεων είναι μια πραγματική πρόκληση για τα περισσότερα ΣΣΧΑ. Παράλληλα, πρέπει να γίνεται εύκολη κατηγοριοποίησή τους σε ομάδες και να παρέχεται κάποιου είδους σύγκριση (ποσοτική ή/και γραφική). Σημαντική είναι και η παροχή εύκολης περιήγησης στο σύστημα. Ο μεγάλος αριθμός επιλογών που αντιπροσωπεύονται από πολλά ανοιχτά “παράθυρα” διαλόγου και “βαθιά” ή εκτενή μενού μπορούν εύκολα να αποπροσανατολίσουν το χρήστη και να μειώσουν τη λειτουργικότητα του συστήματος. Από την άλλη, η παρουσίαση των δεδομένων πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε ο χρήστης να αποκτά μια σφαιρική άποψη της λύσης, των αδύνατων σημείων της και των περιθωρίων για βελτίωσή της, σε σύγκριση με άλλες λύσεις. Στην εικόνα 3-1 φαίνονται διάφορες εναλλακτικές μορφές παρουσίασης χωρικών δεδομένων:

Εικόνα 3-1: Εναλλακτικές μορφές παρουσίασης χωρικών δεδομένων



Πηγή: Crossland κ.ά., 1995

Τέλος, αν και ορισμένα ΣΣΧΑ παρέχουν τη δυνατότητα ανάλυσης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, αρκετές φορές απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις από τους χρήστες προκειμένου να αξιοποιήσουν αυτή τη δυνατότητα. Συμπερασματικά, οι απαντήσεις

στα παραπάνω ερωτήματα μπορούν να δώσουν ενδείξεις στους λόγους για τους οποίους πολλά ΣΣΧΑ δεν χρησιμοποιούνται. Επιπλέον, παρέχουν κατευθύνσεις σε μελλοντικούς σχεδιαστές ΣΣΧΑ, προκειμένου να αποφύγουν ή να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα δημιουργίας ενός άχρηστου ΣΣΧΑ. Ένα πολύ σημαντικό προσόν ενός ΣΣΧΑ θα πρέπει να είναι και **η ανοιχτή αρχιτεκτονική του**, δηλαδή να επιτρέπει μετατροπές και προσθήκες από τους ίδιους τους χρήστες που θα το βελτιώσουν και θα το προσαρμόσουν στις ιδιαίτερες ανάγκες τους.

3.5 ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΩΝ CROSSLAND, WYNNE ΚΑΙ PERKINS

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, είναι πιθανό ο αναγνώστης να έμεινε με την εντύπωση ότι τα ΣΣΧΑ ίσως να μην είναι και τόσο χρήσιμα στην πράξη. Αυτό όμως δεν ισχύει, όπως θα φανεί από το ακόλουθο εργαστηριακό πείραμα που διεξήγαγαν οι Crossland, Wynne και Perkins (1995). Συγκεκριμένα, το πείραμα διερεύνησε τα αποτελέσματα στην απόδοση των ληπτών αποφάσεων, οι οποίοι χρησιμοποίησαν ένα ΣΣΧΑ βασισμένο στην τεχνολογία των ΓΣΠ, σε αντίθεση με άλλους λήπτες αποφάσεων οι οποίοι χρησιμοποίησαν μόνο αναλυτικούς χάρτες και δεδομένα του ίδιου προβλήματος. Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα του πειράματος αναλύονται παρακάτω.

3.5.1 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ένας από τους πιο άμεσους τρόπους αξιολόγησης της απόδοσης ενός ΣΣΧΑ είναι η εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου και της ακρίβειας η οποία επιτυγχάνεται κατά την επίλυση του αντίστοιχου χωρικού προβλήματος. Το πείραμα των Crossland κ.ά. βασίστηκε σ' αυτή τη θεώρηση. Ένα ΣΣΧΑ μπορεί να θεωρηθεί ότι συμβάλει θετικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων όταν επιτρέπει στο λήπτη να φτάσει (α) σε μια *ακριβέστερη* λύση του προβλήματος, (β) *ταχύτερα* σε μια λύση του προβλήματος και (γ) και στα δυο παραπάνω. Η ηλεκτρονική παρουσίαση και διαχείριση χαρτών μέσω ενός ΣΣΧΑ/ΓΣΠ μπορεί να θεωρηθεί αποδοτικότερη από την αντίστοιχη αναλογική εκδοχή των χαρτών, ενώ προσφέρονται νέες μέθοδοι επεξεργασίας και οπτικοποίησης δεδομένων, οι οποίες είναι αδύνατες ή ασύμφωτες για να επιτευχθούν με αναλογικά μέσα.

Οι δυο πρώτες υποθέσεις που εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν:

- Υ1: Οι λήπτες αποφάσεων που θα χρησιμοποιήσουν ΣΣΧΑ θα λύσουν το πρόβλημα **σε λιγότερο χρόνο** από αυτούς που θα χρησιμοποιήσουν μόνο αναλογικούς χάρτες του ίδιου προβλήματος.
- Υ2: Οι λήπτες αποφάσεων που θα χρησιμοποιήσουν ΣΣΧΑ θα λύσουν το πρόβλημα **με λιγότερα σφάλματα** από αυτούς που θα χρησιμοποιήσουν μόνο αναλογικούς χάρτες του ίδιου προβλήματος.

Επίσης, όσο η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνει, αναμένεται αύξηση του χρόνου επίλυσης και ελάττωση της ακρίβειας της λύσης. Για τον έλεγχο αυτής της σχέσης, εξετάστηκαν δυο ακόμα υποθέσεις:

- Υ3: Καθώς **αυξάνεται η πολυπλοκότητα** του προβλήματος, οι λήπτες αποφάσεων που θα χρησιμοποιήσουν ΣΣΧΑ θα παρουσιάζουν **μικρότερη αύξηση στο χρόνο επίλυσης**, σε σχέση με αυτούς που θα χρησιμοποιήσουν μόνο αναλογικούς χάρτες για το ίδιο πρόβλημα.
- Υ4: Καθώς **αυξάνεται η πολυπλοκότητα** του προβλήματος, οι λήπτες αποφάσεων που θα χρησιμοποιήσουν ΣΣΧΑ θα παρουσιάζουν **μικρότερη ελάττωση στην ακρίβεια** της λύσης, σε σχέση με αυτούς που θα χρησιμοποιήσουν μόνο αναλογικούς χάρτες για το ίδιο πρόβλημα.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν οι εξής μεταβλητές:

— ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

1. Πολυπλοκότητα προβλήματος. Η μεταβλητή αποτελείται από δυο επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο απαιτούσε από τους εξεταζόμενους να ιεραρχήσουν πέντε θέσεις χωροθέτησης χρησιμοποιώντας τρία χωρικά κριτήρια. Το δεύτερο επίπεδο απαιτούσε την ιεράρχηση δέκα θέσεων χωροθέτησης χρησιμοποιώντας επτά χωρικά κριτήρια.
2. Ύπαρξη / απουσία ΣΣΧΑ. Η μεταβλητή αποτελείται από δυο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο οι εξεταζόμενοι είχαν μόνο αναλογικούς χάρτες και πινακοποιημένα δεδομένα για να επιλύσουν το πρόβλημα, Στο δεύτερο

επίπεδο οι εξεταζόμενοι εκτός από τα αναλογικά δεδομένα είχαν πρόσβαση σε ένα ΣΣΧΑ το οποίο χρησιμοποιούσε βασικά χαρακτηριστικά ενός ΓΣΠ [σ.σ. το ΣΣΧΑ δεν παρείχε κανένα είδος αλγορίθμου ή αυτοματοποιημένης διαδικασίας εύρεσης της βέλτιστης λύσης – η διαδικασία επίλυσης καθοριζόταν αποκλειστικά από τον χρήστη].

— ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

1. Χρόνος επίλυσης. Μετρήθηκε ο συνολικός χρόνος εξοικείωσης με τα ζητούμενα του προβλήματος, επίλυσης του προβλήματος και καταγραφής της λύσης, για κάθε εξεταζόμενο άτομο. Οι εξεταζόμενοι είχαν απεριόριστο χρόνο στη διάθεσή τους για την επίλυση του προβλήματος.
2. Ακρίβεια λύσης. Καταγράφηκε η λύση που καθορίστηκε από κάθε εξεταζόμενο άτομο, και αξιολογήθηκε με βάση τη αντικειμενικά βέλτιστη λύση του προβλήματος. Η φύση του προβλήματος απαιτούσε από τους εξεταζόμενους να ιεραρχήσουν ορισμένες θέσεις χωροθέτησης βάσει ενός συνόλου χωρικών κριτηρίων. Ως εκ τούτου, για κάθε εξεταζόμενο, δημιουργήθηκε ένα σκορ λαθών, το οποίο αποτελούνταν από το απόλυτο άθροισμα του συνόλου των διαφορών της επιλεγμένης ιεράρχησης των θέσεων από τη σωστή θέση τους στην ιεραρχία. Επειδή εξετάστηκαν δυο παραλλαγές του προβλήματος διαφορετικής πολυπλοκότητας, το σκορ λαθών μετατράπηκε σε ποσοστό επί της χειρότερης δυνατής λύσης (δηλ. από την αντίστροφη –σε σχέση με τη βέλτιστη– ιεράρχηση των θέσεων χωροθέτησης).

— ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Οι μεταβλητές οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στα αποτελέσματα του πειράματος και θεωρήθηκαν ελεγχόμενες ήταν:

1. Φύση του προβλήματος. Κάθε ομάδα εξεταζόμενων έλυσε το ίδιο ακριβώς πρόβλημα. Η πρώτη ομάδα έλυσε το λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα, ενώ η δεύτερη ομάδα έλυσε το περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα. Κάθε ομάδα αποτελούνταν από δυο υποομάδες· τους εξεταζόμενους που βασίζονταν μόνο

σε αναλογικούς χάρτες και δεδομένα και σ' αυτούς οι οποίοι έκαναν παράλληλη χρήση του ΣΣΧΑ.

2. Εξάσκηση. Όλοι οι εξεταζόμενοι εξασκήθηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, στην επίλυση ενός παρόμοιου προβλήματος. Επιπλέον, οι εξεταζόμενοι που χρησιμοποίησαν το ΣΣΧΑ εξασκήθηκαν επάνω στη βασική χρήση του συστήματος.
3. Περιβάλλον εργασίας. Όλοι οι εξεταζόμενοι συμμετείχαν στο πείραμα κάτω από τις ίδιες φυσικές συνθήκες και στον ίδιο χώρο. Η χρήση του χώρου γινόταν μόνο από μια υποομάδα εξεταζόμενων ανά χρονική στιγμή. Ο χώρος ήταν εξοπλισμένος με 31 H/Y IBM PS/2 Model 50. Κάθε υποομάδα χρησιμοποίησε τους H/Y για τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων και την καταγραφή της λύσης. Οι υποομάδες οι οποίες χρησιμοποίησαν το ΣΣΧΑ βασίστηκαν σε μια τροποποιημένη έκδοση του ΓΣΠ Marinfo.
4. Σύστημα αξιολόγησης. Όλοι οι εξεταζόμενοι αξιολογήθηκαν βάσει του ίδιου συστήματος, ανάλογα με τη λύση που παρέδωσαν (βλ. εξαρτημένη μεταβλητή 2 – ακρίβεια λύσης).
5. Επιλογή των εξεταζόμενων και κατανομή τους στις υποομάδες. Οι εξεταζόμενοι επιστρατεύθηκαν από διάφορους τομείς ενός συγκεκριμένου τμήματος εισαγωγής στην πληροφορική. Η συμμετοχή τους στο πείραμα μέτρησε θετικά στην ακαδημαϊκή τους πορεία. Η κατανομή κάθε υποψηφίου στις τέσσερις υποομάδες ήταν *τυχαία*.

Η μονάδα ανάλυσης ήταν ο κάθε εξεταζόμενος. Οι τέσσερις υποομάδες (design cells) του πειράματος ήταν οι εξής:

1. ΧΩΡΙΣ ΣΣΧΑ, λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα
2. ΧΩΡΙΣ ΣΣΧΑ, περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα
3. ΜΕ ΣΣΧΑ, λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα
4. ΜΕ ΣΣΧΑ, περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα.

Πριν τη διεξαγωγή του κύριου πειράματος, δόθηκε στους εξεταζόμενους ένα μικρό πρόβλημα για εξάσκηση προκειμένου να εξοικειωθούν με τη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία, την οργάνωση των διαθέσιμων αναλογικών δεδομένων, τη φύση του προβλήματος και τον τρόπο χρήσης του H/Y για την καταγραφή της λύσης.

Κατόπιν, δόθηκε στους εξεταζόμενους το κύριο πρόβλημα, όπου πέραν το ρόλο ενός αναλυτή σε μια υποθετική επιχείρηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιχείρηση επιθυμούσε να αντικαταστήσει κάποιους παλαιότερους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής (coal-fired) με νεότερους (fuel-cell) οι οποίοι είναι αποδοτικότεροι και φιλικότεροι προς το περιβάλλον. Οι εξεταζόμενοι ιεράρχησαν διάφορες πιθανές θέσεις χωροθέτησης (πέντε στο λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα και δέκα στο περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα) με βάση διάφορα κριτήρια (τρία στο λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα και επτά στο περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα). Τα κριτήρια είχαν να κάνουν με παράγοντες όπως *εγγύτητα σε αγωγό φυσικού αερίου, υφιστάμενες (προστατευόμενες) περιοχές απειλούμενων ειδών, εγγύτητα σε πάρκα φυσιολατρικού ή ψυχαγωγικού-θεματικού χαρακτήρα, εγγύτητα στις περιοχές υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, και σε άλλους παράγοντες χωρικής φύσης.*

3.5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ως βασικό στατιστικό μοντέλο για τη σύγκριση των μέσων τιμών των εξαρτημένων μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης (*analysis of variance – ANOVA*). Συνολικά, οι εξεταζόμενοι που συμμετείχαν στο πείραμα ήταν **142** (88 άντρες / 54 γυναίκες). Οι *πίνακες 3-1* και *3-2* παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της απόδοσης των τεσσάρων υποομάδων στις μεταβλητές χρόνου επίλυσης και ακρίβειας λύσης.

Πίνακας 3-1: Μέσος χρόνος επίλυσης σε λεπτά

Χρόνοι επίλυσης / τυπική απόκλιση	Χαμηλή πολυπλοκότητα	Υψηλή πολυπλοκότητα	Μέσος όρος
Χωρίς ΣΣΧΑ	14,6/3,08	35,6/10,00	25,1/6,54
Με ΣΣΧΑ	13,1/3,08	30,2/8,76	21,7/5,92
Μέσος όρος	13,6/3,08	32,9/9,38	

Πίνακας 3-2: Μέσο ποσοστό σφάλματος

Ποσοστό σφάλματος / τυπική απόκλιση	Χαμηλή πολυπλοκότητα	Υψηλή πολυπλοκότητα	Μέσος όρος
Χωρίς ΣΣΧΑ	8,1/18,26	8,2/7,55	8,2/12,91
Με ΣΣΧΑ	0,0/0,00	2,8/3,85	1,4/1,93
Μέσος όρος	4,1/9,13	5,5/5,7	

Πηγή: Crossland κ.ά., 1995

Να αναφερθεί ότι δεν υπήρχαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών, οπότε η αλληλοσυσχέτιση δε δημιούργησε προβλήματα στην ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Επειδή οι υποομάδες δεν περιείχαν τον ίδιο αριθμό εξεταζόμενων, διενεργήθηκαν, συμπληρωματικά, συγκρίσεις των μέσων όρων με μια ανεξάρτητη δειγματοληπτική ανάλυση t-test. Επιπλέον, επειδή η χρήση ποσοστών και άλλων αναλογιών στην ANOVA μπορεί να είναι προβληματική, διενεργήθηκε μια επιπλέον ανάλυση η οποία χρησιμοποιούσε έναν μετασχηματισμό του ποσοστού σφάλματος. Εκτός από μικρή αύξηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, τα πορίσματα των αναλύσεων ταυτίζονταν. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ANOVA με βάση τα προηγούμενα ποσοστά είναι αξιόπιστα. Στους πίνακες 3-3 και 3-4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ANOVA για το χρόνο επίλυσης και την ακρίβεια της λύσης (ποσοστό σφάλματος).

Πίνακας 3-3: Αποτελέσματα ANOVA για το χρόνο επίλυσης (λεπτά)

Πηγή	SS	df	MS	F	p
Πολυπλοκότητα (A)	12828,1	1	12828,1	275,54	0,000
Διαθέσιμο ΣΣΧΑ (B)	392,1	1	392,1	8,42	0,004
A x B	136,0	1	136,0	2,92	0,090
Υπόλοιμα (residual)	6424,7	138	46,6		
Σύνολο	19780,9	141			

Πίνακας 3-4: Αποτελέσματα ANOVA για το ποσοστό σφάλματος

Πηγή	SS	df	MS	F	p
Πολυπλοκότητα (A)	79,0	1	79,0	0,76	0,384
Διαθέσιμο ΣΣΧΑ (B)	1659,5	1	1659,5	16,00	0,000
A x B	63,8	1	63,8	0,62	0,434
Υπόλοιμα (residual)	14312,4	138	103,7		
Σύνολο	16114,7	141			

Πηγή: Crossland κ.ά., 1995

Από τους πίνακες 3-3 και 3-4 φαίνεται καθαρά ότι οι υποθέσεις Y1 και Y2 (βλ. κ. 3.5.1) υποστηρίζονται από την ανάλυση. Επιπλέον, υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση της πολυπλοκότητας του προβλήματος και της διαθεσιμότητας ΣΣΧΑ αναφορικά με το χρόνο επίλυσης ($p < 0.10$), οπότε υποστηρίζεται και η υπόθεση Y3. Αντίθετα, η υπόθεση Y4 δεν υποστηρίζεται. Η στατιστική δύναμη (statistical power – βλ. Cohen

(1988)) των δυο τεστ ANOVA υπολογίστηκε σε 0.99 και 0.70 αντίστοιχα (Crossland κ.ά., 1995). Στους πίνακες 3-5, 3-6, 3-7 και 3-8. φαίνονται τα αποτελέσματα των συμπληρωματικών t-test για τους μέσους χρόνους επίλυσης και τα ποσοστά σφάλματος ανά υποομάδα εξεταζόμενων.

Πίνακας 3-5: t-test χρόνου επίλυσης (λεπτά) για το λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα

Ομάδα	N	Μέσος	Τυπ. αποκλ.	Pooled variable estimate				
				F	p	t	df	1-tail p
Με ΣΣΧΑ	38	13,1	3,076	1,00	1,00	2,08	73	0,021
Χωρίς ΣΣΧΑ	37	14,6	3,075					

Πίνακας 3-6: t-test χρόνου επίλυσης (λεπτά) για το περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα

Ομάδα	N	Μέσος	Τυπ. αποκλ.	Pooled variable estimate				
				F	p	t	df	1-tail p
Με ΣΣΧΑ	34	30,2	8,76	1,31	0,450	2,35	65	0,011
Χωρίς ΣΣΧΑ	33	35,6	10,00					

Πίνακας 3-7: t-test ποσοστού σφάλματος για το λιγότερο πολύπλοκο πρόβλημα

Ομάδα	N	Μέσος	Τυπ. αποκλ.	Pooled variable estimate				
				F	p	t	df	1-tail p
Με ΣΣΧΑ	38	0,0	0,00	-	-	2,70	36,0	0,005
Χωρίς ΣΣΧΑ	37	8,1	18,26					

Πίνακας 3-8: t-test ποσοστού σφάλματος για το περισσότερο πολύπλοκο πρόβλημα

Ομάδα	N	Μέσος	Τυπ. αποκλ.	Pooled variable estimate				
				F	p	t	df	1-tail p
Με ΣΣΧΑ	34	2,8	3,85	3,84	0,000	3,69	47,3	0,001
Χωρίς ΣΣΧΑ	33	8,2	7,55					

Πηγή: Crossland κ.ά., 1995

Όλα τα τεστ που παρουσιάζονται στους πίνακες 3-5 έως 3-8 είναι αξιόπιστα ($p < 0.05$). Επομένως, τα προηγούμενα αποτελέσματα της ANOVA ισχυροποιούνται και υποστηρίζονται περαιτέρω οι υποθέσεις Y1 και Y2.

3.5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το παραπάνω πείραμα απέδειξε ότι η προσθήκη της τεχνολογίας των ΓΣΠ στο περιβάλλον λήψης αποφάσεων, για την επίλυση ενός χωρικού προβλήματος, *ελάττωσε τους απαιτούμενους χρόνους επίλυσης και αύξησε την ακρίβεια των λύσεων*. Παράλληλα, φάνηκε (χωρίς να αποδεικνύεται) ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ της *πολυπλοκότητας* του προβλήματος και τη χρήση ΣΣΧΑ. Αυτά τα συμπεράσματα έχουν μεγάλη θεωρητική και πρακτική σημασία (Crossland κ.ά., 1995). Συνοπτικά, η συμβολή του συγκεκριμένου ΣΣΧΑ στην επίλυση του παραπάνω χωρικού προβλήματος οφείλεται κυρίως στην αποδοτικότερη οπτική παρουσίαση των δεδομένων σε σχέση με τους αναλογικούς χάρτες και πίνακες. Δεν περιείχε κάποια αυτοματοποιημένη διαδικασία αξιολόγησης των λύσεων. Είναι προφανές ότι ένα ολοκληρωμένο ΣΣΧΑ (δηλ. ο συνδυασμός των δυνατοτήτων του χρήστη και αποδοτικών αλγορίθμων εύρεσης εναλλακτικών, εύκολα τροποποιούμενων, σεναρίων) μπορεί να προσφέρει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα τόσο στους χρόνους επίλυσης όσο και στην ακρίβεια των προτεινόμενων λύσεων. Παρόλο που το πείραμα που παρουσιάστηκε είναι σχετικά εξειδικευμένο και οι εξεταζόμενοι προέρχονταν όλοι από το ίδιο περιβάλλον, εντούτοις ενισχύει το ρόλο τόσο των ΣΣΧΑ όσο και των ΓΣΠ ως απαραίτητα εργαλεία σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον λήψης αποφάσεων. Αυτό που μένει, είναι η δημιουργία ΣΣΧΑ τα οποία να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν πληρέστερα στις πραγματικές απαιτήσεις των ληπτών αποφάσεων, με βάση τα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν στο υποκεφάλαιο 3.3.

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Μια κατηγορία ΣΣΧΑ είναι τα Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων Χωροθέτησης-Κατανομής (Spatial Decision Support Systems for Location-Allocation) ή, απλούστερα, Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων Χωροθέτησης-Κατανομής – ΣΣΑΧΚ (Location-Allocation Decision Support Systems – LADSS). Πρόκειται για ΣΣΧΑ τα οποία επιλύουν προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής, αντίστοιχα με αυτά που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2. Συνήθως, ενσωματώνουν ένα πλήθος αλγορίθμων (κυρίως ευριστικών) και προσφέρουν από υποτυπώδη έως ουσιαστική συμμετοχή του

χρήστη στον καθορισμό της λύσης. Με βάση τον Daniel (1992), ένα ΣΣΑΧΚ πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- **Ευκολία χρήσης**
- **Ακριβείς υπολογισμούς** (χωρίς σφάλματα)
- **Δεδομένα έτοιμα προς χρήση** (canned data)
- **Αποδοτικές τεχνικές επίλυσης**
- **Άμεσα αποτελέσματα.**

Στα ανωτέρω (και εφόσον επιζητείται η επίλυση ρεαλιστικών προβλημάτων), θα πρέπει να συμπεριληφθούν και τα γενικότερα χαρακτηριστικά ενός ΣΣΧΑ, τα οποία αναφέρονται στο υποκεφάλαιο 3.2. Γενικά, παρά τη μεγάλη ανάπτυξη και αποδοχή της θεωρίας χωροθέτησης-κατανομής, δεν υπάρχουν ακόμα πολλά ολοκληρωμένα λογισμικά αντιμετώπισης αντίστοιχων προβλημάτων. Παρακάτω ακολουθεί μία παρουσίαση των γνωστότερων / σημαντικότερων λογισμικών ΣΣΑΧΚ.

3.6.1 Location Analysis Decision Support System (LADSS)

Το LADSS είναι πιθανότατα ένα από τα πρώτα (αν όχι το πρώτο) λογισμικό χωροθέτησης-κατανομής για απλούς προσωπικούς υπολογιστές. Δημιουργήθηκε από τον Paul Densham το 1987 για το υπουργείο μεταφορών της Αιόβας. Έκτοτε, έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό, παραμένει όμως αρκετά δύσκολο, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι δεν τρέχει σε παραθυρικό περιβάλλον, αλλά στο MS-DOS. Το λογισμικό δεν παρέχει χαρτογραφική υποστήριξη ούτε υποστήριξη εναλλακτικών σεναρίων. Έμεσα, μπορεί να συνεργαστεί με διάφορα πακέτα ΓΣΠ (π.χ. PC ArcInfo Allocation Module) αλλά αυτό προϋποθέτει αρκετές γνώσεις από την πλευρά του χρήστη. Παρ' όλα αυτά έχει πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ (PC 286+ 640KB RAM), κυρίως γιατί χρησιμοποιεί δομές δεδομένων που απαιτούν περιορισμένη μνήμη, εις βάρος της ταχύτητας εκτέλεσης των μοντέλων. Το περιβάλλον λειτουργίας του είναι ψευδο-αντικειμενοστραφές και αρκετά λιτό αλλά περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την εισαγωγή/εξαγωγή δεδομένων, την επίλυση του προβλήματος και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ένα πολύ θετικό στοιχείο του λογισμικού είναι η βοήθεια που παρέχει μέσω αναλυτικών on-line επεξηγήσεων των λειτουργιών του,

καθώς και η βήμα προς βήμα καθοδήγηση του χρήστη (Densham, 1991b). Τα μοντέλα που υποστηρίζει καθώς και οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι φαίνονται παρακάτω:

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΟΝΤΕΛΑ [LADSS]

- ☒ P-διάμεσος (στο διακριτό χώρο)
- ☒ Μετασχηματισμοί του πίνακα ελαχίστων αποστάσεων ώστε να εξομοιώνονται, σε ένα βαθμό, άλλες αντικειμενικές συναρτήσεις (π.χ. μέγιστης κάλυψης) και αναγωγή τους στο μοντέλο P-διαμέσου.

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ [LADSS]

- ☒ Αντικατάστασης κορυφής
- ☒ Συνολικής-τοπικής αντικατάστασης (GRIA).

Τα θετικά και αρνητικά στοιχεία του λογισμικού μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

— ΘΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [LADSS]

- ✧ Χαμηλές απαιτήσεις συστήματος
- ✧ Σχετικά απλό στη χρήση
- ✧ Καλή τεκμηρίωση (on-line help, tutorial)
- ✧ Αποδοτικοί αλγόριθμοι για τα διαθέσιμα μοντέλα
- ✧ Η χρήση του είναι δωρεάν.

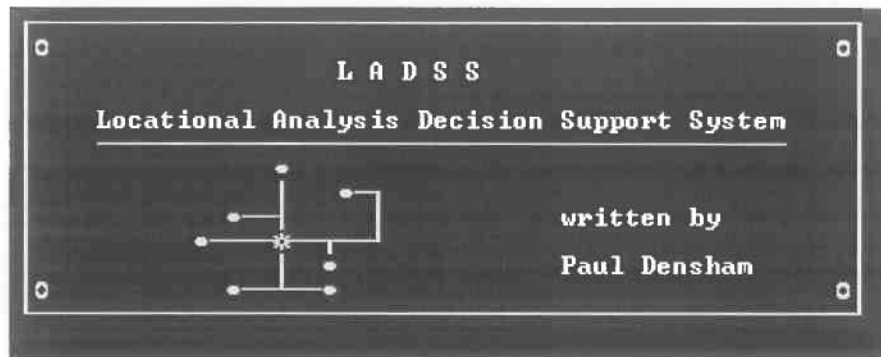
— ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [LADSS]

- ✧ Παρωχημένο περιβάλλον λειτουργίας (MS-DOS)
- ✧ Έλλειψη χαρτογραφικής υποστήριξης και σύγκρισης εναλλακτικών σεναρίων
- ✧ Έλλειψη περισσότερο εξειδικευμένων μοντέλων
- ✧ Ανύπαρκτη αλληλεπίδραση με το χρήστη κατά τη διαδικασία επίλυσης
- ✧ Περιορισμένη υποστήριξη (αξιολόγηση) των παραγόμενων λύσεων
- ✧ Απαιτούνται εξωτερικά προγράμματα για την πλήρη αξιοποίησή του
- ✧ Κλειστή αρχιτεκτονική (δεν παρέχεται η δυνατότητα προσθήκης αλγορίθμων, μοντέλων κ.λπ. από τους χρήστες).

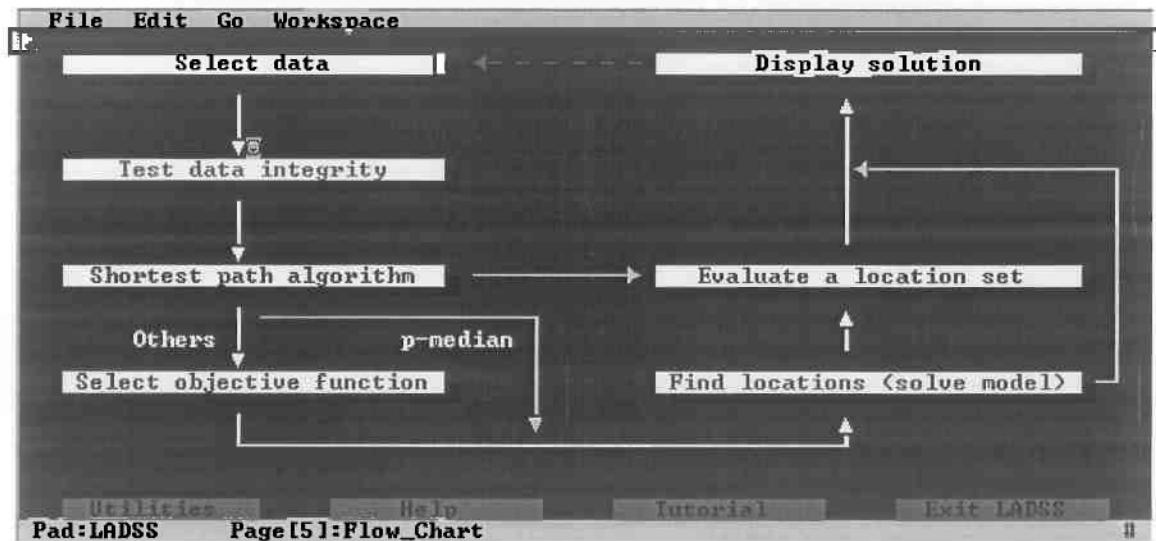
Το λογισμικό είναι δωρεάν και μπορεί να βρεθεί στην ηλεκτρονική διεύθυνση

<http://www.geog.ucl.ac.uk/~pdensham/SDSS/sdss.stm>.

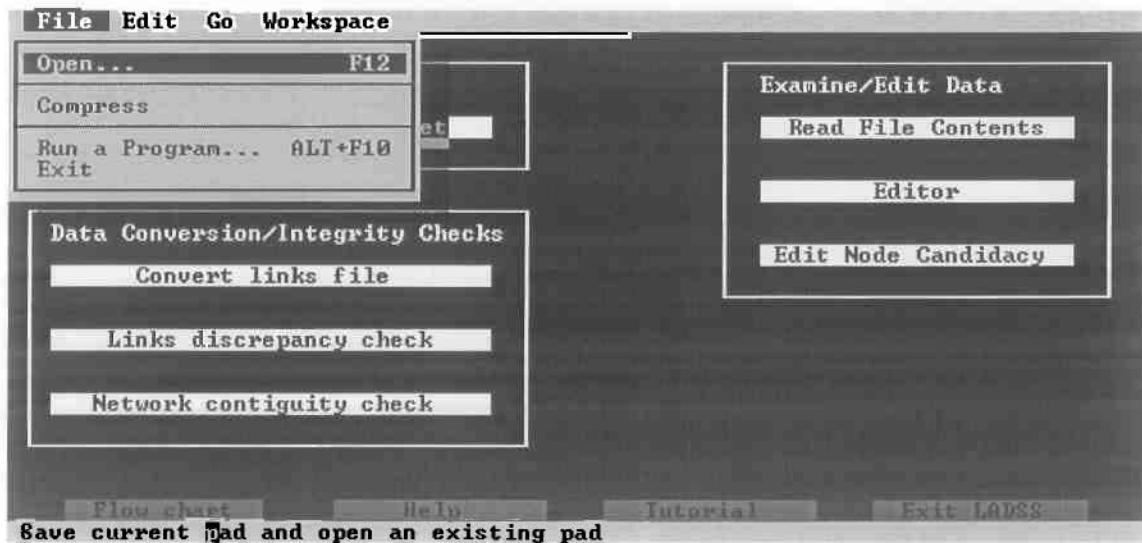
Εικόνα 3-2: Εισαγωγική οθόνη (σύστημα LADSS)



Εικόνα 3-3: Βασική οθόνη (σύστημα LADSS)



Εικόνα 3-4: Οθόνη Utilities (σύστημα LADSS)



3.6.2 Library Of Location Algorithms (LOLA)

Μια πολύ αξιόλογη προσπάθεια δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου συστήματος επίλυσης προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής είναι η Βιβλιοθήκη Αλγορίθμων Χωροθέτησης (Library Of Location Algorithms – LOLA). Το σύστημα αποτελείται από ένα γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη, από ένα μη γραφικό (text-based) περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη και από ένα προγραμματιστικό περιβάλλον. Το προγραμματιστικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να κατασκευάσουν τα δικά τους προγράμματα (στη γλώσσα προγραμματισμού C++) χρησιμοποιώντας τις κλάσεις του LOLA. Η ανοικτή αρχιτεκτονική του συστήματος επιτρέπει μετατροπή και προσθήκη μοντέλων και αλγορίθμων, δίνοντας στους χρήστες πραγματική ελευθερία κινήσεων και απεριόριστες δυνατότητες. Παράλληλα, επιτρέπει τη δημιουργία εκδόσεων για ένα πλήθος λειτουργικών συστημάτων (δηλ. σε όσα διαθέτουν C++ compilers). Το λογισμικό αντιμετωπίζει ένα σύνολο προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής, τόσο του συνεχούς όσο και του διακριτού χώρου. Σε περίπτωση προβλημάτων δικτύων-γραφημάτων, η χωροθέτηση μπορεί να γίνει τόσο στους κόμβους του δικτύου-γραφήματος, όσο και στα ενδιάμεσα σημεία των ακμών (τόξων) του. Ο βασικός πυρήνας ανάπτυξης του συστήματος αποτελείται από 16 προγραμματιστές οι οποίοι υπάγονται στα [*Working Group HAMACHER Dept. of mathematics University of Kaiserslautern, Germany*] και [*Department of Optimization, Kaiserslautern*]. Η ανάπτυξη του συστήματος άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 αλλά στην παρούσα φάση φαίνεται ότι υπάρχει μια στασιμότητα στην επίσημη εξέλιξή του. Παρακάτω αξιολογείται η βασική έκδοση του συστήματος η οποία μπορεί να βρεθεί στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.mathematik.uni-kl.de/~lola/lola.html>. Δυστυχώς, δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστούν εναλλακτικές υλοποιήσεις του συστήματος από άλλους χρήστες.

Πρέπει να αναφερθεί πως ένα σύστημα ανοικτής αρχιτεκτονικής έχει το πλεονέκτημα της (θεωρητικά) εύκολης μετατροπής του και βελτίωσης των αδύναμων σημείων του. Το σύστημα LOLA διανέμεται μαζί με ένα ογκώδες εγχειρίδιο το οποίο αναλύει τις δυνατότητες της βασικής έκδοσης καθώς και τα χαρακτηριστικά του προγραμματιστικού περιβάλλοντος για τους χρήστες που θα θελήσουν να αναπτύξουν επιπλέον αλγορίθμους και μοντέλα ή/και να βελτιώσουν το περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη. Τα μοντέλα που υποστηρίζει καθώς και οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι της βασικής έκδοσης του συστήματος αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΟΝΤΕΛΑ [LOLA-basic]

- ☒ P-διάμεσος και παραλλαγές (στο συνεχή και στο διακριτό χώρο)
- ☒ P-κέντρο και παραλλαγές (στο συνεχή και στο διακριτό χώρο)
- ☒ Διμεταβλητό μοντέλο P-διαμέσου / P-κέντρου
- ☒ Μοντέλο σταθερού κόστους.

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ [LOLA-basic]

- ☒ Πλήθος αλγορίθμων για το συνεχή χώρο
- ☒ Προσθετικός
- ☒ Παραλλαγή του προσθετικού
- ☒ Αντικατάσταση κορυφής
- ☒ DUALOC (DUAL-BASED) & Branch-and-Bound.

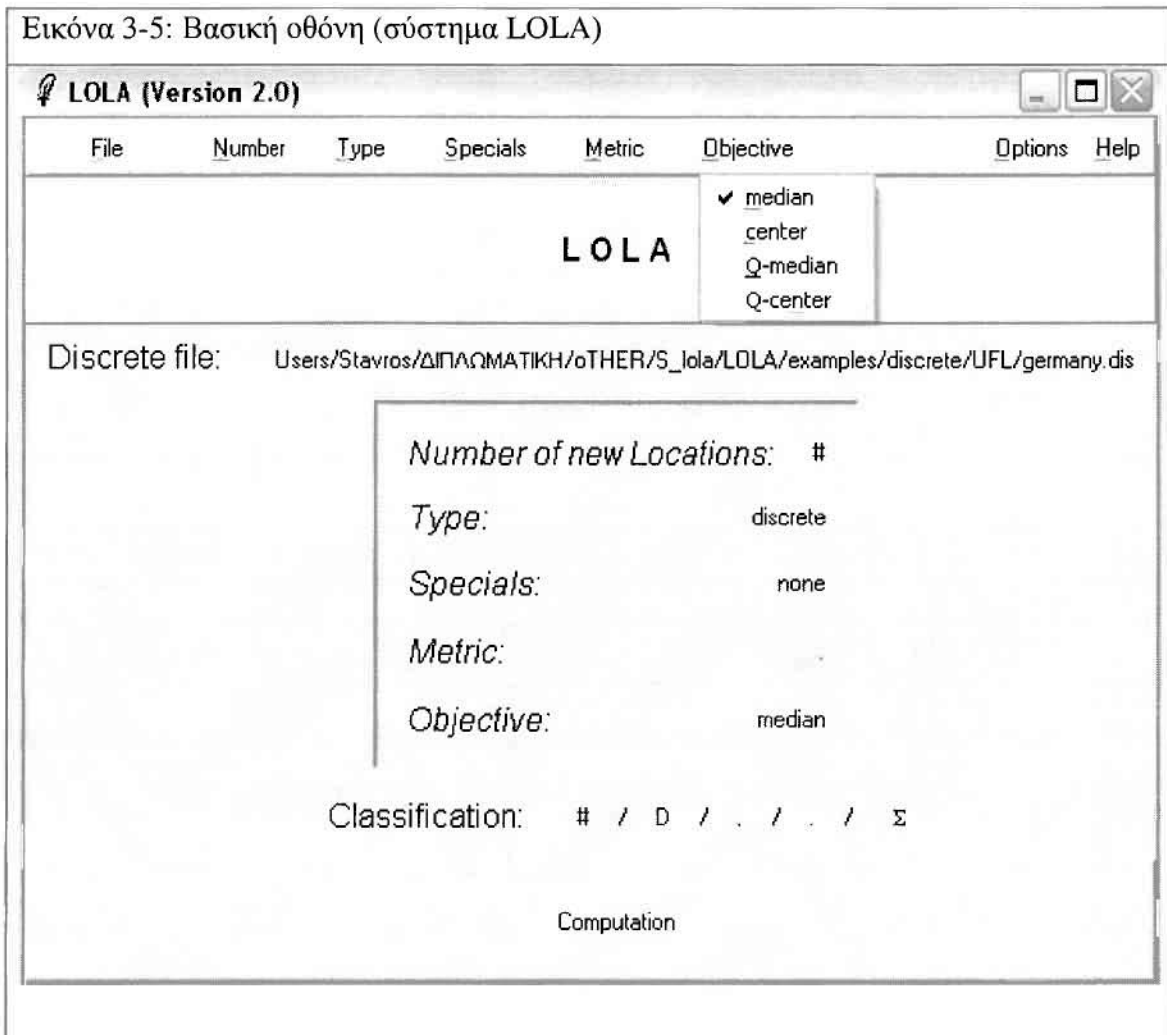
— ΘΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [LOLA-basic]

- ✧ Ανοικτή αρχιτεκτονική συστήματος – η χρήση του είναι δωρεάν
- ✧ Επίλυση προβλημάτων τόσο του συνεχούς όσο και του διακριτού χώρου
- ✧ Χαρτογραφική απεικόνιση λύσεων
- ✧ Καλή τεκμηρίωση (manual)
- ✧ Απήχηση στους λήπτες αποφάσεων (δηλ. χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό)
- ✧ Αποδοτικοί αλγόριθμοι για τα διαθέσιμα μοντέλα – συνεργάζεται και με εξωτερικά προγράμματα γραμμικής επίλυσης (CPLEX, LP-SOLVE)
- ✧ Πολλές δυνατότητες ανάπτυξης.
- ✧ LOLA-ArcView Link (ArcView Extension για τη σύνδεση του συστήματος).

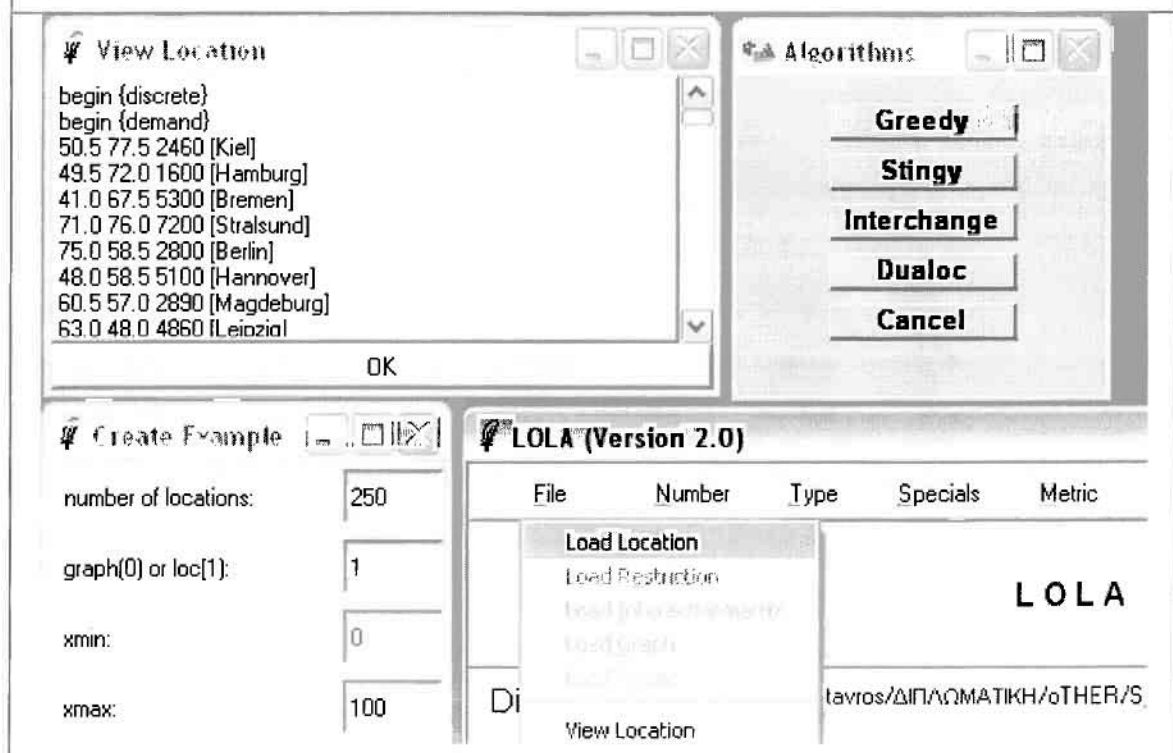
— ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [LOLA-basic]

- ✧ Δεν ενσωματώνεται σύγκριση και αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων
- ✧ Περιορισμένη αλληλεπίδραση με το χρήστη κατά τη διαδικασία επίλυσης
- ✧ Περιορισμένη υποστήριξη (αξιολόγηση) των παραγόμενων λύσεων
- ✧ Το περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη έχει περιθώρια βελτίωσης
- ✧ Έλλειψη ορισμένων βασικών μοντέλων (μέγιστη κάλυψη, μοντέλα με περιορισμό χωρητικότητας, εξειδικευμένα πολυμεταβλητά μοντέλα κ.ά.).
- ✧ Λιγότεροι διαθέσιμοι αλγόριθμοι από το αναμενόμενο
- ✧ Παρατηρείται μια στασιμότητα στην εξέλιξή του, τόσο από την πλευρά του αρχικού πυρήνα προγραμματιστών, όσο και από την πλευρά των χρηστών.

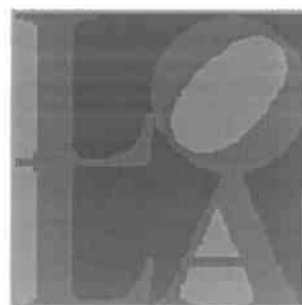
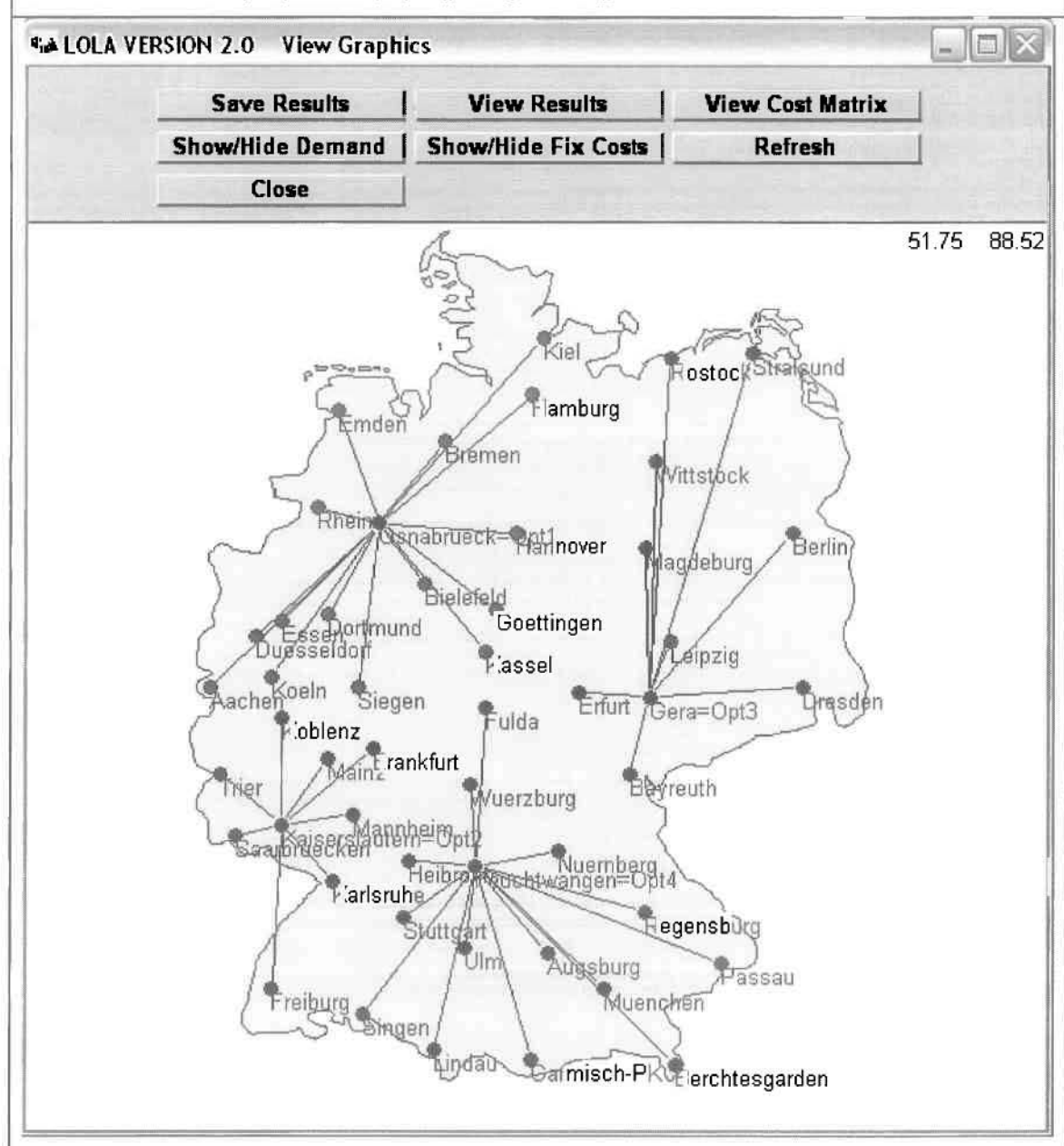
Εικόνα 3-5: Βασική οθόνη (σύστημα LOLA)



Εικόνα 3-7: Μερικά συμπληρωματικά παράθυρα (σύστημα LOLA)



Εικόνα 3-7: Οθόνη λυμένου προβλήματος (σύστημα LOLA)



3.6.3 SITUATION

Πρόκειται για ένα αξιόλογο ΣΣΧΑ, το οποίο επιλύει προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής του διακριτού χώρου. Αρχικά, σχεδιάστηκε για το λειτουργικό σύστημα MS-DOS και συνόδευε το βιβλίο του Daskin (1995). Αργότερα (1998) μετατράπηκε ούτως ώστε να λειτουργεί σε περιβάλλον Windows ενώ προστέθηκαν αρκετά επιπλέον μοντέλα και αλγόριθμοι. Παρέχει σημαντικές δυνατότητες επίλυσης, αλλά πάσχει σημαντικά στον τομέα του περιβάλλοντος διασύνδεσης με το χρήστη. Συγκεκριμένα, το πλήθος των παραθύρων (τα οποία μπορούν να προσπελαστούν μόνο σειραϊκά) καθιστά το λογισμικό μη αποδοτικό, ειδικά εάν ο χρήστης επιθυμεί να τρέξει παραπάνω από ένα μοντέλα ή/και αλγορίθμους. Εξάλλου, η κλειστή αρχιτεκτονική του συστήματος δεν επιτρέπει τη μετατροπή του περιβάλλοντος από τον χρήστη. Παρ' όλα αυτά, το πλήθος των διαθέσιμων μοντέλων και αλγορίθμων καθιστά το λογισμικό αρκετά ισχυρό. Το λογισμικό είναι δωρεάν, αλλά υπάρχει μια βελτιωμένη έκδοσή του η οποία δεν είναι διαθέσιμη στο ευρύ κοινό (η βελτιωμένη έκδοση πιθανότατα παρέχει και βελτιωμένο περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη, το οποίο, όμως, δεν κατέστη δυνατόν να ελεγχθεί). Το λογισμικό μπορεί να βρεθεί στην ακόλουθη ηλεκτρονική διεύθυνση <http://users.iems.nwu.edu/~msdaskin/>.

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΟΝΤΕΛΑ [SITUATION]

- ☒ Κάλυψη Συνόλου και παραλλαγές (στο διακριτό χώρο)
- ☒ Μέγιστη Κάλυψη (στο διακριτό χώρο)
- ☒ P-διάμεσος (στο διακριτό χώρο)
- ☒ P-κέντρο και παραλλαγές (στο διακριτό χώρο)
- ☒ Μοντέλο Σταθερού Κόστους
- ☒ Πολυμεταβλητό μοντέλο (trade-off) (στο διακριτό χώρο)
- ☒ Ολοκληρωμένο μοντέλο απογραφής / χωροθέτησης (SCD Model).

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ [SITUATION]

- ☒ Προσθετικός
- ☒ Κατάτμησης
- ☒ Αντικατάστασης κορυφής
- ☒ Γενετικός
- ☒ Χαλάρωση Lagrange & Branch-and-Bound.

— ΘΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [SITATION]

- ♣ Μεγάλο πλήθος υποστηριζόμενων μοντέλων και αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής του διακριτού χώρου
- ♣ Αρκετές δυνατότητες επέμβασης από την πλευρά του χρήστη στην προτεινόμενη λύση και στην αξιολόγησή της
- ♣ Χαρτογραφική απεικόνιση λύσεων
- ♣ Γραφήματα και πίνακες ανάλυσης της λύσης
- ♣ Η χρήση του είναι δωρεάν.

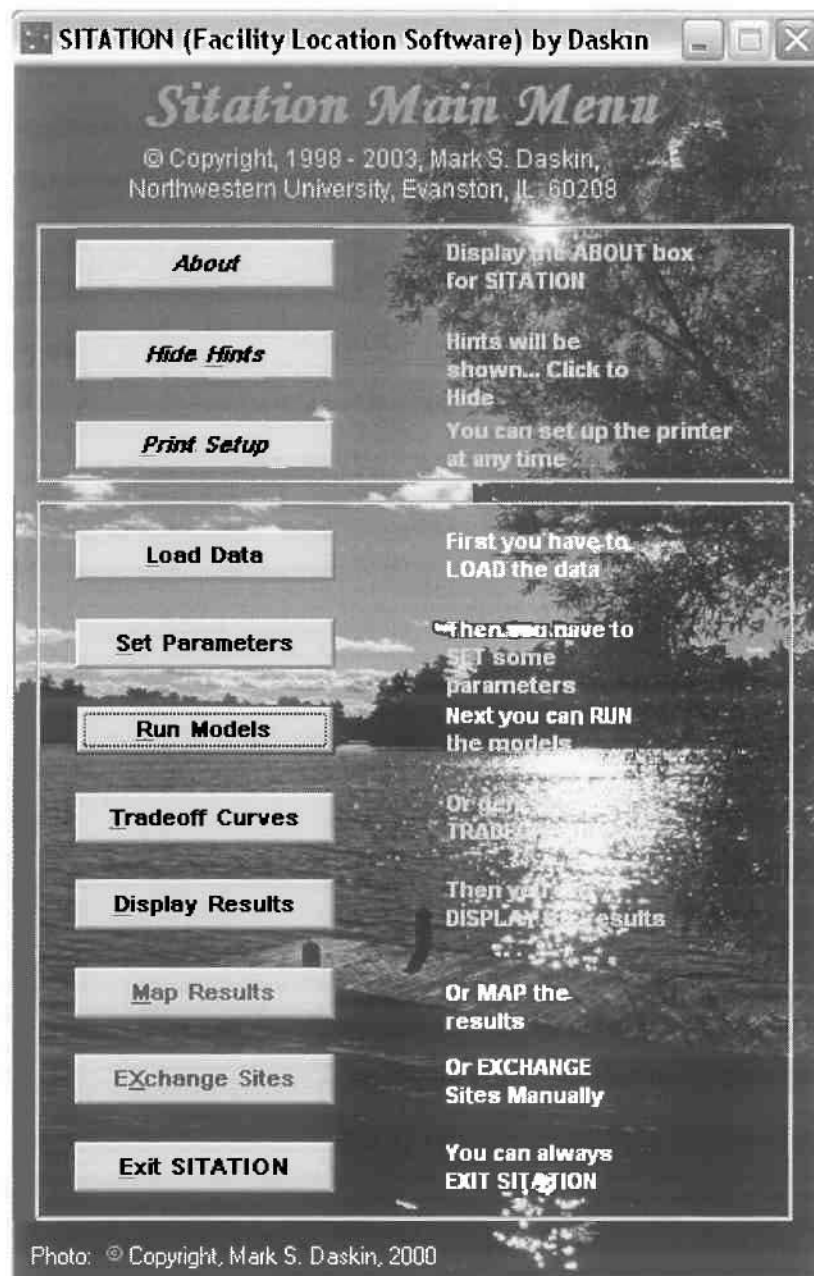
— ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [SITATION]

- ♣ Μη λειτουργικό περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη
- ♣ Κλειστή αρχιτεκτονική συστήματος
- ♣ Ελλιπής σύγκριση και αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων (σύγκριση μόνο μεταξύ διαφόρων τιμών του πολυμεταβλητού μοντέλου [trade-off curve])
- ♣ Δεν περιέχει περιορισμούς χωρητικότητας για τα ανωτέρω μοντέλα
- ♣ Ελλιπής τεκμηρίωση (στο βιβλίο αναλύεται η έκδοση για MS-DOS)
- ♣ Δεν παρέχει ενσωματωμένο αλγόριθμο υπολογισμού των ελαχίστων αποστάσεων σε προβλήματα δικτύων.

Εικόνα 3-8: Εισαγωγική οθόνη (σύστημα SITATION)



Εικόνα 3-9: Βασική οθόνη (σύστημα SITUATION)



Εικόνα 3-10: Οθόνη αρχικών επιλογών (σύστημα SITUATION)

Set Parameters

Use this form to set parameters. You must set the coverage distance and the cost per mile before you can run any algorithms.

Coverage Distance

Cost per Mile

Εικόνα 3-11: Οθόνη επιλογής μοντέλου / αλγορίθμου (σύστημα SITUATION)

Run Models Form

Select a Problem to Solve

☐ Maximum Covering
 ☐ Set Covering
 ☐ Partial P-Center

☐ P-Median
 ☐ P-Center
 ☐ Integrated InVFLuc (SCD) Model

☐ Uncapacitated Fixed Charge
 ☐ Partial Set Covering

Select an Algorithm

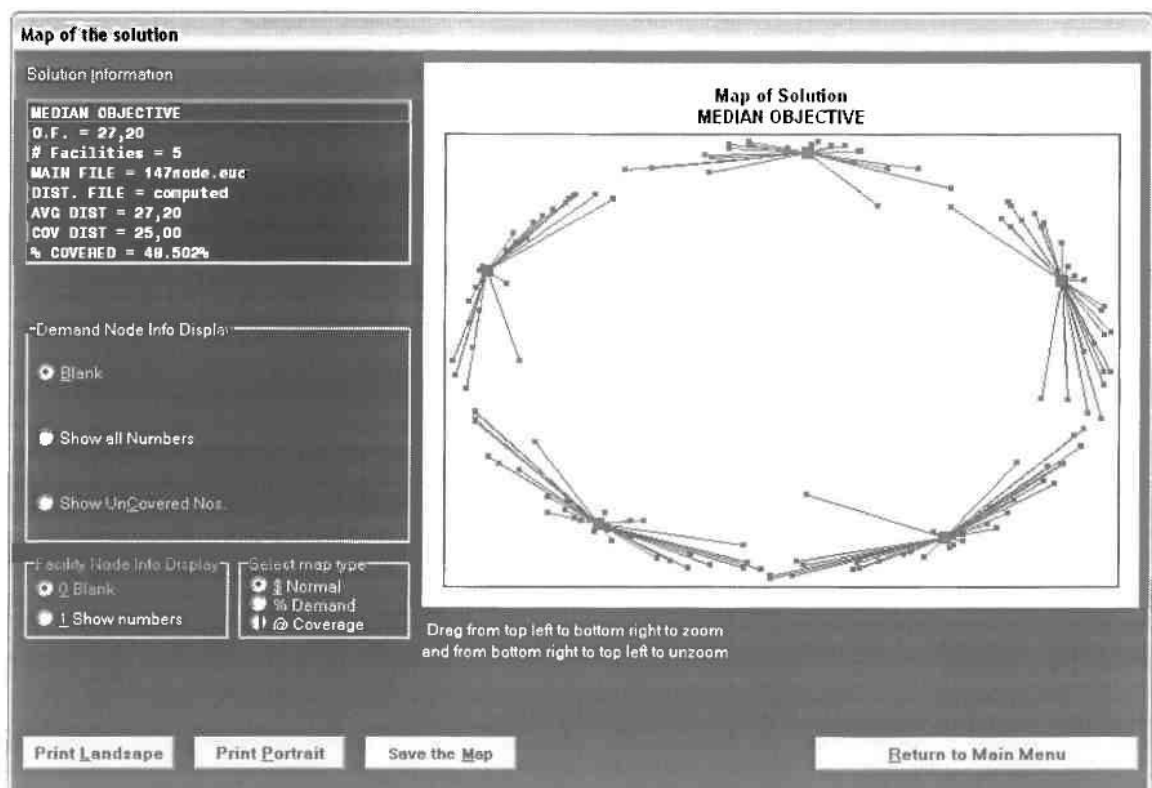
☐ Myopic
 ☐ Neighborhood
 ☐ Genetic Algorithm

☒ Exchange
 ☐ Lagrangian Relaxation

☒ EXchange EVERY iteration

Number to Locate

Εικόνα 3-12: Οθόνη χαρτογραφικής απεικόνισης λύσης (σύστημα SITUATION)



3.6.4 S-DISTANCE

Πρόκειται για το λογισμικό που κατασκευάζεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Το S-Distance αποτελεί μια προσπάθεια δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου λειτουργικού και διαδραστικού περιβάλλοντος επίλυσης προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής. Προς το παρόν, βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης και δεν έχει κυκλοφορήσει στο διαδίκτυο. Παρ' όλα αυτά, είναι πλήρως λειτουργικό και έχει ήδη εφαρμοστεί σε διάφορα ρεαλιστικά προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής (του διακριτού χώρου) τόσο μικρής όσο και μεγάλης κλίμακας. Ο προγραμματισμός γίνεται στη Visual Basic 6.0 Enterprise και τρέχει σε περιβάλλον Windows. Τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι το πολύ εύχρηστο και ευέλικτο περιβάλλον λειτουργίας και η εύκολη δημιουργία και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων. Ίσως, η μεγάλη ελευθερία παράλληλων κινήσεων που προσδίδει στο χρήστη μπορεί να δυσκολέψει την αρχική ενασχόληση με το λογισμικό. Προς το παρόν, για νέες εκδόσεις του συστήματος οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να μου στέλνουν e-mail στη διεύθυνση ssirig@uth.gr. Στο κοντινό μέλλον, προβλέπεται και η σύσταση ιστοσελίδας η οποία να το φιλοξενεί. Δυστυχώς, προς το παρόν, ο κώδικας δεν είναι ανοικτής αρχιτεκτονικής, λόγω των συνεχών αλλαγών και βελτιώσεων που υφίσταται. Μόλις σταθεροποιηθεί το προγραμματιστικό περιβάλλον του, θα διερευνηθεί και η πιθανότητα για μια τέτοια κίνηση.

Το γεγονός ότι το σύστημα υλοποιείται σε Visual Basic, εκ των πραγμάτων περιορίζει τα μηχανήματα που μπορούν να εκτελέσουν τον κώδικα σε αυτά που τρέχουν κάποια έκδοση των MS-Windows (95, 98, 2000, Me, NT, XP). Από την άλλη, τα περισσότερα νέα λογισμικά που τρέχουν σε περιβάλλον Windows (συμπεριλαμβανομένου του νέου ArcGIS) έχουν ενσωματωμένη τη Visual Basic for Applications. Αυτό κάνει τη σύνδεση με το S-Distance ακόμα ευκολότερη, ενώ είναι δυνατή η μετατροπή του συστήματος σε Extension του ArcGIS. Βέβαια, η Visual Basic έχει, εκτός από πολλούς οπαδούς (λόγω της ευκολίας της και των ισχυρών αντικειμενοστραφών δυνατοτήτων της) και πολλούς πολέμιους (κυρίως λόγω της “χαλαρής” δομής της [σε σχέση με περισσότερο “σοβαρές” γλώσσες προγραμματισμού όπως η C++], λόγω των περιορισμένων εξειδικευμένων λειτουργιών που περιλαμβάνει και λόγω της μειωμένης απόδοσης των εκτελέσιμων αρχείων που δημιουργεί.

Ακολουθεί μια, όσο το δυνατόν, αντικειμενική (συνοπτική) παρουσίαση των βασικών στοιχείων του συστήματος. Το σύστημα αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 4.

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΟΝΤΕΛΑ [S-DISTANCE]

- ☒ Μέγιστη Κάλυψη και παραλλαγές (στο διακριτό χώρο)
- ☒ P-διάμεσος και παραλλαγές (στο διακριτό χώρο)
- ☒ P-κέντρο και παραλλαγές (στο διακριτό χώρο)
- ☒ Πολυμεταβλητό μοντέλο (στο διακριτό χώρο)

— ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ [S-DISTANCE]

- ☒ Προσθετικός
- ☒ Τυχαίος προσθετικός
- ☒ Κατάτμησης
- ☒ Αντικατάστασης κορυφής
- ☒ Εύρεσης υποψήφιας λίστας
- ☒ Χαλάρωση Lagrange.

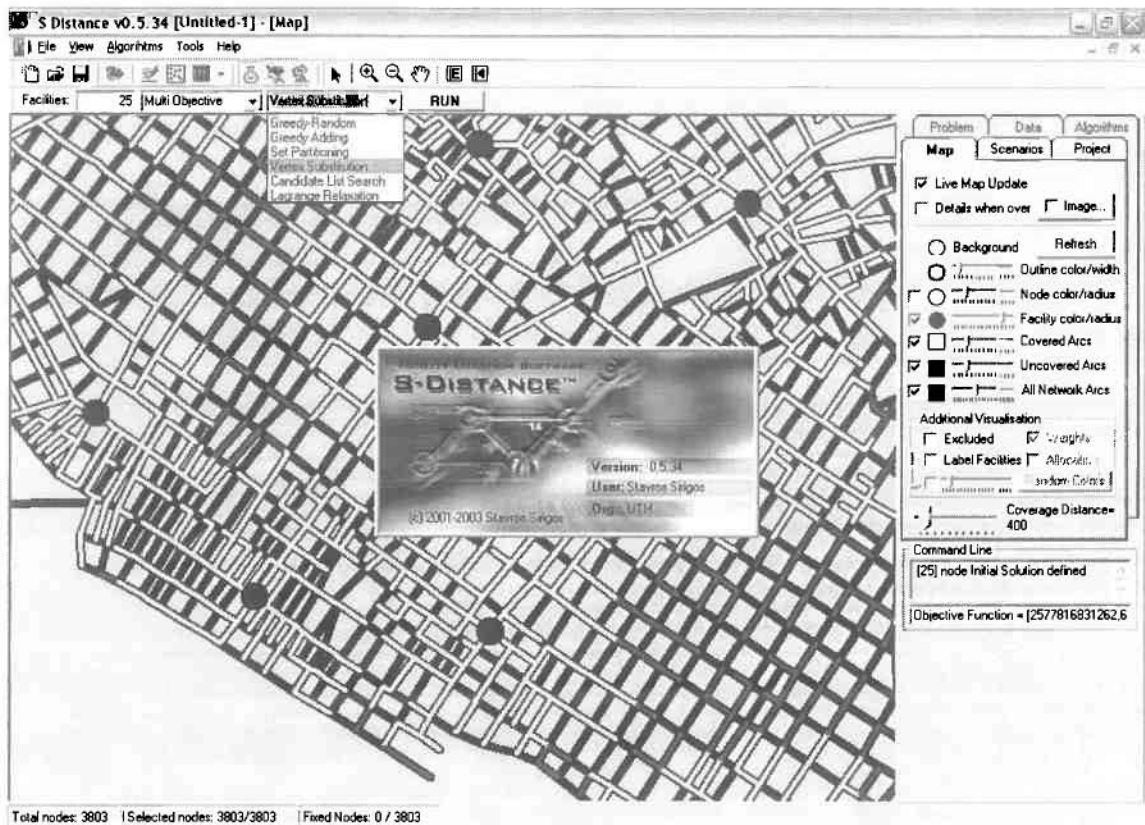
— ΘΕΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [S-DISTANCE]

- ♣ Υποδειγματικό περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη
- ♣ Εύκολη δημιουργία και σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων
- ♣ Δυνατότητες επέμβασης του χρήστη τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τον καθορισμό της λύσης
- ♣ Χαρτογραφική απεικόνιση λύσεων
- ♣ Γραφήματα και πίνακες ανάλυσης της λύσης
- ♣ Εισαγάγει και βάσεις δεδομένων (*.dbf) εκτός από αρχεία ASCII
- ♣ Επιλύει (ευριστικά) και προβλήματα με περιορισμό χωρητικότητας
- ♣ Η χρήση του (για εκπαιδευτικούς/ερευνητικούς σκοπούς) είναι δωρεάν.

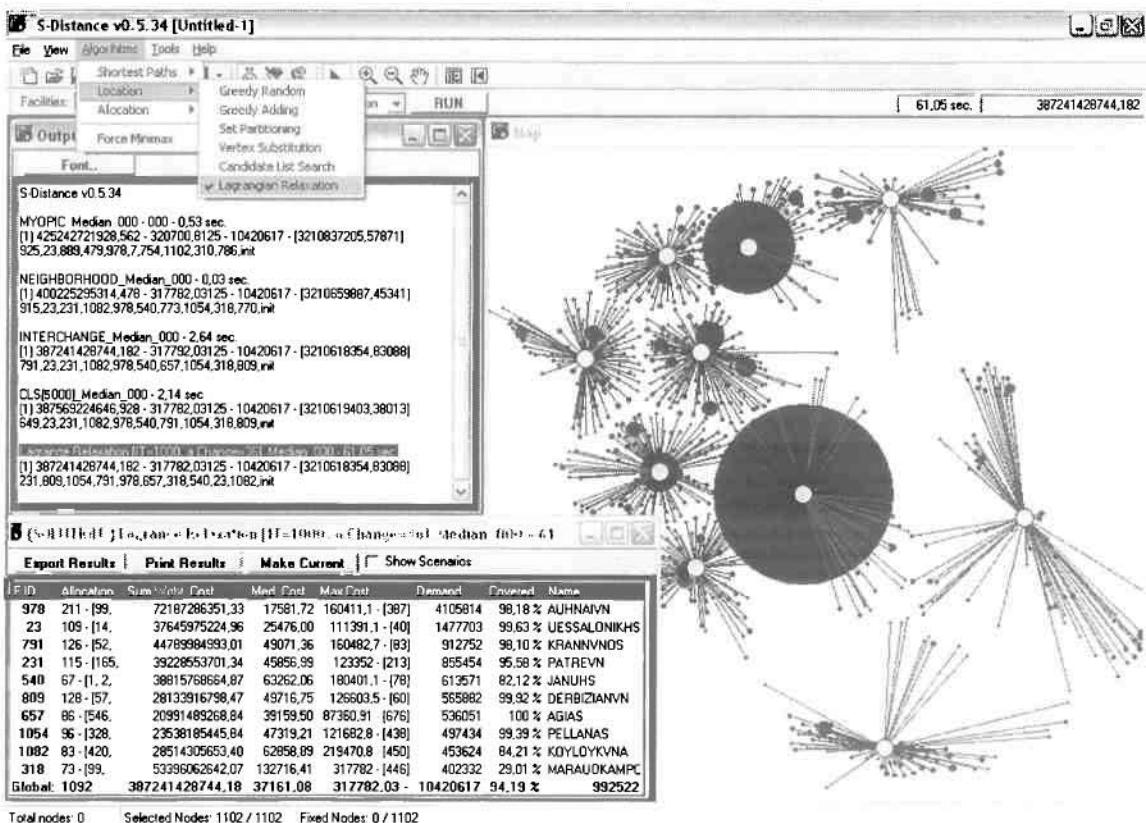
— ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [S-DISTANCE]

- ♣ Κλειστή αρχιτεκτονική συστήματος / πυρήνας Visual Basic
- ♣ Το προγραμματιστικό περιβάλλον επιδέχεται πολλών βελτιώσεων
- ♣ Χρειάζονται ισχυρότεροι αλγόριθμοι για την επίλυση προβλημάτων με περιορισμό χωρητικότητας
- ♣ Δεν συμπεριλαμβάνονται όλα τα βασικά μοντέλα (προς το παρόν)
- ♣ Θα ήταν χρήσιμο να επιλύει και προβλήματα του συνεχούς χώρου
- ♣ Δεν υπάρχει προς το παρόν on-line τεκμηρίωση (help)

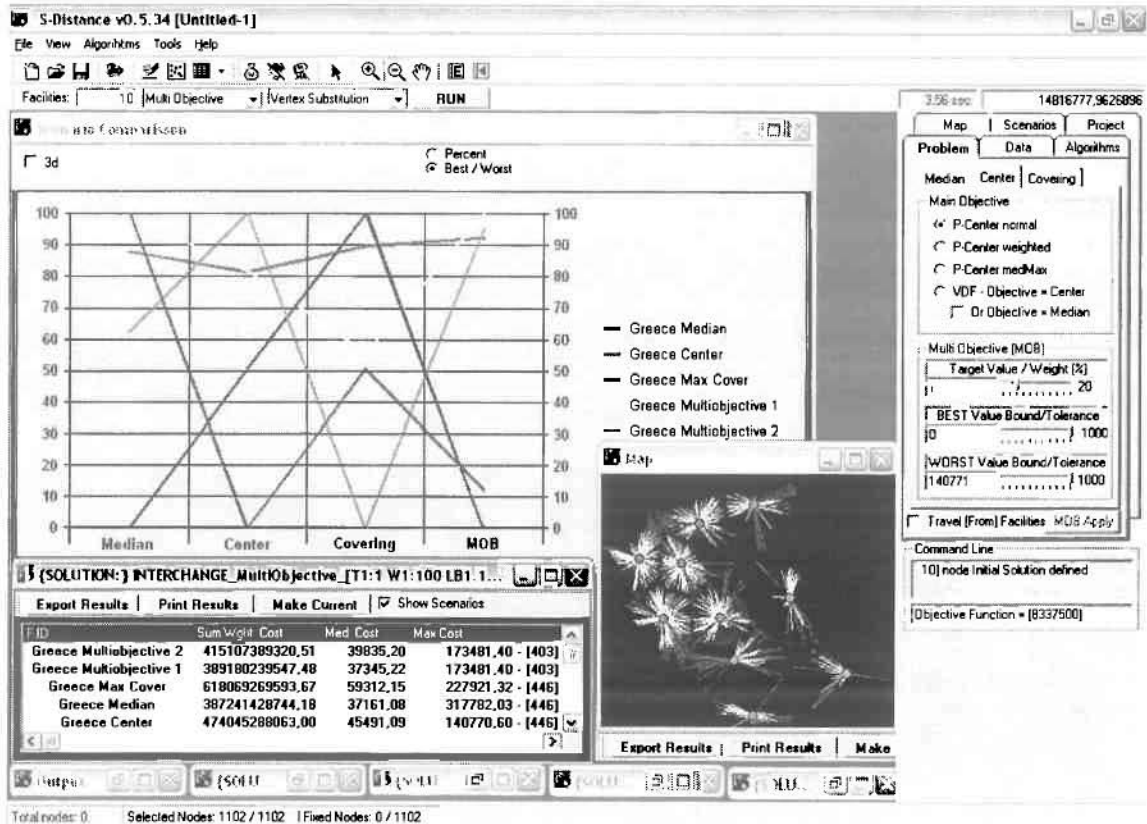
Εικόνα 3-13: Οθόνη χαρτογραφικής απεικόνισης λύσης (σύστημα S-DISTANCE)



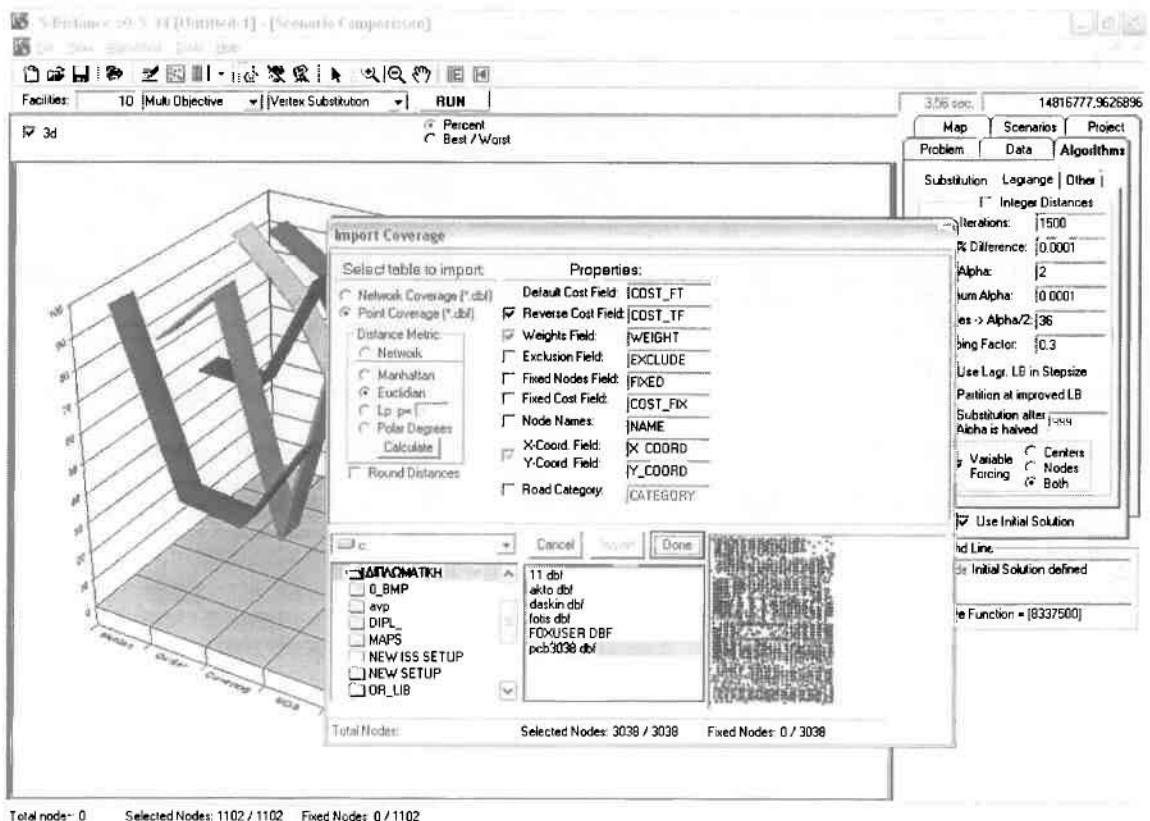
Εικόνα 3-14: Διάφορες οθόνες χαρακτηριστικών λύσης (σύστημα S-DISTANCE)



Εικόνα 3-15: Παράδειγμα σύγκρισης εναλλακτικών σεναρίων (σύστημα S-DISTANCE)



Εικόνα 3-16: Οθόνη εισαγωγής βάσης δεδομένων (σύστημα S-DISTANCE)



3.6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Στον παρακάτω πίνακα επιχειρείται μια κατά το δυνατόν αντικειμενική σύγκριση των παραπάνω λογισμικών, με βάση τα χαρακτηριστικά τους, κατόπιν σημαντικής προσωπικής ενασχόλησης με το κάθε ένα. Ο αναγνώστης παροτρύνεται να προμηθευτεί τα λογισμικά ώστε να βγάλει τα προσωπικά του συμπεράσματα, καθώς και για να διαπιστώσει ποιο σύστημα ανταποκρίνεται καλύτερα στο εκάστοτε πρόβλημα χωροθέτησης που θα θελήσει να επιλύσει.

Πίνακας 3-9: Σύγκριση ΣΣΧΑ για προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής

	LADSS	LOLA	SITATION	S-DISTANCE
Διαθέσιμα μοντέλα	✓	✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓
Διαθέσιμοι αλγόριθμοι	✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓
Λειτουργικό περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓✓✓
Διαδικασία δημιουργίας εναλλακτικών σεναρίων	✓	✓	✓✓	✓✓✓
Αλληλεπίδραση κατά τον καθορισμό της λύσης	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓
Προοπτικές ανάπτυξης	✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓	✓✓✓
Συνεργασία με ΓΣΠ	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	METPIA	METPIA
Αξιοπιστία αποτελεσμάτων	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
Απόδοση κώδικα (ταχύτητα)	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓
Άλλα χαρακτηριστικά	Χαμηλές απαιτήσεις συστήματος	Υποστηρίζει και προβλήματα του συνεχούς χώρου	Ισχυρό και ενοποιημένο περιβάλλον επίλυσης	Υποστηρίζει τον περιορισμό χωρητικότητας
	Έχει ενσωματωθεί στο ArcInfo Allocation	Σύστημα ανοικτής αρχιτεκτονικής	Αυτοματοποιημένο διμεταβλητό μοντέλο	Εισαγάγει βάσεις δεδομένων .dbf
Λειτουργικό σύστημα	MS-DOS	Όλα	DOS/WINDOWS	WINDOWS
Γλώσσα προγραμματισμού	Turbo Pascal	C++/Tcl	Turbo Pascal	Visual Basic
Περίοδος ανάπτυξης	1987 - 1992	1998 - 2000	1995 - 2003	2001 - 2003
Δωρεάν χρήση για μη κερδοσκοπικούς σκοπούς	NAI	NAI	NAI	NAI
Ανάπτυξη συστήματος	Paul Densham	βλ. κ. 3.6.2	Mark Daskin	Stavros Sirigos
ΣΥΣΤΗΜΑ:	LADSS	LOLA	SITATION	S-DISTANCE
Συνολική εικόνα	✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

3.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΚΡΙΤΙΚΗ

Τα Συστήματα Στήριξης Χωρικών Αποφάσεων είναι ισχυρά εργαλεία επίλυσης προβλημάτων χωρικής φύσης. Σχεδιάζονται ούτως ώστε να μην υποκαθιστούν την ανθρώπινη κρίση αλλά να τη συμπληρώνουν κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Παρόλο που τα περισσότερα βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, η χρήση τους ολοένα επεκτείνεται και εδραιώνεται. Ήδη, δεκάδες συστήματα βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης. Από την άλλη πλευρά, ο χρήστης (λήπτης αποφάσεων) δεν πρέπει να επιλέγει αβίαστα ένα οποιοδήποτε ΣΣΧΑ. Πρέπει, με βάσει τα δεδομένα του εκάστοτε προβλήματος, να επιλέγει το κατάλληλο σύστημα, το κατάλληλο μοντέλο και την κατάλληλη μέθοδο επίλυσης (εάν υπάρχει). Στην αντίθετη περίπτωση, η χρήση του ΣΣΧΑ μπορεί να περιπλέξει τη διαδικασία ή, ακόμα, να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται και στην ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων, αφού η αρχή *garbage in – garbage out* ισχύει ανεξαιρέτως μεθόδου επίλυσης. Στη χειρότερη περίπτωση, τα δεδομένα *μπορούν να αλλοιωθούν κατάλληλα*, προκειμένου να παραχθούν “βέλτιστες λύσεις” οι οποίες θα εξυπηρετούν συγκεκριμένες σκοπιμότητες. Το ίδιο μπορεί να επιτευχθεί και με τη χρήση λιγότερο κατάλληλων μεθόδων επίλυσης. Αυτές οι “λύσεις” θα έχουν το πλεονέκτημα ότι προήλθαν από “αδιαμφισβήτητα αντικειμενικά κριτήρια”, κάτι που θα αποτελεί το άλλοθι για την εφαρμογή τους. Τέτοιου είδους πρακτικές *μπορούν να αποτραπούν, μόνο εφόσον τα ΣΣΧΑ, από εργαλείο στα χέρια μιας κλειστής ομάδας επιστημόνων, γίνουν κτήμα μιας μεγαλύτερης μερίδας των εμπλεκομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.*

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο διπλός στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι, πρώτον, η εκτενής παρουσίαση των δυνατοτήτων του λογισμικού, βήμα προς βήμα, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα από την πόλη της Τρίπολης και, δεύτερον, η αξιολόγηση και βελτίωση της προσπελασιμότητας επιλεγμένων υπηρεσιών⁹ της πόλης από τον τοπικό πληθυσμό βάσει των μοντέλων και των αλγορίθμων που προσφέρονται στην παρούσα έκδοση του λογισμικού. Επιπλέον, από τη σκοπιά του λήπτη αποφάσεων, θα αξιολογηθεί η εφικτότητα των παραπάνω λύσεων και θα διερευνηθούν πιθανές τροποποιήσεις τους ώστε να ανταποκρίνονται πληρέστερα στην πραγματικότητα. Το κεφάλαιο αυτό περιέχει όσο το δυνατόν απλή ορολογία και δεν αναφέρεται σε τεχνικές υλοποίησης του λογισμικού, συγγραφής των αλγορίθμων και περιττών μαθηματικών ορισμών φιλοδοξώντας να αποτελέσει ένα είδος εγχειριδίου χρήσης του λογισμικού (λεπτομέρειες επί της διαδικασίας συγγραφής του λογισμικού μπορούν να βρεθούν στο παράρτημα).

4.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Όπως αναφέρθηκε στο 3ο κεφάλαιο, ακόμα και σήμερα, πολλά Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) στερούνται εξειδικευμένων μοντέλων και αλγορίθμων για την επίλυση χωροθετικών προβλημάτων. Πολλά απ' αυτά τα προβλήματα μπορούν να απαντηθούν από ειδικά Συστήματα Στήριξης Χωροθετικών Αποφάσεων - ΣΣΧΑ (Spatial Decision Support Systems - SDSS). Τα τελευταία μπορούν να συνδυαστούν με ένα ΓΣΠ το οποίο θα τους παρέχει τα απαιτούμενα χωρικά δεδομένα και θα αναλαμβάνει την οπτικοποίηση των παραγόμενων από το σύστημα αποτελεσμάτων (Church – Sorensen, 1994).

Το S-Distance είναι ένα πρότυπο ΣΣΧΑ το οποίο αναπτύσσω στο Εργαστήριο Χωρικής Ανάλυσης και Θεματικής Χαρτογραφίας του ΤΜΧΠΠΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (© Σταύρος Συρίγος 2001-2003). Το περιβάλλον ανάπτυξης είναι η MS Visual Basic

⁹ Με τον όρο 'Υπηρεσίες' αναφέρεται οποιαδήποτε δραστηριότητα στο χώρο ικανή να εξυπηρετήσει την υπάρχουσα ζήτηση. Τέτοιες δραστηριότητες μπορούν να είναι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, εμπόριο, αποθήκες εμπορευμάτων, σχολεία, θέσεις ασθενοφόρων κ.λπ. Προφανώς, σε κάθε περίπτωση η ζήτηση μπορεί να είναι διαφορετική.

6.0 Enterprise και απαιτεί H/Y Pentium με εγκατεστημένο λειτουργικό τα Windows 95 ή μεταγενέστερα. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του λογισμικού είναι:

- Επίλυση προβλημάτων **χωροθέτησης-κατανομής** του διακριτού χώρου (μέχρι 8.192 κόμβων) χρησιμοποιώντας ένα σύνολο αλγορίθμων
- **Χαρτογραφική απεικόνιση** των προτεινόμενων χωροθετικών λύσεων και δυνατότητα του χρήστη να επηρεάσει τα δεδομένα του προβλήματος
- Υπολογισμός των **βέλτιστων αποστάσεων** από υφιστάμενο οδικό δίκτυο βάσει των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των οδών (κατηγορία οδού, κατεύθυνση κίνησης)
- Άμεση **αξιολόγηση οποιασδήποτε αρχικής λύσης** (συμπεριλαμβανομένης και της υπάρχουσας κατάστασης) και βελτιστοποίησή της με προσθήκη νέων κέντρων ή/και την αντικατάσταση μέρους ή όλων των υφιστάμενων κέντρων
- Δημιουργία **εναλλακτικών σεναρίων** με παραμέτρους που ορίζονται από το χρήστη και αξιολόγησή τους
- **Φιλικό περιβάλλον διασύνδεσης** με το χρήστη – έμφαση στη γρήγορη πρόσβαση στις λειτουργίες του συστήματος
- Συνεργασία με **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών** (ανταλλαγή δεδομένων).

Οι κατηγορίες μοντέλων που ενσωματώνει το λογισμικό είναι οι εξής:

- **P-ΔΙΑΜΕΣΟΣ** – Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μετακίνησης από τους κόμβους ζήτησης στα (P) κέντρα εξυπηρέτησης
- **P-KENTRO** – Ελαχιστοποίηση του μέγιστου κόστους μετακίνησης από κόμβο ζήτησης προς το πλησιέστερο από τα (P) κέντρα εξυπηρέτησης
- **ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ** – Μεγιστοποίηση της συνολικής ζήτησης που καλύπτεται από τα (P) κέντρα εξυπηρέτησης για δεδομένη ακτίνα εξυπηρέτησης (γενικά για δεδομένο κόστος μετακίνησης)
- **ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟ** – Συγκερασμός των παραπάνω μοντέλων με παραμέτρους που ορίζονται από το χρήστη
- **ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ** των παραπάνω μοντέλων ώστε να αντιμετωπίζουν πιο σύνθετα προβλήματα

Το πεδίο εφαρμογής του μπορεί να συνοψισθεί (χωρίς να περιορίζεται) στους παρακάτω τομείς, δρώντας συμπληρωματικά στην κλασική διαδικασία λήψης χωροθετικών αποφάσεων:

- Εφαρμογή τόσο σε **πολεοδομική κλίμακα** (π.χ. κόμβοι οδικού δικτύου της πόλης), όσο και σε **χωροταξική κλίμακα** (π.χ. πόλεις ως κόμβοι).
- Χωροθέτηση υπηρεσιών του **δημοσίου τομέα, κοινής ωφέλειας** (σχολεία, νοσοκομεία, βιβλιοθήκες, εκλογικά κέντρα κ.λπ.), καθώς και υπηρεσιών του **ιδιωτικού τομέα** (εμπορικά καταστήματα, αποθήκες, κέντρα μεταφόρτωσης, κεραίες δικτύων κινητής τηλεφωνίας κ.λπ.)
- Αντιμετώπιση **έκτακτων αναγκών** (χωροθέτηση ασθενοφόρων, πυροσβεστικών οχημάτων, οχημάτων της τροχαίας κ.λπ.)
- Συμβολή στη χωροθέτηση **οχλουσών χρήσεων** (ΧΥΤΑ, ρυπογόνες βιομηχανίες, κ.λπ.).

Τέλος, οι αλγόριθμοι που έχουν υλοποιηθεί μέχρι στιγμής εμπίπτουν στις παρακάτω κατηγορίες (σε παρένθεση διάφοροι αλγόριθμοι που έχουν υλοποιηθεί και αντίστοιχοι μελετητές που τους έχουν εφεύρει ή αναδείξει).

- Linear Programming (All Pairs Shortest Paths - *Floyd*)
- Greedy (Shortest Paths - *Dijkstra*, ADD, TSP, GAP¹⁰)
- Probabilistic (Candidate List Search – *Taillard*, Random Procedures)
- Partitioning (Neighborhood - *Maranzana*, Locate-Allocate - *Cooper*)
- Vertex Substitution (*Teitz & Bart* κ.ά.)
- Binary Search (Vertex P-Center - *Daskin*)
- Optimization (Lagrange Relaxation - *Beasley, Senne & Lorena* κ.ά.)

Επισκόπηση των παραπάνω μοντέλων και αλγορίθμων έγινε στο κεφάλαιο 2. Στο επόμενο υποκεφάλαιο γίνεται λεπτομερής αναφορά στη μέθοδο παραγωγής και διόρθωσης των υποβάθρων που απαιτούνται από το λογισμικό. Επιπλέον κατά την

¹⁰ ADD: Προσθετικός αλγόριθμος χωροθέτησης, TSP: Πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή (Traveling Salesman), GAP: Πρόβλημα γενικευμένης κατανομής (General Assignment)

προετοιμασία των υποβάθρων γίνεται αναφορά στα κυριότερα δεδομένα που πρέπει να συλλεχθούν προκειμένου να εφαρμοστούν τα μοντέλα χωροθέτησης-κατανομής.

4.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ

4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το λογισμικό, προκειμένου να χωροθετήσει υπηρεσίες ή/και να αξιολογήσει τα χωρικά πρότυπα που προσδιορίζουν αυτές, χρειάζεται τουλάχιστον δυο μεταβλητές. Η πρώτη μεταβλητή είναι η ζήτηση που καλούνται να καλύψουν οι εν λόγω υπηρεσίες. Η ζήτηση μπορεί να είναι απλά ο πληθυσμός ή η προβολή του πληθυσμού μιας πόλης ή ενός συνόλου πόλεων, ο οποίος θα κατανέμεται σε κόμβους. Σε επίπεδο πόλης, ως κόμβος ζήτησης θα μπορούσε να οριστεί κάθε οικοδομικό τετράγωνο (με βάση το κεντροειδές του), ενώ σε μεγαλύτερο επίπεδο –λ.χ. περιφέρειας– οι κόμβοι ζήτησης μπορούν να είναι οι ίδιες οι πόλεις. Αντίστοιχα με τους κόμβους ζήτησης ορίζονται και οι υποψήφιοι, για τη χωροθέτηση του συγκεκριμένου τύπου υπηρεσιών, κόμβοι (υποψήφια κέντρα - candidate facilities). Κάθε κόμβος ζήτησης μπορεί να είναι και υποψήφιο κέντρο, ενώ πολλές φορές κάθε υποψήφιο κέντρο αποτελεί και κόμβο ζήτησης. Η δεύτερη μεταβλητή είναι η απόσταση κάθε κόμβου ζήτησης από και προς όλα τα υποψήφια κέντρα. Η απόσταση αυτή μπορεί να καθορίζεται είτε με βάση τις συντεταγμένες των κόμβων στο χώρο είτε με βάση το υπάρχον (ή προβλεπόμενο) οδικό δίκτυο που τους συνδέει. Η δεύτερη περίπτωση ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα, αλλά είναι περισσότερο απαιτητική σε πρωτογενές υλικό (υπόβαθρα) και σε ακρίβεια σχεδιασμού του δικτύου (βλ. παρακάτω). Η απόσταση σαν τιμή συνήθως αναφέρεται στο μήκος της ελάχιστης διαδρομής που απαιτείται για τη σύνδεση κάθε κόμβου με κάθε υποψήφιο κέντρο ή στον αντίστοιχο χρόνο που απαιτείται για τον ίδιο σκοπό.

Η παραπάνω προσέγγιση του προβλήματος γίνεται στο διακριτό χώρο (discrete space), δηλαδή σε ένα πεπερασμένο σύνολο κόμβων και υποψήφιων κέντρων. Σε αντιδιαστολή, στο συνεχή χώρο (continuous space) υποψήφιο κέντρο είναι οποιοδήποτε σημείο ανήκει στο επίπεδο καρτεσιανών συντεταγμένων (X,Y) που καθορίζεται από τους κόμβους ζήτησης. Το λογισμικό –στην παρούσα έκδοση– αντιμετωπίζει προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής στον διακριτό χώρο (εφεξής ‘χώρο’), ο οποίος ορίζεται από τα υπόβαθρα που εισάγει ο χρήστης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ακριβώς η μορφή την οποία θα πρέπει να έχουν τα υπόβαθρα της περιοχής μελέτης (δεδομένα)

προτού εισαχθούν στο λογισμικό. Επιπλέον εφιστάται η προσοχή σε συνήθη λάθη των υποβάθρων, τα οποία –αν υπάρχουν– θα δημιουργήσουν προβλήματα στην εκτέλεση των αλγορίθμων και θα αλλοιώσουν τα εξαγόμενα αποτελέσματα και κατ' επέκταση τα συμπεράσματα που θα προκύψουν.

4.3.2 ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το είδος των υποβάθρων και η μορφή που θα έχουν τα δεδομένα είναι πολύ συγκεκριμένα και η προετοιμασία τους πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή. Συνήθως τα υπόβαθρα δημιουργούνται σε κάποιο ΓΣΠ (GIS) ή συνδυασμό ΓΣΠ και ΣΑΣ (CAD). Το λογισμικό από τα τελικά υπόβαθρα χρησιμοποιεί μόνο τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων, οι οποίες πρέπει να είναι σε μορφή D-BASE (*.dbf). Εναλλακτικά, μπορούμε να εισαγάγουμε δεδομένα και σε μορφή κειμένου ASCII (*.txt) (λεπτομέρειες γι' αυτή τη μέθοδο εισαγωγής βλ. παράρτημα). Τα βήματα που ακολουθούνται για την πρώτη μέθοδο είναι τα ακόλουθα:

ΒΗΜΑ 1ο :

Το βασικό υπόβαθρο που πρέπει να είναι διαθέσιμο, σε περίπτωση που το επίπεδο ανάλυσης είναι η πόλη, είναι τα οικοδομικά τετράγωνα (ΟΤ) με κατανομημένο τον συνολικό πληθυσμό¹¹ σ' αυτά. Στην περίπτωση που το επίπεδο ανάλυσης είναι μεγαλύτερο και περιλαμβάνει πολλές πόλεις, δεν χρειάζονται τα ΟΤ, δεδομένου ότι οι πόλεις αναπαρίστανται σημειακά στο χώρο. Στη συνέχεια εφόσον το οδικό δίκτυο που συνδέει τους κόμβους είναι διαθέσιμο εκτελείται το 2ο βήμα, αλλιώς γίνεται μετάβαση στο 4ο βήμα.

ΒΗΜΑ 2ο:

Το οδικό δίκτυο που θα ενώσει τους επιμέρους κόμβους του προβλήματος χωροθέτησης - κατανομής (εφεξής *πρόβλημα*) πρέπει οπωσδήποτε να είναι συνεκτικό. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κομμάτι (τόξο) του δικτύου πρέπει να ενώνει δυο ακριβώς κόμβους του προβλήματος, καθώς και να ενώνεται με τουλάχιστον άλλο ένα τόξο του

δικτύου, ενώ παράλληλα όλοι οι κόμβοι του προβλήματος πρέπει να ανήκουν στην αρχή ή στο τέλος τουλάχιστον ενός τόξου του δικτύου. Επιπλέον, κάθε κόμβος του προβλήματος πρέπει να μπορεί να προσπελάσει μέσω των τόξων του δικτύου όλους τους υπόλοιπους κόμβους (άρα και να μπορεί να προσπελαστεί απ' όλους τους υπόλοιπους). Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι κάθε κόμβος του προβλήματος αποτελεί και κόμβο του δικτύου και αντίστροφα. Για το λόγο αυτό θα αναφερόμαστε σε αυτούς γενικότερα ως *κόμβους*. Ο έλεγχος της συνεκτικότητας του οδικού δικτύου γίνεται από το λογισμικό, πληροφώντας το χρήστη σε περίπτωση που ορισμένοι κόμβοι δεν είναι προσπελάσιμοι, καθώς και ποιοι είναι αυτοί προκειμένου να γίνουν οι όποιες διορθώσεις στο υπόβαθρο του οδικού δικτύου.

Το οδικό δίκτυο πρέπει υποχρεωτικά να περιλαμβάνει για κάθε τόξο τα εξής πεδία: (α) κόμβος αρχής (FNODE_) και κόμβος τέλους (TNODE_) με τιμές $\chi \in \mathbb{N} \setminus \{2-v\}$ όπου v το σύνολο των κόμβων και $v \leq 8.192$, (β) το κόστος διέλευσης του συγκεκριμένου τόξου με φορά από κόμβο $\rightarrow$ έως κόμβο (COST_FT). *Συνηθισμένο 'λάθος' είναι η πιθανή ύπαρξη περιττών τόξων, όπως π.χ. κατά το σχεδιασμό καμπύλων τμημάτων οδών, όπου μεταξύ δυο διαδοχικών κόμβων (διασταυρώσεων οδών), παρατηρούνται πολλά μικρότερα ευθύγραμμα τόξα συνδεδεμένα με ψευδοκόμβους. Αυτό όχι μόνο αυξάνει το χρόνο των απαιτούμενων υπολογισμών και τις απαιτήσεις σε μνήμη κατά τη διαδικασία επίλυσης, αλλά αδικεί, κατά μια έννοια, τα υπόλοιπα ευθύγραμμα τόξα που δεν έχουν τέτοιους ενδιάμεσους ψευδοκόμβους. Το πρόβλημα είναι δυνατόν να αποφευχθεί με τη σωστή σχεδίαση του τόξου ως ενιαίου, αλλά μπορεί να αντιμετωπιστεί και εκ των υστέρων ενοποιώντας τα επιμέρους τμήματά του¹².*

Προαιρετικά και εφόσον το δίκτυο είναι κατευθυνόμενο, μπορούμε να συμπεριλάβουμε (γ) το αντίστοιχο πεδίο ανάστροφης πορείας (COST_TF). Επίσης, για να υποδηλώσουμε την απαγόρευση της κίνησης προς μία εκ των δυο κατευθύνσεων εισάγουμε την τιμή **-1** στο αντίστοιχο πεδίο. Στην περίπτωση μη κατευθυνόμενου δικτύου το κόστος ανά κατεύθυνση θεωρείται ότι είναι το ίδιο. Ένα επιπλέον απαιτούμενο πεδίο είναι το μήκος του τόξου (LENGTH), κατά προτίμηση σε μέτρα. Εξαιρουμένων των πεδίων FNODE_ και TNODE_, ο χρήστης μπορεί να

¹¹ Στην περίπτωση που η ζήτηση δεν σχετίζεται με τον πληθυσμό της πόλης (ή των πόλεων) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλη ζήτηση που θα προκύπτει από τα αντίστοιχα δεδομένα του προβλήματος που θέλουμε να λύσουμε.

¹² Στο πρόγραμμα ArcView GIS, η αντίστοιχη διαδικασία είναι: Επιλογή τόξων -> Theme -> Union Features, ενώ τα υπόβαθρα που έχουν προέλθει από το πρόγραμμα PC-ArcInfo και στα οποία έχει γίνει τοπολογία δικτύου με Clean / Build δεν αναμένεται τέτοιο 'πρόβλημα'.

χρησιμοποιήσει δική του ονομασία για τα υπόλοιπα πεδία. Μάλιστα, μπορούν να υπάρχουν πολλά τέτοια πεδία (κόστους), ανάλογα με το πρόβλημα που θέλουμε να επιλύσουμε και τις μονάδες με τις οποίες θέλουμε να μετρήσουμε το κόστος (π.χ. μη κατευθυνόμενο δίκτυο / κόστος = μήκος του τόξου / κίνηση πεζή, είτε: κατευθυνόμενο δίκτυο / κόστος = λεπτά που απαιτούνται για τη διέλευση του τόξου ανά κατεύθυνση / κίνηση οχημάτων κ.λπ.). Εξάλλου, υπάρχει η δυνατότητα διαχωρισμού των τόξων του δικτύου στις κατηγορίες των υφιστάμενων οδών (πεζόδρομοι, ήπιας κυκλοφορίας, συλλεκτήριοι, τοπικοί, ταχείας κυκλοφορίας κ.λπ.). Σε κάθε περίπτωση, το κόστος διέλευσης από το αντίστοιχο τόξο πρέπει να μεταβάλλεται αναλόγως. Το λογισμικό προσφέρει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν μέχρι και δυο διαφορετικές εκδοχές του ίδιου δικτύου ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος.

Προτού γίνει μετάβαση στο επόμενο βήμα θα πρέπει να διαπιστωθεί η ορθότητα του δικτύου (συνεκτικότητα, ψευδοκόμβοι), αλλιώς με κάθε αλλαγή στη μορφή του οδικού δικτύου απαιτείται η εκ νέου εκτέλεση των βημάτων 3 και 4. Η διαδικασία ελέγχου της συνεκτικότητας μέσω του λογισμικού είναι File → Import Coverage, κάνουμε κλικ στο αρχείο *.dbf του οδικού δικτύου, διαλέγουμε τα ονόματα των πεδίων ανά φορά κατεύθυνσης (Default Cost Field, Reverse Cost Field [το τελευταίο αν υπάρχει κατευθυνόμενο δίκτυο]) → Import → Check Contiguity. Στο σημείο αυτό, μπορούν να παρακαμφθούν όλα τα υπόλοιπα βήματα με την παραδοχή ότι όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα έχουν ζήτηση = 1 καθώς και κανένα επιπλέον χαρακτηριστικό, και να αρχίσει η εκτέλεση του λογισμικού (δεν προτείνεται).

Προαιρετικά, η βάση δεδομένων του οδικού δικτύου μπορεί να περιλαμβάνει τα ονόματα των οδών, στοιχεία γεωκωδικοποίησης (Geocoding) με την αρίθμηση των οδών, κυκλοφοριακούς φόρτους και μέγιστη ταχύτητα ανά τμήμα οδού, κόστος στροφής, αντίστασης στην κίνηση (Impedence) κ.λπ. Στην παρούσα έκδοση του λογισμικού δεν γίνεται χρήση αυτών των πεδίων, μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν έμμεσα αν γίνει η ταυτόχρονη χρήση του λογισμικού μαζί με ένα ΓΣΠ όπως το ArcView GIS.

ΒΗΜΑ 3ο:

Όπως προαναφέρθηκε στο 2ο βήμα, οι κόμβοι του προβλήματος πρέπει να είναι ίσοι σε πλήθος με τους κόμβους του δικτύου. Όμως, αν το επίπεδο ανάλυσης είναι η πόλη, οι διαθέσιμοι κόμβοι του προβλήματος είναι μόνο τα ΟΤ (ουσιαστικά τα κεντροειδή

των ΟΤ) του 1ου βήματος. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η δημιουργία καινούριου σημειακού υποβάθρου, όπου κάθε σημείο θα αντιπροσωπεύει έναν και μόνο έναν κόμβο του οδικού δικτύου και θα περιλαμβάνει υποχρεωτικά ένα πεδίο (ID) το οποίο θα παίρνει τιμές $\chi \in \mathbb{N} \setminus \{1-v\}$ και $v \leq 8.192$ με βάση τον αντίστοιχο κόμβο χ (βλ. 2ο βήμα) του οδικού δικτύου¹³. Σε επίπεδο ανάλυσης όπου οι πόλεις αναπαρίστανται σημειακά, συνήθως δεν χρειάζονται ενδιάμεσοι κόμβοι εκτός από τις ίδιες τις πόλεις, οπότε γίνεται κατευθείαν η διαδικασία αντιστοίχισης των τιμών στο πεδίο ID.

Κατόπιν –μόνο αν το επίπεδο ανάλυσης είναι η πόλη– είναι αναγκαία η κατανομή της ζήτησης κάθε ΟΤ στις αντίστοιχες γωνίες από τις οποίες αποτελείται το πολύγωνο και οι οποίες αντιστοιχούν σε κόμβους του οδικού δικτύου (ουσιαστικά η κατανομή θα γίνει στους αντίστοιχους κόμβους του σημειακού υποβάθρου που δημιουργήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο). Η διαδικασία της κατανομής της ζήτησης γίνεται με διάφορους τρόπους, ενώ ειδικότερα στο ArcView GIS μπορούμε να εφαρμόσουμε την εξής μέθοδο:

(α) Δημιουργούμε ένα πεδίο ID_POLY στη βάση δεδομένων (εφεξής ΒΔ) των ΟΤ το οποίο θα είναι ο αύξων αριθμός των ΟΤ (με συνεχή αρίθμηση ξεκινώντας από το 1) και ένα πεδίο COUNT.

(β) Δημιουργούμε ένα πεδίο WEIGHT στη ΒΔ του καινούριου σημειακού υποβάθρου που να περιλαμβάνει κατά προτίμηση από 1-5 δεκαδικά ψηφία. Με κάποιο script ή extension υπολογίζουμε νέα πεδία στη ΒΔ του οδικού δικτύου που θα ονομάζονται LPOLY_ και RPOLY_ και οι τιμές τους για κάθε τόξο θα προέρχονται αντίστοιχα από την τιμή ID_POLY των ΟΤ που βρίσκονται εκατέρωθεν του συγκεκριμένου τόξου. Αν κάποιο τόξο δεν έχει από τη μία ή και από τις δυο πλευρές του κάποιο ΟΤ τότε η μία ή και οι δυο αντίστοιχες τιμές *POLY_ παίρνουν την τιμή 0.

(γ) Έπειτα υπολογίζονται οι τιμές του πεδίου COUNT για κάθε ID_POLY της ΒΔ των ΟΤ με βάση το πλήθος των αντίστοιχων κελιών των πεδίων LPOLY_ και RPOLY_ της ΒΔ του οδικού δικτύου. Τέλος για κάθε τόξο του οδικού δικτύου (μπορεί να γίνει και στο EXCEL), γίνεται επισκόπηση των LPOLY_, RPOLY_, FNODE_ και TNODE_ ανά εγγραφή και με βάση την τιμή του *POLY_ αθροίζεται

¹³ Αν το υπόβαθρο του οδικού δικτύου έχει προέλθει από το πρόγραμμα PC-ArcInfo (ή αντίστοιχο) και υπάρχει τοπολογία δικτύου, τότε συνήθως δημιουργείται αυτόματα και το αντίστοιχο σημειακό υπόβαθρο.

η τιμή της ζήτησης που βρίσκεται στη ΒΔ των ΟΤ (αρ. εγγραφής ID_POLY=*POLY_) αφού πρώτα διαιρεθεί με την αντίστοιχη τιμή COUNT στην τιμή WEIGHT του νέου σημειακού υποβάθρου.

Με την ολοκλήρωση της επισκόπησης όλων των τόξων του οδικού δικτύου ολοκληρώνεται το 3ο βήμα.

ΒΗΜΑ 4ο:

Το τελευταίο βήμα αφορά στην περαιτέρω προετοιμασία των *σημειακών υποβάθρων* που δημιουργήθηκαν στο 3^ο βήμα. Εάν δεν υπάρχει υπόβαθρο οδικού δικτύου και το επίπεδο ανάλυσης είναι η πόλη δημιουργείται το σημειακό υπόβαθρο με βάση τα κεντροειδή των ΟΤ διατηρώντας την όποια αρχική ποιοτική πληροφορία (π.χ. τον πληθυσμό) ενώ στην περίπτωση που το επίπεδο ανάλυσης είναι ένα σύστημα πόλεων, το αντίστοιχο υπόβαθρο αποτελείται ήδη από τη σημειακή αναπαράσταση των πόλεων. Τα πεδία που θα δημιουργηθούν παρακάτω αναφέρονται όλα στη βάση δεδομένων του σημειακού υποβάθρου.

(α) Δημιουργία πεδίων συντεταγμένων των κόμβων, X_COORD και Y_COORD

Αρχικά δημιουργούνται δυο πεδία κατά προτίμηση 5 δεκαδικών ψηφίων, τα X_COORD και Y_COORD, όπου θα τοποθετηθούν οι συντεταγμένες X, Y κάθε κόμβου. Αν δουλεύουμε στο πρόγραμμα ArcView GIS, υπολογίζουμε με το Calculator τις τιμές καθενός από τα δυο πεδία με τον τύπο X_COORD=[SHAPE].GetX και Y_COORD=[SHAPE].GetY αντίστοιχα. Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε Scripts – Extensions που κάνουν μεταξύ άλλων αυτή τη δουλειά (π.χ. XTOOLS).

(β) Δημιουργία πεδίου περιορισμού του προβλήματος (EXCLUDE)

Στο στάδιο αυτό δημιουργείται το πεδίο EXCLUDE το οποίο θα αποτελείται από ακέραιους αριθμούς και συγκεκριμένα θα παίρνει τις τιμές **0** ή **1**. Με την τιμή EXCLUDE = **1** ορίζονται όσοι κόμβοι του προβλήματος δεν είναι υποψήφια κέντρα, ενώ με την τιμή EXCLUDE = **0** όλοι οι υπόλοιποι. Οι κόμβοι που αποκλείονται κατά τη διαδικασία της επίλυσης είναι συνήθως σημεία όπου κρίνεται ακατάλληλη η

χωροθέτηση της υπηρεσίας για την οποία γίνεται η μελέτη. Η ακαταλληλότητα αυτή προκύπτει συνήθως από διάφορες παραμέτρους οι οποίες ενδεικτικά μπορούν να είναι:

- το ιδιοκτησιακό καθεστώς σε συνδυασμό με παράγοντες όπως η αδυναμία ενοικίασης – αγοράς – απαλλοτρίωσης και γενικότερα χρήσης κάποιου κατάλληλου χώρου στα ΟΤ που βρίσκονται γύρω από τον συγκεκριμένο κόμβο για τη χωροθέτηση παραρτήματος της υπηρεσίας που μελετάμε (σε επίπεδο ανάλυσης πόλης)
- το σχέδιο χρήσεων γης όπως ορίζεται από το υφιστάμενο Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο το οποίο μπορεί να απαγορεύει τη χωροθέτηση συγκεκριμένων υπηρεσιών στα ΟΤ που βρίσκονται γύρω από το συγκεκριμένο κόμβο (σε επίπεδο ανάλυσης πόλης) ή στο σύνολο της πόλης που αντιπροσωπεύει ο κόμβος (σε επίπεδο ανάλυσης συστήματος πόλεων)
- απαγορευτικό κόστος εγκατάστασης ή/και λειτουργίας στο συγκεκριμένο κόμβο¹⁴ (τόσο σε επίπεδο ανάλυσης πόλης όσο και σε επίπεδο ανάλυσης συστήματος πόλεων)
- περιορισμοί από Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου ή άλλους περιορισμούς, π.χ. ζώνες προστασίας περιβάλλοντος (τόσο σε επίπεδο ανάλυσης πόλης όσο και σε επίπεδο ανάλυσης συστήματος πόλεων)
- ανεπαρκές δίκτυο εξυπηρέτησης του συγκεκριμένου κόμβου, π.χ. ανεπαρκής ηλεκτροδότηση, ανεπαρκές τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, επαφή με οδό ταχείας κυκλοφορίας, πρόσβαση μόνο από πεζόδρομο κ.λπ. (σε επίπεδο ανάλυσης πόλης)
- ανεπαρκές διαθέσιμο ή εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό ή ανεπάρκεια / έλλειψη άλλων υπηρεσιών που απαιτούνται σε κοντινή απόσταση όπως κεντρικές λειτουργίες, λιμάνια, αεροδρόμια, σιδηροδρομικοί σταθμοί, εθνική οδός κ.λπ. (σε επίπεδο ανάλυσης συστήματος πόλεων)
- ακατάλληλη γεωμορφολογία, υψόμετρο και άλλα φυσικά στοιχεία που εμποδίζουν τη χωροθέτηση της υπηρεσίας στον συγκεκριμένο κόμβο
- άλλοι παράγοντες (Αργύρης, 1997 κ.α.).

¹⁴ Η συγκεκριμένη παράμετρος μπορεί σχετικά εύκολα να εισαχθεί στα υπάρχοντα μοντέλα που καλύπτει το λογισμικό με ορισμένες μετατροπές.

Είναι προφανές ότι η διαδικασία μπορεί να εκτελεστεί και αντίστροφα, δηλαδή να βρεθούν οι κόμβοι που πληρούν τα συγκεκριμένα (κατάλληλα) κριτήρια. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας απαλοιφής των ακατάλληλων κόμβων μπορεί να γίνει με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επάρκεια δεδομένων στο επίπεδο ανάλυσης του προβλήματος και που αφορά σε παραμέτρους όπως αυτές που προαναφέρθηκαν. Η συμβολή των ΓΣΠ στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι καθοριστική, διότι με απλά ερωτήματα (Simple Queries) επί της βάσεως δεδομένων είναι δυνατόν να βρεθούν αμέσως οι κατάλληλοι και ακατάλληλοι κόμβοι. Ένα υποθετικό παράδειγμα τέτοιου ερωτήματος θα μπορούσε να είναι το εξής (μπορεί να διατυπωθεί και αντιστρόφως):

(ΑΝ) ΧΡΗΣΕΙΕΣ ΓΗΣ = ΕΜΠΟΡΙΟ

(Η) ΧΡΗΣΕΙΕΣ ΓΗΣ = ΜΙΚΤΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

(ΚΑΙ) ΕΜΒΑΔΟ > 80

(ΚΑΙ) { ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ < 90.000.000

(Η) ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΟΙΚΙΑΣΗΣ < 500.000 }

(ΚΑΙ) ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΔΟΥ = ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ

(ΤΟΤΕ) ΚΟΜΒΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΣΤΑ ΥΠΟΨΗΦΙΑ ΚΕΝΤΡΑ

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι κόμβοι που δεν πληρούν τα κατάλληλα κριτήρια συνεχίζουν να συμμετέχουν στη λύση του προβλήματος ως κόμβοι ζήτησης. Επιπλέον πρέπει να διευκρινιστεί ότι μέσα από το περιβάλλον του λογισμικού υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής των τιμών EXCLUDE ή ακόμα και να παρακαμφθεί εντελώς αυτό το πεδίο (όλοι οι κόμβοι υποψήφια κέντρα), προκειμένου να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα και να γίνουν διάφορες συγκρίσεις. Εξάλλου υπάρχει και η δυνατότητα να αφήσουμε το πεδίο αυτό κενό εξ αρχής (δηλαδή κάθε κόμβος να έχει τιμή EXCLUDE = 0) χωρίς να περιορίζεται η διαδικασία χωροθέτησης. Το τελευταίο είναι προτιμότερο σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα για το σύνολο των κόμβων.

(γ) Δημιουργία πεδίου υφιστάμενων υπηρεσιών (FIXED)

Στο τρίτο στάδιο δημιουργείται το πεδίο FIXED το οποίο θα αποτελείται από ακέραιους αριθμούς το οποίο, ομοίως με το στάδιο (β), θα παίρνει τις τιμές 0 ή 1. Οι

κόμβοι για τους οποίους τίθεται η τιμή $FIXED = 1$ και βρίσκονται στην αρχική λύση του προβλήματος¹⁵, δεν αντικαθίστανται από άλλα υποψήφια κέντρα κατά τη διαδικασία επίλυσης των μοντέλων χωροθέτησης - κατανομής. Μία προφανής εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι όταν υπάρχουν ήδη χωροθετημένα παραρτήματα της υπηρεσίας που μελετάται (π.χ. σχολεία) και δεν είναι δυνατό ή σκόπιμο να κλείσουν προκειμένου να δημιουργηθούν νέα στη θέση τους. Μια συνηθισμένη πρακτική είναι στα υφιστάμενα χ παραρτήματα μιας υπηρεσίας να προστεθούν ψ νέα παραρτήματα κατά τον βέλτιστο –ανάλογα με το μοντέλο– τρόπο κρατώντας τις θέσεις των χ σταθερές. Έπειτα, εάν κρίνεται σκόπιμο, μπορεί να τεθεί (κατευθείαν μέσω του λογισμικού) η τιμή $FIXED = 0$ στα $\lambda \subset \chi$ παραρτήματα που αποδεικνύονται τα λιγότερο αποδοτικά με βάση το εκάστοτε μοντέλο και να επαναληφθεί η διαδικασία της χωροθέτησης.

Αντίστοιχα με το πεδίο EXCLUDE έτσι και το πεδίο FIXED μπορεί να παρακαμφθεί από το λογισμικό προκειμένου να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα και να γίνουν αντίστοιχες συγκρίσεις. Όμοια, υπάρχει η δυνατότητα να μείνει το πεδίο αυτό κενό εξαρχής (δηλαδή κάθε κόμβος να έχει τιμή $FIXED = 0$).

(δ) Δημιουργία πεδίου ονομασίας κόμβων (NAME)

Στο τελευταίο στάδιο δημιουργείται το πεδίο NAME το οποίο θα αποτελείται από αλφαριθμητικές τιμές (γράμματα, αριθμούς κ.λπ.) και το οποίο μπορεί να περιέχει την ονομασία ή άλλα χρήσιμα στοιχεία κάθε κόμβου. Σε επίπεδο ανάλυσης πόλης, το πεδίο θα μπορούσε να περιέχει τη συμβολή των οδών στις οποίες βρίσκεται ο κόμβος, ενώ σε επίπεδο ανάλυσης συστήματος πόλεων οι τιμές του πεδίου συνήθως αναφέρονται στο αντίστοιχο τοπωνύμιο. Αντιστοίχως με τα προηγούμενα πεδία, το πεδίο NAME μπορεί να αφεθεί κενό ($NAME = ""$) και οι τιμές του να συμπληρωθούν ή να αλλάξουν από το περιβάλλον του λογισμικού.

Όλα τα πεδία που αναφέρθηκαν από το (α) μέχρι το (δ) είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν στη σημειακή βάση δεδομένων, έστω και κενά. Εξάλλου είναι δυνατόν να υπάρχουν πολλά τέτοια πεδία για κάθε στάδιο (α) - (δ) με άλλο όνομα, οπότε κατά την εισαγωγή του υποβάθρου στο λογισμικό, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια από αυτά θα χρησιμοποιήσει.

¹⁵ Περισσότερες πληροφορίες για τον καθορισμό της αρχικής λύσης βλέπε κ. 4.5.3.3

4.4 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Τρίπολη ως διοικητικό και οικονομικό κέντρο της Αρκαδίας, αλλά και ως έδρα της Περιφέρειας Πελοποννήσου εμφανίζει σχετικά αυξημένη οικονομική δραστηριότητα, η οποία επικεντρώνεται κυρίως στον τομέα των υπηρεσιών και του εμπορίου, ενώ η κομβική της θέση στο κέντρο της Πελοποννήσου και η άριστη οδική της σύνδεση με τα εξαγωγικά κέντρα της χώρας, της προσδίδουν επιπλέον στρατηγικά πλεονεκτήματα για περαιτέρω ανάπτυξη.

Στο πλαίσιο της πόλης της Τρίπολης ο πρωτογενής τομέας της οικονομίας δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον αφού και το δυναμικό του οικονομικά ενεργού πληθυσμού ως ποσοστό είναι πολύ μικρό μέσα στο πολεοδομικό συγκρότημα. (5,5% ή 409 άτομα). Στα δημοτικά διαμερίσματα που συνενώθηκαν πρόσφατα με το δήμο Τρίπολης τα αντίστοιχα ποσοστά είναι μεγαλύτερα.

Η περιοχή της Τρίπολης παρουσιάζει μικρή βιομηχανική δραστηριότητα που βασίζεται κυρίως σε τοπικές πρώτες ύλες (μάρμαρα, ξυλεία και φελλός, είδη διατροφής, οινοστάφυλλοι, τέφρα λιγνίτη - για τσιμέντο), στην κατασκευή ενδυμάτων και υποδημάτων, καθώς και στη συμπληρωματική επεξεργασία μεταλλικών προϊόντων. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο παραδοσιακός χαρακτήρας των προϊόντων που παράγονται, ενώ η μεγάλη πλειοψηφία των μονάδων απασχολεί κάτω από 10 άτομα. Ο χαρακτήρας της μεταποίησης παραμένει κατά βάση βιοτεχνικός. Ο δευτερογενής τομέας παραγωγής έχει ποσοστό 32,5% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού και 2.617 άτομα το 1991.

Στην περιοχή της Τρίπολης οι τριτογενείς λειτουργίες (εμπόριο, υπηρεσίες, επικοινωνίες, μεταφορές) στάθηκαν πιο κερδισμένες από τις εξελίξεις της τελευταίας 20-ετίας. Από τα 56 αστικά κέντρα της χώρας η Τρίπολη κατατάσσεται 3η ως προς το ποσοστό επί του συνόλου του πληθυσμού που απασχολείται στον τριτογενή τομέα. Ειδικότερα ο τριτογενής τομέας αναδεικνύεται ο κυρίαρχος τομέας παραγωγής με ποσοστό 62% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού για το 1991.

Σαν πρωτεύουσα νομού και περιφέρειας η Τρίπολη στεγάζει πλήθος διοικητικών υπηρεσιών που έχουν αυξημένη συμβολή στην οικονομική ανάπτυξη, τόσο άμεσα, όσο και έμμεσα από την αποτελεσματικότητα των τεχνικών και οργανωτικών λειτουργιών τους. Οι υπηρεσίες υποδομής και ελευθέρων επαγγελματιών είναι γενικά ικανοποιητικές στην Τρίπολη με τάσεις συνεχούς εξέλιξης που επιταχύνονται από την

εξαγγελθείσα λειτουργία των πρώτων τμημάτων του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου (<http://www.tripolis.gr/Economy/index.htm>).



4.4.2 ΥΠΟΒΑΘΡΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα υπόβαθρα της περιοχής μελέτης βρίσκονται σε μορφή Shapefile (*.shp) και περιέχουν τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων σε μορφή D-Base (*.dbf). Η μορφή τους, με βάση τις προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν έχει ως εξής:

(α) Οικοδομικά Τετράγωνα (ΟΤ)

Τα ΟΤ της περιοχής μελέτης περιέχουν τον πληθυσμό με βάση την απογραφή του 2001. Ο πληθυσμός αποτελεί τη βασική ζήτηση και η κατανομή της στους κόμβους του οδικού δικτύου (στο σημειακό υπόβαθρο) έγινε με βάση τη μέθοδο που αναλύθηκε παραπάνω. Το αντίστοιχο πεδίο ζήτησης ονομάστηκε POP2001 (βλ. *χάρτη 4-A1,4-A2*).

(β) Οδικό δίκτυο

Το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης αποτελείται από 2.256 τόξα στα οποία αντιστοιχούν 1.358 κόμβοι. Για τα δεδομένα των προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής μπορεί να θεωρηθεί ένα δίκτυο μεσαίου μεγέθους. Τα βασικά πεδία που περιλαμβάνει είναι το LENGTH, το οποίο περιέχει το μήκος κάθε τόξου σε μέτρα, τα FNODE_ και TNODE_ τα οποία περιέχουν τον κόμβο αρχής (από) και τον κόμβο τέλους (προς) κάθε τόξου, το πεδίο ONWAY το οποίο περιέχει πληροφορίες για τις κατευθύνσεις των τόξων (B = διπλής κατεύθυνσης, n = αδιάνοικτος, ft = κίνηση μόνο κατά τη φορά από → έως, tf = κίνηση μόνο κατά τη φορά έως → από)¹⁶. Επιπλέον,

¹⁶ Συνήθως τα αρχικά πεδία FNODE_ και TNODE_ υπολογίζονται αυτόματα με βάση τη φορά που έχουν σχεδιαστεί τα τόξα του δικτύου.

υπάρχουν τα πεδία L_T_ADD, L_F_ADD, R_T_ADD και R_L_ADD τα οποία περιέχουν την αρίθμηση των οδών για κάθε πλευρά τμήματος οδού (τόξου), το πεδίο NAME το οποίο περιέχει την ονομασία της οδού και το πεδίο TYPE_ που αναφέρεται στην κατηγορία της οδού (Ave = ταχείας κυκλοφορίας, St = τοπικής σημασίας, Tcr = ήπιας κυκλοφορίας, Ped = πεζόδρομος και Unpav = αδιάνοικτος). Επίσης υπάρχουν και τα πεδία DR_ID (αύξων αριθμός κάθε τόξου), ZIP (ταχυδρομικός κώδικας) και CITY (TRIPOLI).

Με βάση τα παραπάνω πεδία προέκυψαν 2 νέα (COST_FT και COST_TF) τα οποία περιέχουν το κόστος διέλευσης κάθε τόξου σε δευτερόλεπτα, λαμβάνοντας υπόψη την κατεύθυνση της κίνησης και την κατηγορία της οδού. Πρέπει να τονιστεί ότι στις παρυφές του δικτύου υπάρχουν αδιάνοικτοι δρόμοι λόγω των οποίων δεν εξασφαλίζεται πρόσβαση σε ορισμένους κόμβους του προβλήματος. Δεδομένου ότι η ζήτηση αναφέρεται στα έτη 2001 - 2011 - 2022 και παράλληλα ο στόχος των περισσότερων χωροθετικών προτάσεων πρέπει να είναι μακροπρόθεσμος, θεωρήθηκε ότι οι συγκεκριμένοι δρόμοι έχουν διανοιχθεί, είναι τοπικής σημασίας και ότι η διέλευση των οχημάτων γίνεται και προς τις δυο κατευθύνσεις. Εναλλακτικά, προκειμένου να μην εμφανίζεται ακάλυπτη ζήτηση, θα μπορούσε να τεθεί η ζήτηση των απροσπέλαστων κόμβων ίση με 0 (στο σημειακό υπόβαθρο). Οι μέσες ταχύτητες που επιλέχθηκαν για κάθε κατηγορία οδού είναι οι εξής (βλ. και *χάρτη 4-A3*):

Πίνακας 4-1: Κατηγορίες οδικού δικτύου Τρίπολης

Κωδικός	Κατηγορία Οδού	Ταχύτητα
Ave	Λεωφόρος	39 χλμ./ώρα
St ή Unpav	Τοπικής σημασίας	24 χλμ./ώρα
Tcr	Ήπιας κυκλοφορίας	15 χλμ./ώρα
Ped	Πεζόδρομος	7.5 χλμ./ώρα

Πηγή Ιδία επεξεργασία

Όπως φαίνεται από τον *πίνακα 4-1*, έχει προκύψει ακόμα μια σύμβαση, δηλαδή η διέλευση των πεζοδρόμων με πολύ μικρή ταχύτητα. Αυτό είναι απαραίτητο κατά την εφαρμογή των μοντέλων, γιατί σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν αδύνατον να προσπελαστούν οι συγκεκριμένοι κόμβοι (ανεφοδιασμός καταστημάτων, οχήματα έκτακτης ανάγκης, εξυπηρέτηση παρόδιων κατοίκων). Εξάλλου, η μικρή ταχύτητα διέλευσης αποτρέπει την κίνηση μέσω του συστήματος των πεζοδρόμων εάν ο κόμβος αρχής ή τέλους δεν βρίσκεται αποκλειστικά πάνω σε πεζόδρομο.

4.4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Στα διαθέσιμα για την περιοχή μελέτης στοιχεία, υπήρχαν όλες οι υφιστάμενες υπηρεσίες της πόλης όπως φαίνεται στο *χάρτη 4-Α4* στο τέλος του κεφαλαίου. Από αυτές διαλέχθηκαν δυο αντιπροσωπευτικές κατηγορίες για τις οποίες θα αναλυθεί η υπάρχουσα κατάσταση και θα προταθούν χωροθετικές λύσεις με βάση το λογισμικό. Το σύνολο των υπηρεσιών είναι γεωκωδικοποιημένο (όνομα και αριθμός οδού) κατάλληλα με βάση το οδικό δίκτυο. Προκειμένου η θέση κάθε υπηρεσίας να είναι συμβατή με τα δεδομένα του προβλήματος, θεωρήθηκε ότι κάθε υπηρεσία βρίσκεται στον πλησιέστερο προς αυτή κόμβο του οδικού δικτύου. Ακολουθούν οι δυο διαφορετικές υπηρεσίες που θα εξεταστούν, καθώς και ο αντικειμενικός στόχος βάσει του οποίου θα αξιολογηθεί η υφιστάμενη κατάσταση και θα προταθούν βελτιώσεις.

4.4.3.1 ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Με βάση τα Πολεοδομικά Πρότυπα ΕΠΑ «Το Δημοτικό σχολείο χωροθετείται μέσα στα όρια της Πολεοδομικής ενότητας με βασικό κριτήριο την ακτίνα εξυπηρέτησης (maximum 800m). [...] Ως βιώσιμη μονάδα θεωρείται το 6θέσιο Δημοτικό με δυναμικό 180 μαθητές [...] οι οποίοι αντιστοιχούν σε πληθυσμό 1800 κατοίκων (από στατιστικά δεδομένα οι ηλικίες της δημοτικής εκπαίδευσης (6-11 χρόνων) αντιστοιχούν στο 10% του πληθυσμού. [...] Ψυχολογικοί και κοινωνικοί παράγοντες που επηρεάζουν την οργάνωση σωστής σχολικής ζωής απαγορεύουν την πέρα των 360 παιδιών ανάπτυξη του Δημοτικού (12θέσιο). Η επιλογή χωροθέτησης 6θέσιου ή 12θέσιου Δημοτικού σε ήδη κατοικημένες περιοχές και τηρούμενου ως βασικού κριτηρίου της ακτίνας εξυπηρέτησης θα εξαρτηθεί τόσο από την πυκνότητα δόμησης όσο και από το προσφερόμενο γήπεδο (θέση - επιφάνεια).» (ΥΧΟΠ 1983).

Παρακάτω θα φανεί ότι το ποσοστό των ηλικιών 6-11 ετών έχει μειωθεί περίπου στο 6,3% του πληθυσμού και αναμένεται να μειωθεί στο 5,2% μέχρι το 2022 (βλ. *πίνακα 4-2*). Από τον ίδιο πίνακα φαίνεται ότι το μέσο δυναμικό των Δημοτικών είναι κατά πολύ χαμηλότερο των προδιαγραφών, ακόμα και κατά την απογραφή του 1981. Αυτό έχει ως συνέπεια τη διαρκή μείωση (κλείσιμο) των δημοτικών της χώρας. Χαρακτηριστικό είναι ότι κατά την περίοδο 1981-2001 το πλήθος των Δημοτικών έχει μειωθεί κατά 31,8% ενώ το μέσο δυναμικό ανά σχολείο έχει ανέβει από 95,2 μαθητές το 1981 σε 104,2 μαθητές το 2001.

Ο Δήμος Τρίπολης έχει εγκατεστημένα 12 δημοτικά σχολεία συν ένα ειδικό νηπιαγωγείο - δημοτικό το οποίο δεν θα ληφθεί υπόψη στην παρούσα ανάλυση. Παρακάτω θα εξεταστεί το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχουν τα ανωτέρω εκπαιδευτικά ιδρύματα στο σύνολο των μαθητών (6-12 ετών) της πόλης όσον αφορά στη μέση και μέγιστη απόσταση που καλείται να διανύσει κάθε μαθητής με τα πόδια για να φτάσει στο σχολείο όπου έχει κατανεμηθεί (θεωρείται ότι τα δημοτικά εξυπηρετούν μόνο μαθητές της πολεοδομικής ενότητας Τρίπολης). Επιπλέον, αναλόγως με τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, θα διερευνηθεί η δυνατότητα προσθήκης, αφαίρεσης ή αντικατάστασης ενός ή περισσότερων σχολείων προκειμένου να βελτιωθεί η υπάρχουσα κατάσταση λαμβάνοντας υπόψη και τη μελλοντική ζήτηση που θα προκύψει. Γι' αυτό το σκοπό θα εξεταστούν διάφορα μοντέλα που υποστηρίζει το λογισμικό καθώς και συνδυασμοί αυτών (πολυμεταβλητό μοντέλο). Η κατανομή των μαθητών στα σχολεία θα γίνει με δυο μεθόδους:

1. κατανομή κάθε μαθητή στο πλησιέστερο σχολείο *ασχέτως* από τη χωρητικότητά του
2. κατανομή κάθε μαθητή στο πλησιέστερο σχολείο με προϋπόθεση ότι *δεν υπερβαίνει* τη χωρητικότητά του (αλλιώς στο 2ο πλησιέστερο σχολείο κ.ο.κ.)

Ο αριθμός των μαθητών από 6-12 ετών για το έτος 2001 και τα έτη προβολής 2011 και 2022 θα υπολογιστεί επί του συνολικού πληθυσμού της Τρίπολης με βάση τα ποσοστά που προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα της ΕΣΥΕ για το σύνολο της χώρας:

Πίνακας 4-2: Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού μαθητών δημοτικής εκπαίδευσης

Έτος	1981	1991	2001	2011	2022
Δημοτικά Σχολεία	9.461	7.653	6.212	6.454	5.260
Μαθητές	900.641	813.353	647.446	677.600	552.300
Μέσο δυναμικό σχολ.	95,19	106,28	104,23	105	105
Σύνολο πληθυσμού	9.677.336	10.134.534	10.215.539	10.712.400	10.573.800
% Μαθ. επί του πληθ.	9,32 %	8,03 %	6,34 %	6,33 %	5,22 %

Πηγή: Απογραφές ΕΣΥΕ 1981, 1991, 2001, προβολές ΕΣΥΕ για τα έτη 2011, 2022.

Με εφαρμογή των παραπάνω δεδομένων στην περιοχή μελέτης προκύπτουν τα αντίστοιχα δεδομένα για τα έτη 2001 - 2011 - 2022:

Πίνακας 4-3: Χαρακτηριστικά δημοτικής εκπαίδευσης (Τρίπολη)

Έτος	2001	2011	2022
Δημοτικά Σχολεία	12	12 (?)	12 (?)
Μαθητές Δημοτ. Εκπαιδ.	1.618	1.458	1.187
Μέσο δυναμικό σχολείου	134,8	121,5 (?)	98.92 (?)
Σύνολο πληθυσμού	25.520	23.039	22.741
% Μαθ. επί του πληθυσμού	6,34 %	6,33 %	5,22 %

Πηγή: ΕΣΥΕ, Ιδία επεξεργασία

Με βάση τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι το υφιστάμενο κτιριακό δυναμικό δεν επαρκεί για τις ανάγκες της περιοχής μελέτης τουλάχιστον μέχρι το 2011 (εάν το επιθυμητό όριο χωρητικότητας είναι περίπου 100 μαθητές ανά σχολείο). Βέβαια το γεγονός ότι έγινε χρήση του (πιθανόν διογκωμένου) πληθυσμού απογραφής καθώς και του αντίστοιχου ποσοστού μαθητών επί του πληθυσμού που προκύπτουν για το σύνολο της χώρας ενδέχεται να δημιουργεί κάποιες αλλοιώσεις όσον αφορά στο πραγματικό σύνολο των μαθητών της περιοχής μελέτης. Επίσης να αναφερθεί ότι ο πολεοδομικός κανονισμός περιορίζει τη μέγιστη χωρητικότητα των δημοτικών σχολείων σε 180 μαθητές (6 x 30) και τη μέγιστη ακτίνα εξυπηρέτησης τα 800 μέτρα.

Κάνοντας χρήση των παραπάνω ποσοστών δημιουργήθηκαν τρία νέα πεδία ζήτησης στο σημειακό υπόβαθρο (κόμβοι οδικού δικτύου) και συγκεκριμένα τα D2001, D2011 και D2022 με βάση το πεδίο POP2001 και την αντίστοιχη προβολή του πληθυσμού στα έτη 2011 και 2022. Κατόπιν έγινε πολλαπλασιασμός με τα αντίστοιχα ποσοστά που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα προκειμένου η ζήτηση να μετατραπεί σε μαθητές δημοτικής εκπαίδευσης. Επιπλέον, για κάθε υφιστάμενο δημοτικό σχολείο η τιμή FIXED του πλησιέστερου προς αυτό κόμβου του οδικού δικτύου πήρε την τιμή 1. Ειδικά για τις περιπτώσεις των δημοτικών σχολείων 3ο – 10ο και 11ο – 12ο τα οποία συστεγάζονται, λήφθηκαν αντίστοιχα οι δυο πλησιέστεροι κόμβοι. Συνολικά για 12 κόμβους τέθηκε η τιμή FIXED = 1. Επίσης, για τους συγκεκριμένους κόμβους τίθεται ως τιμή του πεδίου NAME το όνομα του σχολείου (π.χ. 12ο ΔΗΜΟΤΙΚΟ). Όσον αφορά στο πεδίο EXCLUDE αυτό αφέθηκε κενό λόγω έλλειψης στοιχείων που θα

οδηγούσαν στον αποκλεισμό κάποιων κόμβων ως ακατάλληλων. Σε επόμενο υποκεφάλαιο θα γίνει χρήση της μεθόδου αποκλεισμού κόμβων μέσα από το λογισμικό.

4.4.3.2 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ

Η δεύτερη υπηρεσία που θα εξεταστεί είναι η αντιμετώπιση έκτακτων ιατρικών περιστατικών και συγκεκριμένα η αξιολόγηση και βελτίωση της χρονοαπόστασης που απαιτείται για τη διακομιδή αυτών στο πλησιέστερο νοσοκομείο. Τα πολεοδομικά πρότυπα ΕΠΑ δεν δίνουν κάποιες κατευθύνσεις σ' αυτό τον τομέα, αλλά αναφέρονται στη χωροθέτηση των ίδιων των μονάδων υγείας (τα κριτήρια εστιάζονται κυρίως στη μακροκλίμακα που ορίζεται από την “εμβέλεια” –π.χ. Νομαρχιακό Νοσοκομείο– της μονάδας υγείας). Είναι προφανές ότι η κακή χωροθέτηση των ασθενοφόρων στο χώρο μπορεί κάλλιστα να σημαίνει και μεγαλύτερα ποσοστά θνησιμότητας επί του συνόλου των περιστατικών. Η Τρίπολη διαθέτει ένα Γενικό Νοσοκομείο το οποίο βρίσκεται δυτικά της πόλης και εξυπηρετεί την ίδια την πόλη και την ευρύτερη περιοχή. Το νοσοκομείο, βάσει τελευταίων στοιχείων, διαθέτει 7 ασθενοφόρα στο εσωτερικό του καθώς και 1 ασθενοφόρο το οποίο περιφέρεται στην πόλη χωρίς να βρίσκεται σε κάποιο σταθερό σημείο. Στην παρούσα αξιολόγηση θα γίνει περιορισμός των πιθανών περιστατικών μόνο στην πόλη της Τρίπολης (μικροκλίμακα).

Τα βασικά μοντέλα που θα εξεταστούν είναι:

1. Κάλυψη όλων των κόμβων του δικτύου ούτως ώστε η χρονοαπόσταση που απαιτείται κατά τη διαδρομή [από] πλησιέστερο ασθενοφόρο [προς] περιστατικό, να είναι μικρότερη από μία δεδομένη χρονοαπόσταση (Μετατροπή του μοντέλου Set Covering)
2. Ελαχιστοποίηση της μέγιστης χρονοαπόστασης που απαιτείται κατά τη διαδρομή [από] πλησιέστερο ασθενοφόρο [προς] περιστατικό [προς] πλησιέστερο νοσοκομείο (Μετατροπή του μοντέλου P-Κέντρο)

Σε κάθε περίπτωση, θεωρείται ότι το νοσοκομείο διαθέτει τουλάχιστον ένα ασθενοφόρο στο εσωτερικό του το οποίο εξυπηρετεί τη γύρω περιοχή, ενώ οι πιο απομακρυσμένες περιοχές εξυπηρετούνται από χ κατάλληλα χωροθετημένα ασθενοφόρα ($\chi \geq 0$). Στη συγκεκριμένη ανάλυση θα θεωρηθεί ισοπίθανο το ενδεχόμενο να εμφανιστεί περιστατικό σε κάποιον κόμβο του δικτύου, επομένως η ζήτηση κάθε

κόμβου του προβλήματος θα ισούται με τη μονάδα. Παρ' όλα αυτά, η πραγματική ζήτηση κάθε κόμβου (πεδίο POP2001 της σημειακής βάσης δεδομένων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση εναλλακτικών θέσεων χωροθέτησης επί των παραπάνω μοντέλων λαμβάνοντας υπόψη και τη μέση χρονοαπόσταση σε σχέση με τον πραγματικό πληθυσμό. Όσον αφορά στα πεδία FIXED και EXCLUDE αυτά θα παραμείνουν κενά ενώ μέσω του λογισμικού θα θέσουμε την τιμή $FIXED = 1$ για τον κόμβο που βρίσκεται πλησιέστερα στο νοσοκομείο. Στο επόμενο υποκεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του λογισμικού, επιλύοντας παράλληλα τα δυο χωροθετικά προβλήματα της περιοχής μελέτης.

4.5 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

4.5.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Προκειμένου να λειτουργήσει το λογισμικό απαιτούνται ορισμένες βιβλιοθήκες της Visual Basic οι οποίες βρίσκονται μαζί με το εκτελέσιμο αρχείο του προγράμματος στο φάκελο **SETUP** του CD το οποίο επισυνάπτεται στην παρούσα διπλωματική. Αφού εκτελεστεί το αρχείο **Setup.exe** το λογισμικό είναι έτοιμο προς χρήση. Εάν υπάρχει ήδη εγκατεστημένη η Visual Basic (έκδοση 6.0+) στον συγκεκριμένο Η/Υ τότε η διαδικασία εγκατάστασης δεν είναι απαραίτητη και είναι δυνατή η απευθείας εκτέλεση του αρχείου **S-Distance.exe**. Στο CD περιλαμβάνονται και τα υπόβαθρα της περιοχής μελέτης, κατάλληλα προετοιμασμένα για απευθείας χρήση στο λογισμικό.

Αρχικά δημιουργούμε ένα φάκελο όπου τοποθετούμε τα υπόβαθρα της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα το υπόβαθρο του οδικού δικτύου (**TR_NET.dbf**) και το σημειακό υπόβαθρο (**TR_NOD.dbf**). Στο CD που συνοδεύει την παρούσα διπλωματική, τα υπόβαθρα αυτά είναι κατάλληλα προετοιμασμένα όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Στο συγκεκριμένο CD τα υπόβαθρα στερούνται των αντίστοιχων αρχείων που απαιτούνται για την επεξεργασία τους σε περιβάλλον ΓΠΣ προκειμένου να προστατευθεί η πνευματική ιδιοκτησία του συντάκτη τους (Νεκτάριος Ανδριανάκος). Παρ' όλα αυτά, βρίσκονται στη διάθεση οποιουδήποτε τα θελήσει, με την προϋπόθεση να χρησιμοποιηθούν μόνο για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Εξάλλου το λογισμικό μπορεί να λειτουργήσει αφενός μεν με οποιαδήποτε άλλα υπόβαθρα έχουν προετοιμαστεί κατάλληλα, αφετέρου δε παρέχεται η δυνατότητα άμεσης παραγωγής τυχαίων δεδομένων ούτως ώστε ο χρήστης να μπορεί να πειραματιστεί ελεύθερα με τα προσφερόμενα μοντέλα και αλγόριθμους.

4.5.2 ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

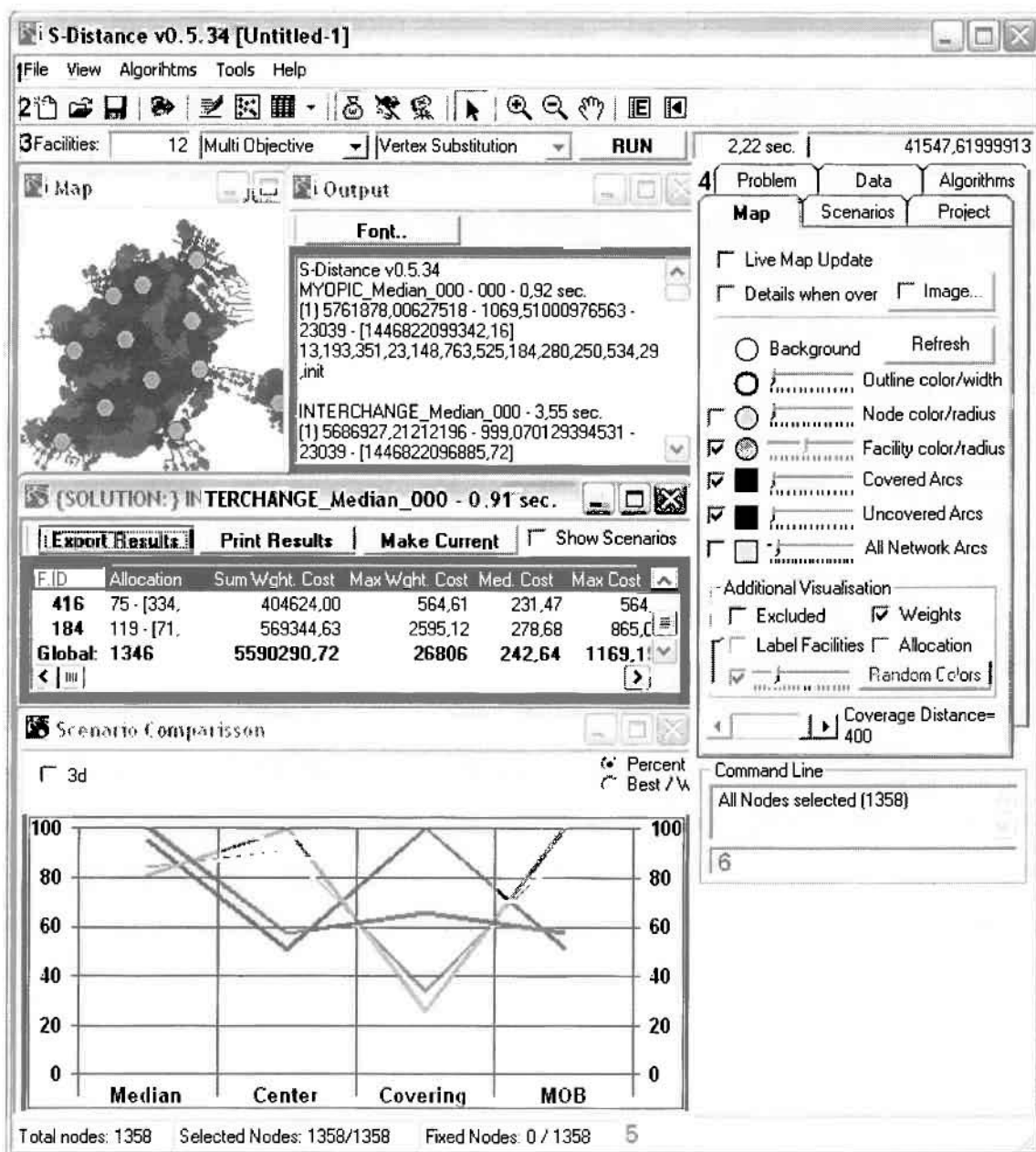
Το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού, το οποίο εμφανίζεται αμέσως αφού εκτελέσουμε το αρχείο S-Distance.exe (εικόνα 4-1), αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:

1. Μπάρα μενού εντολών από την οποία μπορούμε να εισαγάγουμε κάποιο υπόβαθρο, να αποθηκεύσουμε δεδομένα, να τρέξουμε κάποιο υπο-πρόγραμμα και άλλα που θα αναφερθούν παρακάτω
2. Μπάρα εργαλείων η οποία βρίσκεται κάτω από την μπάρα μενού εντολών και παρέχει γρήγορη πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες του λογισμικού καθώς και κουμπιά ελέγχου της χαρτογραφικής πληροφορίας (επιλογή στοιχείου, σμίκρυνση εικόνας κ.λπ.)
3. Μπάρα επιλογής τρέχοντος μοντέλου και αντίστοιχου αλγορίθμου η οποία βρίσκεται κάτω από την μπάρα εργαλείων και εκτός από την επιλογή του μοντέλου και του αλγορίθμου που θα χρησιμοποιηθεί για τη χωροθέτηση, χρησιμοποιείται και για την εισαγωγή του αριθμού των υπηρεσιών τα οποία πρόκειται να χωροθετηθούν (πεδίο Facilities). Το κουμπί [RUN] χρησιμοποιείται για να εκτελεστεί το επιλεγμένο ζεύγος [Μοντέλο] [Αλγόριθμος] για τον παραπάνω αριθμό υπηρεσιών.
4. Καρτέλα ιδιοτήτων η οποία βρίσκεται δεξιά της οθόνης και παρέχει στο χρήστη επιλογές για τα διαθέσιμα μοντέλα (Models) και αλγορίθμους (Algorithms), επιλογές και επισκόπηση των δεδομένων των υποβάθρων (Data), επιλογές χαρτογραφικής απεικόνισης (Map), δυνατότητα δημιουργίας και επισκόπησης διαφορετικών σεναρίων (Scenarios) καθώς και άλλες ρυθμίσεις του λογισμικού (Project).
5. Γραμμή κατάστασης η οποία βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης και παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πλήθος των κόμβων του προβλήματος, το πλήθος των υποψήφιων (Selected) κέντρων και το πλήθος των υφιστάμενων (Fixed) υπηρεσιών.
6. Γραμμή εντολών η οποία βρίσκεται κάτω από την καρτέλα ιδιοτήτων και επιτρέπει την ταχύτατη πρόσβαση σε λειτουργίες του λογισμικού, οι οποίες είναι διαθέσιμες σε μενού, ιδιότητες κ.λπ.

Στην κεντρική περιοχή εμφανίζεται, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη, η χαρτογραφική απεικόνιση της τρέχουσας κατάστασης χωροθέτησης, είτε ποσοτικές πληροφορίες που αφορούν στην τρέχουσα κατάσταση χωροθέτησης και στα διαθέσιμα σενάρια, είτε πληροφορίες σχετικά με τις ενέργειες που έχουν εκτελεστεί κάθε φορά που ο χρήστης τρέχει κάποιο μοντέλο.

Περαιτέρω περιγραφή των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων του λογισμικού θα γίνει κατά τη διαδικασία επίλυσης των χωροθετικών προβλημάτων της περιοχής μελέτης η οποία θα παρατίθεται με τη μορφή βημάτων που απαιτούνται από το χρήστη.

Εικόνα 4-1: S-Distance (Περιβάλλον Εργασίας)



4.5.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΥ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

4.5.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το πρώτο πρόβλημα αναφέρεται στην περίπτωση των δημοτικών σχολείων της περιοχής μελέτης όπως ορίστηκε στο υποκεφάλαιο 4.4.3.1. Η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων (υπόβαθρα) της περιοχής μελέτης έχει ως εξής:

1. Εκτελείται το λογισμικό (**S-Distance.exe**).
2. Επιλέγεται ένας φάκελος του Η/Υ ως φάκελος εργασίας (**Working Directory**) από το μενού **View → Properties**.
3. Γίνεται κλικ στο μενού **File → Import Coverage** ή εναλλακτικά στο κουμπί  της μπάρας εργαλείων.
4. Στην οθόνη που εμφανίζεται γίνεται αναίρεση της επιλογής **Reverse Cost Field** ενώ γίνεται επιλογή των **Fixed Nodes Field** και **Node Names**. Επιπλέον εισάγεται η τιμή **LENGTH** στο πεδίο **Default Cost Field** και η τιμή **D2001** στο πεδίο **Weights Field**. Οι υπόλοιπες επιλογές μένουν ως έχουν.
5. Γίνεται αναζήτηση του αρχείου **net_2.dbf** μέσω των επιλογών στο κάτω μέρος της οθόνης και γίνεται κλικ επάνω του. Γίνεται κλικ στο κουμπί **Import** μόλις αυτό ενεργοποιηθεί.
6. Μόλις *απενεργοποιηθεί* το κουμπί **Import** γίνεται αναζήτηση του αρχείου **trip_nod.dbf** μέσω των επιλογών στο κάτω μέρος της οθόνης και γίνεται κλικ επάνω του. Γίνεται εκ νέου κλικ στο κουμπί **Import** μόλις αυτό ενεργοποιηθεί.
7. Μόλις *απενεργοποιηθεί* το κουμπί **Import** γίνεται κλικ στο κουμπί **Done**¹⁷, εκτός αν οι ελάχιστες αποστάσεις πρέπει να υπολογιστούν με βάση τις συντεταγμένες των κόμβων (βλ. παρακάτω).

¹⁷ Μόλις γίνει επιτυχής εισαγωγή ενός υποβάθρου οδικού δικτύου όπως στο βήμα 4, η επιλογή (πάνω αριστερά) **Network Coverage** αλλάζει αυτόματα σε **Point Coverage**. Ο χρήστης θα μπορούσε εξ αρχής να διαλέξει την επιλογή **Point Coverage** και να εισαγάγει το σημειακό υπόβαθρο στην περίπτωση που δεν υπάρχει το κατάλληλο οδικό δίκτυο.

Εικόνα 4-2: Παράθυρο διαλόγου **Import Coverage** (Εισαγωγή Υποβάθρων)

Import Coverage

Select table to import:

- ☐ Network Coverage (*.dbf)
- ☒ Point Coverage (*.dbf)
 - Distance Metric:
 - ☒ Network
 - ☐ Manhattan
 - ☐ Euclidian
 - ☐ Lp p=10
 - ☐ Polar Degrees
 -
 - ☐ Round Distances

Properties:

- Default Cost Field: LENGTH *
- Reverse Cost Field: COST_TF
- ☒ Weights Field: D2001 *
- ☐ Exclusion Field: EXCLUDE
- ☒ Fixed Nodes Field: FIXED
- ☐ Fixed Cost Field: COST_FIX
- ☒ Node Names: NAME
- ☒ X-Coord. Field: X COORD
- ☒ Y-Coord. Field: Y COORD
- ☐ Road Category: CATEGORY

File Explorer:

- C:\
- Users
- Stavros
- ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
- TR2

Selected files: net_2.dbf, trip_nod.dbf

Buttons: Cancel, Import, Done

Preview Map: A map showing a network of points.

Status Bars:

- Total nodes: 1358
- Selected Nodes: 1358 / 1358
- Fixed Nodes: 12 / 1358

4.5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ

Απαραίτητο δεδομένο για οποιοδήποτε μοντέλο χωροθέτησης είναι ο πίνακας ελαχίστων αποστάσεων για κάθε ζεύγος [κόμβος ζήτησης] – [υποψήφιο κέντρο] κατά τη φορά από και προς το υποψήφιο κέντρο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, υπάρχουν συνολικά 1.358 κόμβοι οι οποίοι αποτελούν ταυτόχρονα κόμβους ζήτησης αλλά και υποψήφια κέντρα. Επομένως, ο πίνακας ελαχίστων αποστάσεων που θα προκύψει θα είναι διαστάσεων (1.358 x 1.358). Στην περίπτωση που είναι επιθυμητό οι ελάχιστες αποστάσεις να υπολογιστούν με βάση τις συντεταγμένες των σημείων (π.χ. όταν δεν υπάρχει το υπόβαθρο οδικού δικτύου ή ο διαθέσιμος χρόνος για την επίλυση του προβλήματος είναι περιορισμένος) τότε πριν από το βήμα 7 της διαδικασίας 4.5.3.1 γίνεται κλικ στην επιθυμητή συνάρτηση απόστασης (Distance Metric) του παραθύρου Import Coverage (Euclidian: ευκλείδειες αποστάσεις ή LP=2, Manhattan: παραλληλογραμικές αποστάσεις ή LP=1, LP=x καθοριζόμενο από το χρήστη (βλ. κ.

2.3.1), και Polar Degrees: πολικές συντεταγμένες – δεν έχουν συμπεριληφθεί ακόμα). Έπειτα γίνεται κλικ στο κουμπί Calculate και μετά στο κουμπί Done. Σ' αυτή την περίπτωση η επόμενη διαδικασία παραλείπεται.

Στην περίπτωση που υπάρχει οδικό δίκτυο χρειάζεται άλλος ένας πίνακας ίδιων διαστάσεων ο οποίος θα περιέχει τους προηγούμενους κόμβους μέσω των οποίων προσεγγίζεται κάθε κόμβος από τους υπόλοιπους. Χωρίς τον τελευταίο πίνακα είναι αδύνατον να παρουσιαστούν γραφικά οι βέλτιστες διαδρομές. Στο λογισμικό έχουν υλοποιηθεί οι αλγόριθμοι του Dijkstra και Floyd για τον υπολογισμό των ελαχίστων αποστάσεων και των προηγούμενων κόμβων. Ο δεύτερος είναι ταχύτερος για πυκνά δίκτυα (ακμές $\approx$ κόμβοι²), ενώ ο δεύτερος είναι ταχύτερος για αραιά (ρεαλιστικά) δίκτυα (ακμές $\ll$ κόμβοι³). Στο λογισμικό ως προεπιλογή έχει τεθεί ο αλγόριθμος του Dijkstra ενώ η μετάβαση στον αλγόριθμο του Floyd γίνεται από το μενού **Algorithms** → **Shortest Paths**. Οι ελάχιστες αποστάσεις υπολογίζονται ως εξής:

1. Από την μπάρα επιλογής επιλέγεται το μοντέλο [**Shortest Paths**] 
2. Γίνεται κλικ στο κουμπί **RUN** που βρίσκεται επάνω στην μπάρα επιλογής
3. Κατά τη διάρκεια των υπολογισμών εμφανίζεται το παράθυρο **Shortest Paths** όπου διαγράφεται η πορεία του αλγορίθμου (το κουμπί **RUN** έχει πλέον μετονομαστεί σε **STOP** με το οποίο διακόπτεται η πορεία του αλγορίθμου). Προκειμένου να μην καθυστερούν οι υπολογισμοί, είναι δυνατόν να απενεργοποιηθεί η επιλογή **Live Update**. Μέσω των πλήκτρων F1, F2 και F3 γίνεται εναλλαγή μεταξύ του αρχικού πίνακα, του πίνακα ελαχίστων αποστάσεων και του πίνακα των προηγούμενων κόμβων αντίστοιχα, ενώ με τις κυλιόμενες ράβδους γίνεται μετακίνηση στο εσωτερικό του κάθε πίνακα. (Το πεδίο **Weight** αναφέρεται στη ζήτηση κάθε κόμβου του προβλήματος)
4. Αφού ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί (σε H/Y P4-512MB χρειάστηκαν 9 δευτερόλεπτα για τους 1.358 κόμβους) είναι δυνατόν να αποθηκευτούν οι δυο πίνακες, ούτως ώστε να μην γίνεται η ίδια διαδικασία κάθε φορά που εκτελείται το λογισμικό. Από το μενού **File** → **Save Data** (ή εναλλακτικά από το κουμπί 

της μπάρας εργαλείων) αποθηκεύεται ο πίνακας ελαχίστων αποστάσεων, λ.χ. ως **LEN_01.dcf** και με τον ίδιο τρόπο αποθηκεύεται και ο πίνακας προηγούμενων κόμβων, λ.χ. ως **LEN_01.prd**¹⁸.

Εικόνα 4-3: Παράθυρο διαλόγου **Shortest Paths** (Πίνακας ελαχίστων αποστάσεων)

	102	103	104	105	Weight
Original Table F1					
Computed Table F2	0601	653,44	640,4	561,2	488,17
Predecessors Table F3	57,88	690,26	677,22	598,02	524,99
Live Update	55,79	788,17	775,13	695,9299	622,9
284	084,1	816,48	803,44	724,2399	651,21
285	812,4099	866,72	599,1	584,68	505,48
286	738,78	793,0901	551,38	505,71	426,51
287	864,25	918,5601	650,94	636,52	557,32
288	883,46	937,77	670,15	655,73	576,53
289	986,51	1040,82	773,2	758,78	679,58
	1006,91	1061,22	793,6	779,1801	699,98
					626,95

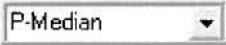
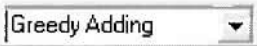
Σε κάθε περίπτωση, αφού γίνει πρώτα η εισαγωγή των υποβάθρων όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.5.3.1 μπορούν να ανακτηθούν οι αποθηκευμένοι πίνακες ελαχίστων αποστάσεων και προηγούμενων κόμβων μέσω του μενού **File → Load Data** ή κάνοντας κλικ στο κουμπί  της μπάρας εργαλείων, εναλλάξ για κάθε πίνακα.

4.5.3.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ

Οι περισσότεροι ευριστικοί αλγόριθμοι χωροθέτησης - κατανομής διαβάζουν κάποιου είδους αρχική λύση την οποία έπειτα καλούνται να βελτιστοποιήσουν. Η αρχική λύση θα μπορούσε να είναι αυθαίρετη, να ανταποκρίνεται στην υπάρχουσα κατάσταση, ή να προέρχεται από κάποιον άλλο αλγόριθμο. Εξάλλου, οποιαδήποτε λύση μπορεί να αξιολογηθεί άμεσα με βάση την επιθυμητή αντικειμενική συνάρτηση

¹⁸ Ο υπολογισμός των ελαχίστων αποστάσεων απαιτεί χρόνο αντίστοιχο με $t(n^2)$ στη χειρότερη περίπτωση, όπου n οι κόμβοι του προβλήματος. Σε αντίστοιχο υπόβαθρο του Βόλου που περιελάμβανε 3.803 κόμβους απαιτήθηκαν περίπου 3 λεπτά στον ίδιο Η/Υ. Ο αντίστοιχος χρόνος ανάκτησης των αποθηκευμένων δεδομένων ήταν λιγότερος από μισό λεπτό. Επίσης, ο πίνακας ελαχίστων αποστάσεων απαιτεί $n^2/2^9$ MB μνήμης και περίπου άλλον τόσο χώρο στο σκληρό δίσκο για αποθήκευση (περίπου $n^2/2^8$ MB χώρου στο δίσκο αν το δίκτυο δεν είναι κατευθυνόμενο), ενώ ο πίνακας προηγούμενων κόμβων απαιτεί $n^2/2^8$ MB μνήμη και περίπου $n^2/2^8$ MB χώρο στο σκληρό δίσκο για αποθήκευση σε κάθε περίπτωση.

(μοντέλο). Στο στάδιο αυτό θα δημιουργηθεί η αρχική λύση η οποία προέρχεται από τα 12 υφιστάμενα σχολεία. Ο ευκολότερος τρόπος για να δημιουργηθεί είναι με τον αλγόριθμο **Greedy Adding** (προσθετικός αλγόριθμος). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος εισάγει σε κάθε στάδιο το κέντρο εκείνο που βελτιώνει περισσότερο την αντικειμενική συνάρτηση, μέχρις ότου χωροθετηθούν P-κέντρα ή η αντικειμενική συνάρτηση περάσει κάποιο επιθυμητό κατώφλι. Εάν υπάρχουν υφιστάμενα κέντρα, έστω $B < P$ τότε αυτά χωροθετούνται αυτόματα και ο αλγόριθμος εισάγει $P - B$ επιπλέον κέντρα. Εάν $B = P$ δημιουργείται αυτόματα η υφιστάμενη κατάσταση (αυτή η λειτουργία ισχύει μόνο όταν το κουμπί **Fixed Nodes**  της μπάρας εργαλείων είναι επιλεγμένο). Τα βήματα αναλυτικότερα είναι:

1. Από την μπάρα επιλογής εισάγεται ο αριθμός των κέντρων (12) στο κουτί **Facilities** 
2. Από την μπάρα επιλογής επιλέγεται το μοντέλο **P-Median** 
3. Από την μπάρα επιλογής επιλέγεται ο αλγόριθμος **Greedy Adding** 
4. Γίνεται κλικ στο κουμπί **RUN**

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εμφανίζεται η γραφική απεικόνιση της λύσης στο παράθυρο **Map**. Μέσω της αντίστοιχης καρτέλας **Map** στα δεξιά της οθόνης είναι δυνατή η προσαρμογή των στοιχείων που απεικονίζονται στο χάρτη, μπορούν να αφαιρεθούν ή να προστεθούν επίπεδα πληροφορίας κ.λπ. Στην *εικόνα 4-4* φαίνονται αναλυτικά οι διαθέσιμες επιλογές. Σε περίπτωση που το παράθυρο του χάρτη έχει κλείσει, η επαναφορά του γίνεται μέσω του μενού **View → Map** ή κάνοντας κλικ στο κουμπί  της μπάρας εργαλείων. Προκειμένου να ρυθμίσουμε την απόσταση κάλυψης ρυθμίζουμε το χειριστήριο **Coverage Distance** της καρτέλας **Map** στην τιμή 400 ή 800 μέτρα (για το συγκεκριμένο πρόβλημα). Για μεγαλύτερη ακρίβεια, η ίδια τιμή μπορεί να εισαχθεί στην καρτέλα **Problem / Covering** στο κουτί **Coverage Distance** και κατόπιν να πατηθεί το πλήκτρο **Apply**. Κάθε φορά που χρειάζεται να εξαχθούν αποτελέσματα για μία συγκεκριμένη απόσταση κάλυψης, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Παρακάτω θα φανεί καλύτερα η χρησιμότητα αυτής της ρύθμισης.

Εικόνα 4-4: Ρυθμίσεις καρτέλας **Map** (Χάρτη):

(1) Αν επιλεγεί, ο χάρτης ανανεώνεται αυτόματα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αλγορίθμων.

(2) Αν επιλεγεί, οι ποσοτικές πληροφορίες της λύσης εμφανίζονται αυτόματα μετά την εκτέλεση των αλγορίθμων.

(3) Επιλογή χρώματος φόντου.

(4)-(9) Επιλογή χρώματος και μεγέθους των στοιχείων του χάρτη. Στο χάρτη εμφανίζονται μόνο τα επιλεγμένα στοιχεία. Συγκεκριμένα: 4=Περίγραμμα κόμβων, 5=Κόμβοι του προβλήματος, 6=Κέντρα της παρούσας λύσης, 7-8=Βέλτιστες διαδρομές από κόμβους στα αντίστοιχα κέντρα (μικρότερες και μεγαλύτερες από την ακτίνα κάλυψης αντίστοιχα).

(10) Εμφάνιση των αποκλεισμένων (ακατάλληλων) κόμβων.

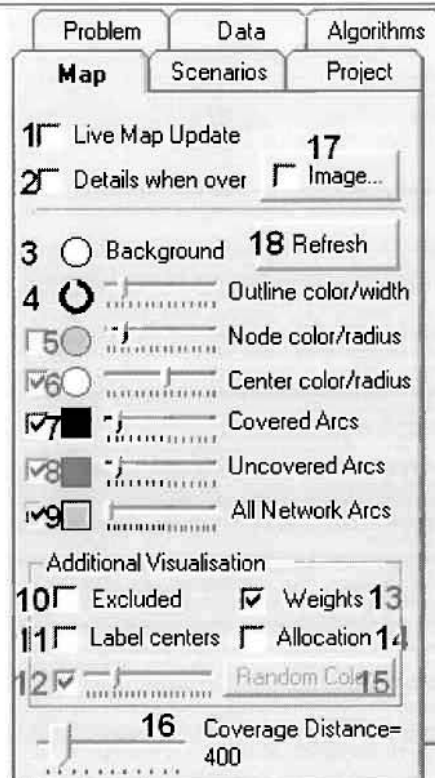
(11) Εμφάνιση της τιμής NAME ή του ID των κέντρων.

(12) Ενεργοποίηση και μέγεθος χρωματικής απεικόνισης κόμβων (ανεξάρτητο από τα 4, 5, 6).

→ όταν το (12) είναι ενεργό, τότε επιλέγοντας το (13) εμφανίζεται η αναλογία της ζήτησης στους κόμβους (ακτίνα κυκλικών δίσκων).

→ όταν το (12) είναι ενεργό, τότε η επιλογή του

(14) εμφανίζει χρωματικά την κατανομή των κόμβων στα αντίστοιχα κέντρα. Σε αυτή την περίπτωση, πατώντας το κουμπί (15) αλλάζουμε τυχαία τα αντίστοιχα χρώματα (μπορούμε να τα αλλάξουμε και χειροκίνητα, κάνοντας κλικ στο επιθυμητό κέντρο επάνω στο χάρτη (βλ. καρτέλα Data).



(16) Γρήγορη ρύθμιση της απόστασης κάλυψης και αυτόματη ενημέρωση του χάρτη. [→ όταν το (12) είναι ενεργό ενώ το (14) δεν είναι ενεργό, τα χρώματα των κόμβων διαβαθμίζονται ανάλογα με την απόστασή τους από το αντίστοιχο κέντρο (διαβαθμίσεις του μπλε). Εάν αυτή η απόσταση υπερβαίνει την απόσταση κάλυψης, οι διαβαθμίσεις είναι του κόκκινου].

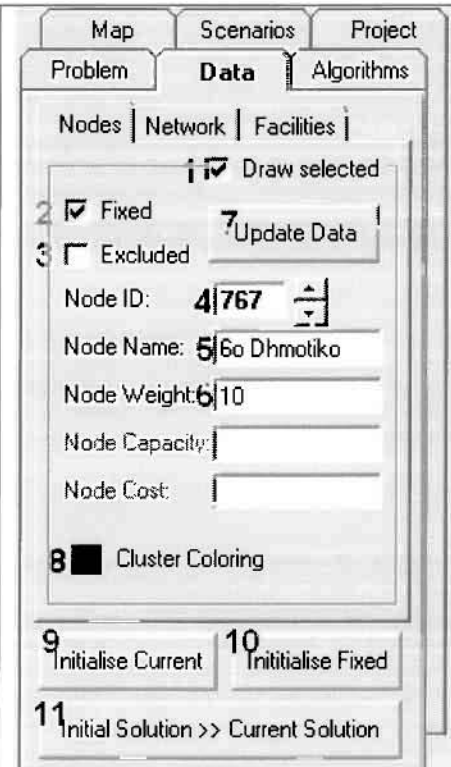
(17) Εισαγωγή εικόνας ως φόντο

(18) Ανανέωση του χάρτη (όταν π.χ. δεν εμφανίζεται στη σωστή θέση).

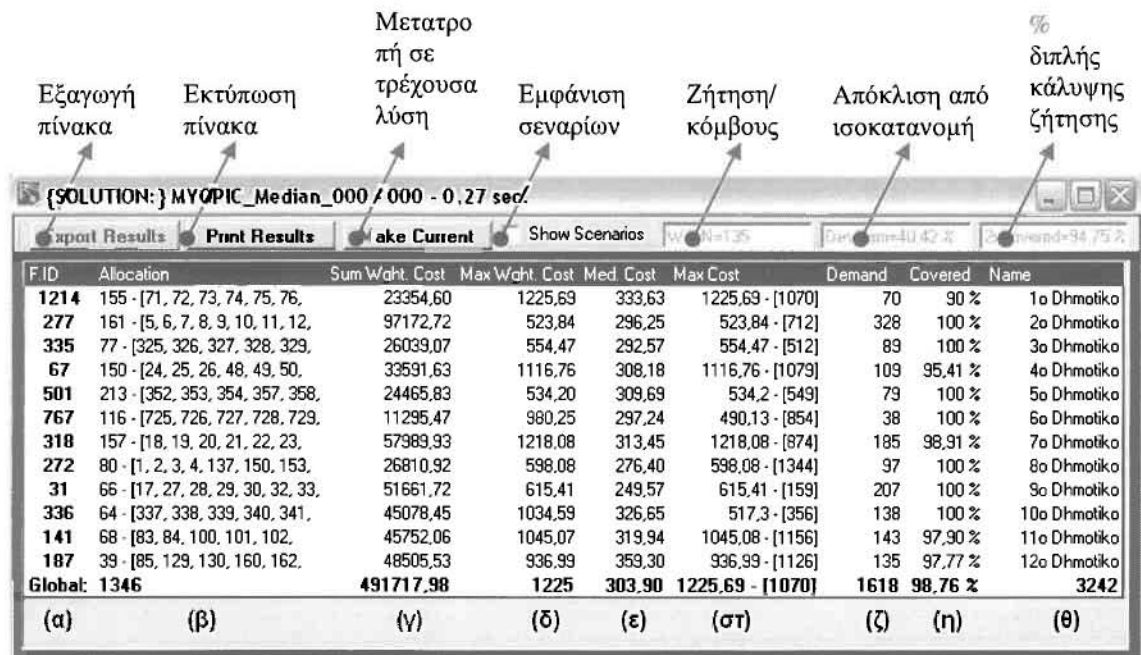
Πρέπει να τονιστεί ότι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει οποιαδήποτε αυθαίρετη λύση ως αρχική. Ένας τρόπος είναι να γραφούν τα ID των κόμβων που θα αποτελέσουν την αρχική λύση στη γραμμή εντολών (**Command Line**), η οποία βρίσκεται κάτω από την καρτέλα ιδιοτήτων. Η εισαγωγή των ID πρέπει να είναι της μορφής: **1,34,55,45,190,950,10,init**. Στο παραπάνω παράδειγμα ορίζεται μία αρχική λύση 7 υπηρεσιών των οποίων τα ID διαχωρίζονται με το σύμβολο “,”. Το τελικό “init” (initialize) ενεργοποιεί αυτή την εντολή. Γράφοντας μόνο την εντολή “init” μετατρέπεται η τρέχουσα λύση σε αρχική. Εναλλακτικά, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει στο χάρτη τους κόμβους που επιθυμεί να προσθέσει ή να αφαιρέσει στην τρέχουσα λύση, κρατώντας πατημένο το πλήκτρο **SHIFT** του πληκτρολογίου και κάνοντας κλικ στον επιθυμητό κόμβο (πρέπει να είναι ενεργοποιημένο το κουμπί επιλογής κόμβων της μπάρας εργαλείων).  Κάθε φορά που γίνεται κλικ στο χάρτη, εμφανίζεται η καρτέλα **Data - Nodes** η οποία παρέχει τη δυνατότητα αλλαγής στοιχείων που αφορούν στον επιλεγμένο κόμβο (όπως φαίνεται στην εικόνα 4-5).

Εικόνα 4-5: Ρυθμίσεις καρτέλας **Data** (Δεδομένα κόμβων):

- (1) Αν επιλεγεί, σχεδιάζει στο χάρτη τους κόμβους οι οποίοι επιλέγονται από το χειριστήριο (4).
- (2) Αλλάζει την ιδιότητα Fixed του επιλεγμένου κόμβου.
- (3) Αλλάζει την ιδιότητα Excluded του κόμβου.
- (4) Επιλογή κόμβου με βάση το ID.
- (5) Ονομασία κόμβου (μεταβαλλόμενο).
- (6) Βάρος (ζήτηση) κόμβου (μεταβαλλόμενο).
- (7) Ενημέρωση δεδομένων (όχι της αρχικής βάσης δεδομένων) με βάση τα (5), (6).
- (8) Αν το (14) της καρτέλας Map είναι επιλεγμένο, αλλάζει το χρώμα των εξυπηρετούμενων κόμβων για κάθε κέντρο.
- (9) - (10) Μετατροπή της τρέχουσας λύσης (αντίστοιχα των υφιστάμενων υπηρεσιών) σε αρχική λύση.
- (11) Μετατροπή της αρχικής λύσης σε τρέχουσα.



Προκειμένου να εμφανιστούν οι ποσοτικές πληροφορίες της λύσης γίνεται κλικ στο μενού **View → Current Solution** ή στο κουμπί  της μπάρας εργαλείων (εμφανίζεται η *εικόνα 4-6*). Οι γραμμές του πίνακα αντιστοιχούν στα κέντρα της λύσης, και οι στήλες περιέχουν (από αριστερά προς τα δεξιά) για κάθε κέντρο: (α) Το ID του κέντρου, (β) το πλήθος καθώς και τα ID (σε αγκύλες) των κόμβων τους οποίους εξυπηρετεί, (γ) τη συνολική βεβαρημένη (λόγω της ζήτησης) απόσταση από τους εξυπηρετούμενους κόμβους προς το κέντρο, (δ) τη μέγιστη βεβαρημένη απόσταση εξυπηρετούμενου κόμβου, (ε) τη μέση απόσταση από τους εξυπηρετούμενους κόμβους προς το κέντρο, (στ) τη μέγιστη απόσταση εξυπηρετούμενου κόμβου (το ID του οποίου εμφανίζεται μέσα σε αγκύλες), (ζ) τη συνολική ζήτηση που εξυπηρετεί, (η) το ποσοστό της ζήτησης που καλύπτεται σε καθορισμένη ακτίνα εξυπηρέτησης (στη συγκεκριμένη περίπτωση 800μ. – στο επόμενο υποκεφάλαιο γίνεται επεξήγηση αυτών των παραμέτρων) και (θ) αν υπάρχει, η τιμή του πεδίου NAME. Η γραμμή **Global** περιέχει τις αντίστοιχες τιμές για το σύνολο της λύσης. Εάν γίνει κλικ σε οποιοδήποτε πεδίο, τότε ο πίνακας ταξινομείται εναλλάξ κατά φθίνουσα / αύξουσα σειρά με βάση τα στοιχεία του συγκεκριμένου πεδίου. Επιπλέον είναι δυνατόν να αυξηθεί ή να μειωθεί το πλάτος κάθε κελιού σέρνοντας τη νοητή διαχωριστική γραμμή μεταξύ δυο πεδίων προς κάποια κατεύθυνση. Στο επάνω μέρος του παραθύρου εμφανίζονται τα κουμπιά **Export Results**, **Print Results**, και η επιλογή **Show Scenarios**. Πατώντας το πρώτο κουμπί αποθηκεύεται η λύση με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εισαχθεί σε προγράμματα ΓΣΠ ή σε προγράμματα λογιστικού φύλλου (π.χ. EXCEL) - η λειτουργία θα αναλυθεί στο τέλος του κεφαλαίου. Το δεύτερο κουμπί εκτυπώνει τον πίνακα (καλό είναι να έχει προηγηθεί η εντολή **File → Print Setup**) ενώ η επιλογή **Show Scenarios** εμφανίζει κάτω από τη γραμμή **Global** τις αντίστοιχες τιμές ανά πεδίο για τα σενάρια που έχουμε ορίσει. Για να οριστεί ένα σενάριο (π.χ. “Αρχική Λύση”) γίνεται κλικ στην καρτέλα **Scenarios** και κατόπιν κλικ στο κουμπί **Add** (αντίστοιχα **Remove** για να αφαιρέσουμε το επιλεγμένο σενάριο). Το κουμπί **Initialize** επαναφέρει το επιλεγμένο σενάριο στη θέση της τρέχουσας λύσης. Τέλος, από το μενού **Properties → General** είναι δυνατόν να οριστεί το πλήθος των δεκαδικών ψηφίων που θα εμφανίζονται κατά την ποσοτικοποίηση της λύσης (προεπιλεγμένο = 2 δεκαδικά ψηφία). Κατά τ’ άλλα, αυτή η ρύθμιση δεν επηρεάζει την ακρίβεια των υπολογισμών.

Εικόνα 4-6: Παράθυρο διαλόγου **Solution** (Ποσοτικοποίηση αρχικής λύσης)

4.5.3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η υφιστάμενη κατάσταση θα αξιολογηθεί βάσει της αρχικής λύσης που ορίστηκε παραπάνω, σε σύγκριση με τη βέλτιστη θεωρητική χωροθέτηση ισάριθμων σχολείων στο χώρο (χωρίς περιορισμό θέσης). Τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν για τη χωροθέτηση των σχολικών μονάδων είναι τα P-Διάμεσος (ελαχιστοποίηση μέσης απόστασης), Μέγιστη Κάλυψη (μεγιστοποίηση της ζήτησης σε ακτίνα (α) 400 και (β) 800 μέτρων από τα σχολεία) και P-Κέντρο (ελαχιστοποίηση μέγιστης απόστασης). Όλα τα μοντέλα (πλην του P-Διάμεσος) θα βελτιστοποιηθούν περαιτέρω με χρήση του Πολυμεταβλητού μοντέλου για βελτίωση της μέσης απόστασης (οριακά, χωρίς να χειροτερεύει η αντικειμενική συνάρτηση κάθε μοντέλου). Η κατανομή των μαθητών στα σχολεία τόσο για την αρχική λύση όσο και για τα παραπάνω μοντέλα θα γίνει (α) στο πλησιέστερο σχολείο –όπου τα μοντέλα συμπεριφέρονται σχεδόν βέλτιστα– και (β) στο πλησιέστερο σχολείο το οποίο δεν υπερβαίνει τη μέση χωρητικότητα που θα οριστεί στη συνέχεια – εδώ θα φανεί ότι πλην του P-Διάμεσος τα υπόλοιπα μοντέλα δεν παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον διότι οι περιορισμοί οι οποίοι υπεισέρχονται έρχονται σε “σύγκρουση” (objective conflict) με την αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να βελτιστοποιηθεί. Τα αρχικά κριτήρια αξιολόγησης για κάθε λύση θα είναι (με

σειρά προτεραιότητας η οποία –για τα δυο πρώτα– υπαγορεύεται από τις πολεοδομικές προδιαγραφές της ΕΠΑ):

- Το ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα 800 μ. από το σχολείο
- Ο αριθμός μαθητών κάθε σχολείου
- Η μέση απόσταση [μαθητές] → [σχολείο]
- Η μέγιστη απόσταση [μαθητής] → [σχολείο]
- Το ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα 400 μ. από το σχολείο

Βέβαια, όπως θα φανεί στην πορεία, η ακτίνα 800 μ. είναι σχετικά εύκολο να καλυφθεί ακόμα και αν ληφθούν υπόψη οι χωρητικότητες των σχολικών μονάδων. Αυτό δίνει αυτομάτως το πλεονέκτημα στην υφιστάμενη κατάσταση να μην εμφανίζεται πολύ χειρότερη από τα θεωρητικά μοντέλα αν, για παράδειγμα, τεθούν κάποια βάρη στα κριτήρια αξιολόγησης λ.χ. 40% - 30% - 15% - 10% και 5% αντίστοιχα. Επιπλέον, τέτοια “ισοπεδωτική” στάθμιση των κριτηρίων αφαιρεί σε γενικές γραμμές το συγκριτικό πλεονέκτημα κάθε μεμονωμένου μοντέλου. Μια περισσότερο απαιτητική ιεράρχηση των κριτηρίων θα μπορούσε να είναι η εξής (λ.χ. με βάρη 30% - 30% - 20% - 15% και 5% αντίστοιχα):

- Η μέγιστη απόσταση [μαθητής] → [σχολείο]
- Ο αριθμός μαθητών κάθε σχολείου
- Η μέση απόσταση [μαθητές] → [σχολείο]
- Το ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα 400 μ. από το σχολείο
- Το ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα 800 μ. από το σχολείο

Τα επόμενα βήματα περιγράφουν τη διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων χωροθετικών προτύπων για κάθε μοντέλο, ανά περίπτωση κατανομής. Σε κάθε περίπτωση, ως βέλτιστη λύση θεωρήθηκε η καλύτερη λύση που προέκυψε από τους διάφορους αλγόριθμους που εφαρμόστηκαν. ΠΡΟΣΟΧΗ: προκειμένου να εφαρμοστούν σωστά τα παρακάτω, είναι απαραίτητο να από-επιλεχθεί το κουμπί **Fixed Nodes**  της μπάρας εργαλείων.

1. P-Διάμεσος

P-Median

Το μοντέλο P-Διάμεσος (ελαχιστοποίηση της μέσης απόστασης) μπορεί να λυθεί με οποιουδήποτε από τους προσφερόμενους αλγόριθμους. Συνήθως η ποιότητα της λύσης είναι συνάρτηση της πολυπλοκότητας κάθε αλγορίθμου, η οποία αντικατοπτρίζεται από το χρόνο επίλυσης. Για κάθε χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο θα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά της λύσης καθώς και ο χρόνος εκτέλεσής του (σε H/Y P4 2GHz - 512MB RAM). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης οποιουδήποτε αλγορίθμου, το κουμπί **RUN** μετονομάζεται σε **STOP**. Αν αυτό πατηθεί πριν ολοκληρωθεί η εκτέλεση του αλγορίθμου, αποκομίζεται η καλύτερη λύση που έχει βρεθεί μέχρι αυτό το σημείο.

(α) Τυχαίος Greedy-Random + **RUN**

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι ταχύτατος για προβλήματα οποιουδήποτε μεγέθους, αλλά η ποιότητα των λύσεων είναι χαμηλή. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή αρχικών λύσεων οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν από άλλους αλγόριθμους. Πατώντας διαδοχικά το κουμπί **RUN** προκύπτουν διάφορες λύσεις, σε ελάχιστο χρονικό διάστημα. Για 5 εκτελέσεις του αλγορίθμου προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (1X=κάλυψη από τουλάχιστον 1 κέντρο, 2X=κάλυψη από τουλάχιστον 2 κέντρα).

Πίνακας 4-4: P-διάμεσος – Τυχαίος προσθετικός αλγόριθμος

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
1	RND#1_-	264,62	1297,25	81,45%	98,39%	93,02%	40,94%	0,03
2	RND#2_-	259,68	1057,46	83,37%	99,69%	94,31%	43,76%	0,02
3	RND#3_-	248,75	1297,25	85,04%	99,07%	92,89%	27,44%	0,02
4	RND#4_-	269,01	1057,46	82,50%	98,70%	93,70%	46,50%	0,02
5	RND#5_-	262,45	1057,46	82,81%	99,69%	94,25%	42,27%	0,03

(β) Προσθετικός Greedy Adding + **RUN**

Ο προσθετικός αλγόριθμος που περιγράφηκε κατά τον ορισμό της αρχικής λύσης θα λειτουργήσει τώρα ανεξάρτητα από τα υφιστάμενα σχολεία. Ο αλγόριθμος εξάγει μία

συγκεκριμένη λύση σε κάθε περίπτωση. Η ποιότητα της λύσης είναι κατά πολύ καλύτερη από εκείνη του τυχαίου αλγόριθμου, ενώ για τη χωροθέτηση μίας μόνο υπηρεσίας η μίας επιπλέον υπηρεσίας σε ήδη υφιστάμενο σύνολο υπηρεσιών η λύση είναι βέλτιστη. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί να συνδυαστεί με άλλους, παρέχοντάς τους την αρχική λύση στο τέλος της διαδικασίας ή κάθε φορά που προστίθεται μια νέα υπηρεσία. Το αποτέλεσμα που προκύπτει για την πρώτη περίπτωση φαίνεται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 4-5: P-διάμεσος – Προσθετικός αλγόριθμος

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
6	12-ADD-MED	234,49	1154,26	90,23%	99,38%	94,31%	19,26%	0,89

(γ) Κατάτμησης +

Ο αλγόριθμος κατάτμησης είναι εξαιρετικά γρήγορος και πολλές φορές χρησιμοποιείται ως εσωτερικός βελτιωτικός αλγόριθμος άλλων πιο σύνθετων αλγορίθμων. Το πρόβλημα μ' αυτό τον αλγόριθμο είναι ότι η ποιότητα της αρχικής λύσης επηρεάζει σημαντικά και την ποιότητα της παραγόμενης λύσης. Αυτό συμβαίνει γιατί διαχωρίζονται οι φάσεις της χωροθέτησης και της κατανομής προς όφελος της ταχύτητας. Για να φανεί αυτό ο αλγόριθμος θα τρέξει τρεις φορές με ισάριθμες αρχικές λύσεις. Η πρώτη (SP-ADD) θα είναι αυτή που μόλις υπολογίστηκε (προσθετικός αλγόριθμος), η δεύτερη (SP-RND) θα προέρχεται από τον τυχαίο αλγόριθμο (λύση #3), ενώ η τρίτη (SP-INIT) θα είναι η λύση {1,2,...,12} δηλαδή θα ορίζεται από τους κόμβους με το μικρότερο κωδικό¹⁹. Να σημειωθεί ότι κάθε φορά που τρέχει ένας αλγόριθμος, στο παράθυρο διαλόγου **Output** εμφανίζονται διάφορα χαρακτηριστικά όπως χρόνος εκτέλεσης, η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης καθώς και η αλληλουχία των ID των κόμβων που επιλέχθηκαν ως κέντρα (υπηρεσίες). Αυτή η αλληλουχία μπορεί να επιλεγεί και να αντιγραφεί με το συνδυασμό πλήκτρων **Ctrl+C** και να γίνει επικόλληση στη γραμμή εντολών, ώστε να μετατραπεί σε αρχική λύση.

¹⁹ Για να γίνει χρήση των αρχικών λύσεων θα πρέπει η επιλογή **Initial Solution** της καρτέλας **Algorithms** να είναι ενεργοποιημένη. Σε διαφορετική περίπτωση ως αρχική λύση θεωρείται η {1,2,3,...,n} όπου n το πλήθος των υπηρεσιών με βάση το ID πρώτων n μη αποκλεισμένων κόμβων. Χαρακτηριστικά, η "λύση" για n=12 δίνει μέση απόσταση = **733,29 μ.**

Πίνακας 4-6: P-διάμεσος – Αλγόριθμος κατάτμησης

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
7	SP-ADD	227,67	964,66	90,66%	99,50%	94,50%	21,61%	0,03
8	SP-RND	226,56	1174,89	89,24%	99,32%	93,82%	26,35%	0,03
9	SP-INIT	261,34	1662,01	87,63%	97,09%	93,39%	37,70%	0,11

(δ) Εύρεση υπονήφιας λίστας +

Ο αλγόριθμος βασίζεται στη στοχαστική αντικατάσταση κόμβων της λύσης από μη κόμβους (χωρίς να αξιολογεί επακριβώς τις συνέπειες) και βελτιώνει τη λύση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο κατάτμησης. Η διαδικασία εκτελείται για ένα πεπερασμένο πλήθος επαναλήψεων το οποίο ορίζεται από το χρήστη μέσω της καρτέλας **Algorithms / Other**, επιλογή **CLS Iterations**. Ο αριθμός των επαναλήψεων είναι κρίσιμος για το χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου αλλά λιγότερο κρίσιμος για την ποιότητα της λύσης. Συνήθως παίρνει τιμές από 100 - 1000 ή και περισσότερο αλλά μία τιμή της τάξης του 250 είναι σχετικά ικανοποιητική. Ο αλγόριθμος είναι αρκετά γρήγορος, και σε περιπτώσεις που πρέπει να χωροθετηθούν πολλές υπηρεσίες σε μεγάλα δίκτυα αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή. Επειδή βασίζεται κατά ένα μέρος στον αλγόριθμο κατάτμησης, είναι σχετικά επιρρεπής στην ποιότητα των αρχικών λύσεων. Για να φανούν οι δυνατότητες του αλγορίθμου, θα τρέξει 9 φορές με τρεις αρχικές λύσεις ({1,2,...,12}, #3 και #6) για αριθμό επαναλήψεων 250, 750 και 1500 αντίστοιχα.

Πίνακας 4-7: P-διάμεσος – Αλγόριθμος εύρεσης υπονήφιας λίστας

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
10	CL{Init}-250	217,77	964,66	91,96%	99,50%	93,70%	15,97%	1,62
11	CL{Init}-750	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	4,50
12	CL{Init}-1500	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	8,88
13	CL#3-250	218,65	964,66	92,15%	99,50%	93,33%	18,56%	1,55
14	CL#3-750	219,01	1049,06	92,08%	99,50%	94,81%	30,78%	4,41
15	CL#3-1500	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	8,83
16	CL#6-250	217,92	957,26	92,02%	99,50%	94,13%	17,18%	1,53
17	CL#6-750	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	4,49
18	CL#6-1500	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	8,78

(ε) Αντικατάσταση κορυφής Vertex Substitution + RUN

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει πολύ καλά αποτελέσματα, συνδυάζοντας σε κάθε βήμα χωροθέτηση και κατανομή κόμβων. Επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από την ποιότητα των αρχικών λύσεων (αρκετές φορές, χειρότερες αρχικές λύσεις δίνουν καλύτερα αποτελέσματα). Ο αλγόριθμος προβαίνει σε διαδοχικές αντικαταστάσεις n κέντρων από n μη κέντρα με σκοπό τη βελτίωση της αντικειμενικής συνάρτησης. Στο λογισμικό, καθώς και στις περισσότερες εφαρμογές του αλγορίθμου, το n παίρνει την τιμή $n=1$ προκειμένου ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου να είναι σχετικά μικρός. Ο αλγόριθμος αρκετές φορές δεν βρίσκει τη βέλτιστη λύση, αλλά μία παραπλήσια. Αυτό οφείλεται στα τοπικά ελάχιστα που παρουσιάζει η αντικειμενική συνάρτηση τα οποία μπορούν να “παγιδέψουν” τον αλγόριθμο. Από την καρτέλα **Algorithms / Substitution** είναι δυνατόν να μεταβληθούν οι παράμετροι του αλγορίθμου:

Εικόνα 4-7: Ρυθμίσεις καρτέλας **Algorithms / Substitution**

(1) - (3) Επιλογή μοντέλου αντικατάστασης.

(1) Πραγματοποιεί την πρώτη, δεύτερη κ.λπ. αντικατάσταση που βελτιώνει περισσότερο την αντικειμενική συνάρτηση (αν υπάρξουν αντικαταστάσεις γίνεται επανεκκίνηση).

(2) Πραγματοποιεί την πρώτη αντικατάσταση που βελτιώνει περισσότερο την αντικειμενική συνάρτηση (αν υπάρξει αντικατάσταση γίνεται επανεκκίνηση).

(3) Πραγματοποιεί τη συνολικά καλύτερη αντικατάσταση (αν υπάρξει τέτοια, γίνεται επανεκκίνηση).

(4) Αν επιλεγεί, αποτρέπει την επανεκκίνηση του αλγορίθμου.

(5) Σε κάθε βήμα του προσθετικού αλγορίθμου (κάθε φορά που προστίθεται μια υπηρεσία) γίνεται εφαρμογή του αλγορίθμου αντικατάστασης κορυφής (με τις παραπάνω

(7) Αν επιλεγεί, σε κάθε επανεκκίνηση του αλγορίθμου γίνονται αντιμεταθέσεις μεταξύ των ήδη χωροθετημένων υπηρεσιών με

παραμέτρους). (6) Εκτέλεση εναλλάξ με τους αλγόριθμους κατάτμησης ή εύρεσης υποψήφιας λίστας μέχρι να μην παρατηρείται άλλη βελτίωση της αντικειμενικής συνάρτησης. (Πρέπει να έχουν επιλεγεί οι παραπάνω αλγόριθμοι από την μπάρα επιλογής)	σκοπό την αλλαγή της σειράς των αντικαταστάσεων (και πιθανόν της ποιότητας της λύσης). Η επιλογή έχει ουσιαστικό νόημα μόνο για το πρώτο μοντέλο αντικατάστασης.
--	---

Οι τρεις αρχικές λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι η #3, η {1,2,...,12} και η #8. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα²⁰.

Πίνακας 4-8: P-διάμεσος – Αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
19	VS-1-{Init}	221,89	996,42	91,03%	99,50%	93,94%	24,06%	3,61
20	VS-1-P-{Init}	217,76	957,26	92,64%	99,50%	94,13%	19,53%	3,63
21	VS-2-{Init}	220,15	998,93	91,53%	99,69%	94,19%	21,96%	15,25
22	VS-3-{Init}	217,76	957,26	92,64%	99,50%	94,13%	19,53%	18,66
23	VS-1-#3	221,23	998,93	92,70%	99,69%	93,70%	17,90%	3,66
24	VS-1-P-#3	220,23	998,93	92,08%	99,69%	94,44%	29,30%	3,67
25	VS-2-#3	218,55	957,26	93,13%	99,50%	93,76%	19,39%	11,77
26	VS-3-#3	217,76	957,26	92,64%	99,50%	94,13%	19,53%	13,41
27	VS-1-#8	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	2,70
28	VS-1-P-#8	219,21	1049,06	92,76%	99,50%	94,75%	22,85%	2,72
29	VS-2-#8	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	5,19
30	VS-3-#8	219,21	1049,06	92,76%	99,50%	94,75%	22,85%	8,95

(στ) Χαλάρωση Lagrange +

Η χαλάρωση Lagrange είναι μια τεχνική βελτιστοποίησης διαφόρων αντικειμενικών συναρτήσεων συμπεριλαμβανομένων προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν αντιμετωπίζει προβλήματα P-διάμεσος με 900 ή λιγότερους κόμβους. Για μεγαλύτερα προβλήματα, προς το παρόν, ο χρόνος που χρειάζεται για να προσεγγίσει τη βέλτιστη λύση είναι αρκετά έως πολύ μεγάλος (το συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελείται από 1.358 κόμβους). Ορισμένες φορές

²⁰ Οι επιλογές VS-* αναφέρονται στα αντίστοιχα νούμερα της εικόνας 4-7.

συνδυάζεται με άλλες τεχνικές ακριβούς επίλυσης (π.χ. Branch & Bound). Η λογική είναι ότι παράγονται λύσεις αφαιρώντας κάποιον περιοριστικό παράγοντα (χαλάρωση) οι οποίες αντιστοιχούν σε πραγματικές λύσεις. Σε κάθε επανάληψη γίνεται σταδιακή βελτιστοποίηση της χαλάρωσης (Subgradient Optimization). Όταν η “χαλαρωμένη” αντικειμενική συνάρτηση (κατώτατο όριο - Lower Bound) προσεγγίσει ή ταυτιστεί με την καλύτερη “πραγματική” αντικειμενική συνάρτηση που έχει βρεθεί (ανώτατο όριο - Upper Bound), τότε η τελευταία είναι βέλτιστη. Από την καρτέλα **Algorithms / Lagrange** είναι δυνατόν να μεταβληθούν οι διάφορες παράμετροι του αλγορίθμου (για περισσότερες λεπτομέρειες, βλ. κ. 2.4.2.3):

Εικόνα 4-8: Ρυθμίσεις καρτέλας **Algorithms / Lagrange**

(1) Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων.

(2) Ποσοστιαία διαφορά μεταξύ του κάτω και άνω ορίου κάτω από την οποία σταματά ο αλγόριθμος. Όταν είναι επιλεγμένο το Integer Distances, ο αλγόριθμος σταματάει στην περίπτωση που η απόλυτη διαφορά κατώτατου και ανώτερου ορίου είναι < 1 .

(3) Αρχική τιμή της μεταβλητής Άλφα.

(4) Ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή της μεταβλητής Άλφα.

(5) Αριθμός επαναλήψεων που περνάνε χωρίς βελτίωση του κάτω ορίου, ώστε να υποδιπλασιαστεί η τιμή της μεταβλητής Άλφα.

(6) Παράγοντας απόσβεσης. Παίρνει τιμές μεταξύ $0 < d.f. < 1$. Προτεινόμενο 0.3.

(7) Αν επιλεγεί (προτείνεται) χρησιμοποιείται το τρέχον κάτω όριο αντί του βέλτιστου κάτω ορίου για τον υπολογισμό του Βήματος.

(8) Αν επιλεγεί, εκτελείται ο αλγόριθμος κατάτμησης στην τρέχουσα λύση κάθε φορά που βελτιώνεται το κάτω όριο.

(9) Αν επιλεγεί, εκτελείται ο αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής στην τρέχουσα λύση κάθε φορά που αλλάζει η τιμή της μεταβλητής Άλφα.

(10) Σταθεροποιεί ορισμένους κόμβους στη λύση για βελτίωση της ταχύτητας (λειτουργεί συνήθως όταν το πλήθος των υπηρεσιών είναι αρκετά μεγάλο).

Στο παραπάνω παράθυρο διαλόγου οι ήδη υπάρχουσες τιμές αφορούν στις αρχικές ρυθμίσεις του λογισμικού²¹. Επειδή το πρόβλημα περιέχει περισσότερους από 900 κόμβους, ο αλγόριθμος έτρεξε με δυο “σετ” ρυθμίσεων (με μαύρο και κόκκινο χρώμα τιμών αντίστοιχα). Το πρώτο σετ ρυθμίσεων (LAG-1) χρησιμοποίησε την αρχική λύση {1,2,...,12} ενώ το δεύτερο σετ (LAG-2) χρησιμοποίησε την –ήδη βέλτιστη, όπως θα φανεί– λύση του αλγορίθμου αντικατάστασης κορυφής (VS-1-#8). Για τον ορισμό αρχικής λύσης που προέρχεται από αλγόριθμο (τρέχουσα λύση) βλ. κεφάλαιο 4.5.3.3. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα από τα δυο σετ λύσεων (και τις δυο φορές οι αλγόριθμοι σταμάτησαν λόγω της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής των εκτελεσμένων επαναλήψεων).

Πίνακας 4-9: P-διάμεσος – Χαλάρωση Lagrange

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα	% Διαφ. ορίων
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X			
31	LAGRANGE1	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	736,00	1,51%
32	LAGRANGE2	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	4619,54	0,05%

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αλγορίθμων μπορούν να συνοψιστούν (ως προς τη μέση απόσταση) στον ακόλουθο πίνακα (με γαλάζιο σημειώνονται οι βέλτιστες λύσεις, με πράσινο οι λύσεις που απέχουν μέχρι **0,01%** από τη βέλτιστη και με κόκκινο οι λύσεις που απέχουν πάνω από **5%** από τη βέλτιστη):

Πίνακας 4-10: P-διάμεσος – Συγκεντρωτικά στοιχεία

Αλγό- ριθμος	Μέση Απ/ση	Δευτερό- λεπτα	Αλγό- ριθμος	Μέση Απ/ση	Δευτερό- λεπτα	Αλγό- ριθμος	Μέση Απ/ση	Δευτερό- λεπτα
RND#1 -	264,62	0,03	CL{Init}-250	217,77	1,62	VS-1-{Init}	221,89	3,61
RND#2 -	259,68	0,02	CL{Init}-750	217,54	4,50	VS-1-P-{Init}	217,76	3,63
RND#3 -	248,75	0,02	CL{Init}-1500	217,54	8,88	VS-2-{Init}	220,15	15,25
RND#4 -	269,01	0,02	CL#3-250	218,65	1,55	VS-3-{Init}	217,76	18,66
RND#5 -	262,45	0,03	CL#3-750	219,01	4,41	VS-1-#3	221,23	3,66
			CL#3-1500	217,54	8,83	VS-1-P-#3	220,23	3,67
12-ADD-MED	234,49	0,89	CL#6-250	217,92	1,53	VS-2-#3	218,55	11,77
			CL#6-750	217,54	4,49	VS-3-#3	217,76	13,41
SP-ADD	227,67	0,03	CL#6-1500	217,54	8,78	VS-1-#8	217,54	2,70
SP-RND	226,56	0,03				VS-1-P-#8	219,21	2,72
SP-INIT	261,34	0,11	LAGRANGE1	217,54	736,00	VS-2-#8	217,54	5,19
			LAGRANGE2	217,54	4619,54	VS-3-#8	219,21	8,95

²¹ Το κουτί δεξιά από την επιλογή (8) αναφέρεται στο πλήθος των κέντρων (από τα 12) που θα συμμετέχουν στον αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής (θυσιάζοντας κάποια πιθανή βελτίωση της λύσης προς όφελος της ταχύτητας). Εάν δεν είναι επιθυμητός αυτός ο περιορισμός, μπορεί να εισαχθεί μια σχετικά μεγάλη τιμή (π.χ. 999).

Θα ήταν (σε γενικές γραμμές) λάθος αν από τα παραπάνω αποτελέσματα εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν στη γενικότερη συμπεριφορά των αλγορίθμων. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να εφαρμοστούν σε προβλήματα διαφόρου μεγέθους και για πολλά διαφορετικά πλήθη υπηρεσιών με διάφορες αρχικές λύσεις. Παρ' όλα αυτά η εκτενής χρήση του λογισμικού εκτός των πλαισίων της διπλωματικής, καθώς και η διεθνής βιβλιογραφία υπαγορεύουν ότι:

- Σε εφαρμοσμένα χωροθετικά προβλήματα δεν είναι απαραίτητο να βρεθεί η μαθηματικά βέλτιστη λύση διότι η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων δεν μπορεί να είναι βέλτιστη.
- Κάθε λύση που φαίνεται σχεδόν βέλτιστη, είναι χρήσιμη προκειμένου να διατυπωθούν εναλλακτικά σενάρια.
- Η γνώση της μαθηματικά βέλτιστης λύσης παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης των διαφόρων ευριστικών μεθόδων επίλυσης.

2. Μέγιστη Κάλυψη

Max Covering ▾

Για το μοντέλο μέγιστης κάλυψης ισχύουν σε γενικές γραμμές οι ίδιες αρχές με το μοντέλο P-Διάμεσος. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι αλγόριθμοι με τους προηγούμενους, η αρχή της “μεγιστοποίησης της κάλυψης” μετατράπηκε σε “ελαχιστοποίηση της μη κάλυψης” το οποίο ισχύει μόνο στο εσωτερικό των αλγορίθμων. Σε αντίθεση με προηγουμένως, δεν θα χρησιμοποιηθεί η τεχνική χαλάρωσης Lagrange λόγω του ότι η απαιτούμενη μετατροπή του αλγορίθμου δεν έχει ενσωματωθεί ακόμα στο λογισμικό. Επίσης, ο τυχαίος αλγόριθμος δεν ασχολείται με τις ιδιαιτερότητες κάθε μοντέλου, για το λόγο αυτό δε θα εκτελεστεί εκ νέου. Κατά Επιπλέον, θα εφαρμοστεί ένα υβρίδιο προσθετικού αλγορίθμου / αλγορίθμου αντικατάστασης κορυφής. Από την καρτέλα **Problem / Covering** είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η απόσταση κάλυψης (η οποία θα ρυθμιστεί στα 400 μέτρα αφού τα 800 μέτρα είναι πολύ μεγάλη τιμή, και μπορούν να καλυφθούν άνετα με τα μισά κέντρα).

(α) Προσθετικός

Από τον προσθετικό αλγόριθμο προκύπτει η παρακάτω λύση:

Πίνακας 4-11: Μέγιστη κάλυψη – Προσθετικός αλγόριθμος

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
33	12-ADD-MX4	263,52	1098,78	94,37%	99,25%	95,74%	46,83%	1,25

(β) “Υβρίδιο” προσθετικού και αντικατάστασης κορυφής

Greedy Adding +

RUN

Προκειμένου να συνδυαστούν οι δυο αλγόριθμοι γίνεται κλικ στην επιλογή **Loop With ADD** της καρτέλας **Algorithms / Substitution**, από την οποία μπορεί να γίνει περαιτέρω ρύθμιση του αλγορίθμου αντικατάστασης κορυφής. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος σταματάει μόλις η αντικειμενική συνάρτηση πάρει την τιμή 0 (ή άλλη τιμή που θα ορίσει ο χρήστης) ανεξάρτητα από τα κέντρα που έχουν χωροθετηθεί. Ο συμβολισμός του μοντέλου αντικατάστασης VS* στον πίνακα είναι ίδιος με την περίπτωση του P-διάμεσος.

Πίνακας 4-12: Μέγιστη κάλυψη – Υβρίδιο προσθετικού / αντικατάστασης κορυφής

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
34	AVS-1-MX4	253,80	870,53	95,55%	99,87%	94,56%	52,27%	15,03
35	AVS-1-P-MX4	253,80	870,53	95,55%	99,87%	94,56%	52,27%	16,03
36	AVS-2-MX4	253,80	870,53	95,55%	99,87%	94,56%	52,27%	15,56
37	AVS-2-P-MX4	256,23	1088,97	96,22%	99,69%	95,12%	50,31%	16,63
38	AVS-3-MX4	256,23	1088,97	96,22%	99,69%	95,12%	50,31%	21,38

(γ) Κατάτμησης

Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου κατάτμησης με αρχικές λύσεις τις {1,2,3,...,12} (εφεξής {Init}), #3, #25 και #33 είναι τα εξής:

Πίνακας 4-13: Μέγιστη κάλυψη – Αλγόριθμος κατάτμησης

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
39	SP{Init}-MX	304,45	1934,00	83,86%	96,41%	89,31%	33,56%	0,14
40	SP#3-MX	231,97	1119,90	92,70%	99,75%	93,76%	31,64%	0,05
41	SP#25-MX	225,82	928,04	94,43%	99,69%	93,88%	22,99%	0,02
42	SP#33-MX	255,59	1072,47	95,11%	99,50%	95,98%	44,23%	0,03

(δ) Εύρεσης υποψήφιας λίστας

Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε με βάση τις αρχικές λύσεις {Init}, #3 και #33 για αριθμό επαναλήψεων 250, 750, 1500 και 5000 αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά για τον αλγόριθμο, παρόλο που δεν έχει εφαρμοστεί κάποια ιδιαίτερη τεχνική εύρεσης υποψήφιων κόμβων για το μοντέλο μέγιστης κάλυψης (για το λόγο αυτό, ο αλγόριθμος έτρεξε και με 5000 επαναλήψεις).

Πίνακας 4-14: Μέγιστη κάλυψη – Αλγόριθμος εύρεσης υποψήφιας λίστας

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
43	CL{Init}-250	256,11	827,67	96,78%	99,93%	95,74%	41,53%	2,50
44	CL{Init}-750	252,61	869,90	97,03%	99,93%	95,49%	45,32%	7,00
45	CL{Init}-1500	255,01	835,58	96,72%	99,93%	95,06%	48,19%	13,50
46	CL{Init}-5000	259,27	1139,33	97,28%	99,87%	95,43%	33,25%	45,50
47	CL#3-250	246,81	1234,84	96,29%	99,50%	95,12%	42,25%	2,41
48	CL#3-750	237,70	1118,90	96,60%	99,87%	95,55%	42,01%	7,06
49	CL#3-1500	239,86	1018,15	96,97%	99,93%	95,55%	49,67%	13,77
50	CL#3-5000	241,78	957,26	97,09%	99,56%	95,55%	37,56%	43,70
51	CL#33-250	249,13	1197,56	96,41%	99,44%	95,86%	40,28%	2,20
52	CL#33-750	252,84	1118,90	96,72%	99,50%	95,24%	43,00%	6,80
53	CL#33-1500	250,48	772,57	97,09%	100,00%	95,74%	48,68%	13,30
54	CL#33-5000	244,91	1034,21	97,15%	99,50%	95,67%	46,09%	44,48

(ε) Αντικατάστασης κορυφής

Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε με βάση τις αρχικές λύσεις {Init}, #3 και #33 για τέσσερα μοντέλα αντικατάστασης (όπως και στην περίπτωση του P-διάμεσος). Τα αποτελέσματα, όπως φαίνονται από τον παρακάτω πίνακα, κρίνονται, σε γενικές γραμμές, ικανοποιητικά.

Πίνακας 4-15: Μέγιστη κάλυψη – Αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
55	VS-1-{Init}	255,96	1010,49	96,04%	99,50%	94,99%	44,52%	6,35
56	VS-1-P-{Init}	261,89	1063,34	96,41%	99,81%	96,66%	39,70%	4,95
57	VS-2-{Init}	241,78	1086,57	96,16%	99,44%	95,49%	45,12%	17,22
58	VS-3-{Init}	262,93	1070,89	95,85%	99,81%	96,66%	42,42%	24,44

In	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
59	VS-1-#3	252,86	1487,79	95,36%	97,58%	95,74%	34,57%	3,77
60	VS-1-P-#3	245,34	928,33	96,84%	99,56%	95,43%	45,10%	3,72
61	VS-2-#3	248,96	1109,33	95,42%	99,44%	95,55%	42,01%	10,69
62	VS-3-#3	232,97	1018,15	96,29%	99,87%	95,30%	43,74%	17,17
63	VS-1-#33	254,28	987,73	96,16%	99,50%	95,61%	40,40%	2,52
64	VS-1-P-#33	254,28	987,73	96,16%	99,50%	95,61%	40,40%	3,72
65	VS-2-#33	254,28	987,73	96,16%	99,50%	95,61%	40,40%	4,19
66	VS-3-#33	254,28	987,73	96,16%	99,50%	95,61%	40,40%	8,66

3. P-Κέντρο

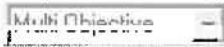
P-Center

Το μοντέλο P-Κέντρο βασίζεται στην ίδια λογική με το μοντέλο μέγιστης κάλυψης. Η διαφορά είναι ότι, αντί για τη μεγιστοποίηση της ζήτησης σε μια δεδομένη ακτίνα εξυπηρέτησης, ελαχιστοποιείται η απόσταση του περισσότερο απομακρυσμένου κόμβου. Αν τα δυο μοντέλα λύνονται με ακριβείς τεχνικές, είναι προφανές ότι η λύση του P-Κέντρου θα ισούται με την απόσταση κάλυψης η οποία οριακά καλύπτει όλη τη ζήτηση. Συνήθως το μοντέλο P-Κέντρο λύνεται “μαντεύοντας” αυτή την απόσταση κάλυψης με τεχνικές δυαδικής αναζήτησης. Η δυαδική αναζήτηση δεν δίνει βέλτιστα αποτελέσματα εάν δεν συνδυαστεί με μια τεχνική ακριβούς επίλυσης (π.χ. χαλάρωση Lagrange).

Στο λογισμικό έχει εφαρμοστεί η τεχνική της δυαδικής αναζήτησης, η οποία μπορεί να λειτουργήσει με οποιονδήποτε αλγόριθμο και αρχική λύση. Δυστυχώς, επειδή προς το παρόν δεν έχει ενσωματωθεί ο αλγόριθμος Lagrange για την περίπτωση της μέγιστης κάλυψης, η τεχνική αυτή δίνει μέτρια αποτελέσματα. Το πρόβλημα μπορεί να λυθεί εν μέρει, εφαρμόζοντας μια μικτή τεχνική αντικατάστασης κορυφής / δυαδικής αναζήτησης και πολυμεταβλητού μοντέλου. Οι αλγόριθμοι τρέχουν εναλλάξ με αρχική λύση τη λύση του προηγούμενου αλγορίθμου μέχρι να μην βελτιώνεται άλλο η αντικειμενική συνάρτηση.

(α) Προσθετικός

Ο προσθετικός αλγόριθμος από μόνος του δίνει πολύ φτωχές λύσεις για το μοντέλο P-κέντρου. Μπορεί όμως να βελτιωθεί, εάν η αντικειμενική συνάρτηση περιλαμβάνει, σε μικρό ποσοστό, τη μεταβλητή της μέσης απόστασης. Αυτό επιτυγχάνεται με την

εφαρμογή ενός πολυμεταβλητού μοντέλου P-διαμέσου και P-κέντρου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται δύο λύσεις του προσθετικού αλγορίθμου, η πρώτη χωρίς το πολυμεταβλητό μοντέλο και οι δεύτερη με τις ρυθμίσεις που φαίνονται στην εικόνα 4-9. Για το πολυμεταβλητό μοντέλο επιλέχθηκε το μοντέλο  αντί του μοντέλου P-κέντρου.

Πίνακας 4-16: P-κέντρο – Προσθετικός αλγόριθμος με και χωρίς πολυμεταβλητό μοντέλο

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
67	12-ADD-CEN	441,70	1487,80	53,64%	85,66%	74,97%	84,38%	1,26
68	12-ADD-MOB1	277,37	836,36	81,89%	99,87%	93,08%	55,75%	1,58

(β) Κατάτμησης

Ο αλγόριθμος κατάτμησης εφαρμόστηκε για τις αρχικές λύσεις {Init}, #3, #67 και #68 με τα παρακάτω ενδιαφέροντα αποτελέσματα:

Πίνακας 4-17: P-κέντρο – Αλγόριθμος κατάτμησης

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
69	SP{Init}-CEN	281,01	571,70	80,71%	100,00%	95,36%	57,07%	0,14
70	SP#3-CEN	282,53	681,91	82,81%	100,00%	94,00%	52,64%	0,07
71	SP#67-CEN	271,03	681,91	85,16%	100,00%	93,33%	62,28%	0,05
72	SP#68-CEN	270,67	541,05	87,39%	100,00%	94,38%	53,36%	0,06

(γ) Εύρεσης υποψήφιας λίστας

Στην περίπτωση του P-Κέντρου, πολλές εκτελέσεις του αλγορίθμου είναι απαραίτητες για τον προσδιορισμό καλών λύσεων. Κακές αρχικές αντιμεταθέσεις παράγουν μέτριες λύσεις, ανεξαρτήτως αριθμού επαναλήψεων. Παρ' όλα αυτά, ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται αρκετά καλά στο μοντέλο P-κέντρο. Η αρχή που υιοθετήθηκε για την ένταξη κόμβων στη λίστα (σε αντιστοιχία με τη μέθοδο που προτείνει ο Taillard για το P-διάμεσος) είναι η εξής: Υπολογίζεται η μέγιστη απόσταση κόμβου από κέντρο (D_{max}), και στη λίστα προστίθενται οι κόμβοι οι οποίοι απέχουν περισσότερο από $D_{max}/2$ από το αντίστοιχο κέντρο τους. Για όλα τα μοντέλα, η διαδικασία δημιουργίας υποψήφιας λίστας μπορεί να παρακαμφθεί, προκειμένου να

εξεταστούν σειραϊκά όλοι οι υποψήφιοι κόμβοι που δεν είναι κέντρα. Αυτό απαιτεί περισσότερες επαναλήψεις για να αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Αυτή η τεχνική θα δοκιμαστεί μόνο για τις 5000 επαναλήψεις του αλγορίθμου. Για να απενεργοποιήσει ο χρήστης την εύρεση υποψήφιας λίστας, μπορεί να επιλέξει το κουτί **Sequential List Search** από την καρτέλα **Algorithms / Other**. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για αρχικές λύσεις τις {Init}, #3, και #68 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-18: P-κέντρο – Αλγόριθμος εύρεσης υποψήφιας λίστας

ID	12 Σχολεία Μέθοδος	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
		Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1Χ 800 μ.	2Χ		
73	CL{Init}-250	293,37	539,26	82,26%	100,00%	92,52%	53,28%	2,28
74	CL{Init}-750	302,09	684,08	75,89%	100,00%	95,55%	57,31%	6,64
75	CL{Init}-1500	297,48	511,37	84,54%	100,00%	95,36%	54,49%	13,41
76	CL{Init}-5000s	294,47	505,95	82,50%	100,00%	95,18%	59,04%	44,52
77	CL#3-250	284,52	520,08	83,86%	100,00%	92,95%	62,42%	2,22
78	CL#3-750	306,47	520,59	76,01%	100,00%	95,98%	62,53%	6,69
79	CL#3-1500	300,20	514,66	77,68%	100,00%	96,29%	69,57%	13,76
80	CL#3-5000s	273,40	520,20	88,75%	100,00%	95,61%	56,12%	44,95
81	CL#68-250	295,39	537,38	79,66%	100,00%	94,50%	56,51%	2,20
82	CL#68-750	280,26	526,00	88,50%	100,00%	95,49%	60,94%	6,67
83	CL#68-1500	292,20	503,98	85,84%	100,00%	94,56%	54,78%	13,30
84	CL#68-5000s	290,68	491,63	83,31%	100,00%	93,57%	57,48%	43,35

Εικόνα 4-9: Ρυθμίσεις καρτελών **Problem / MOB** για το πολυμεταβλητό μοντέλο M1

Problem {	Problem {	Problem {
Median Center Covering Main Objective ☒ P-Median normal	Median Center Covering Main Objective ☒ P-Center normal ☐ P-Center weighted ☐ P-Center medMax ☐ VDF - Objective = Center ☐ Or Objective = Median	Median Center Covering Main Objective ☒ Maximal Covering normal ☐ Exclude Dominated Nodes Covering Distance: 400 Apply
Multi Objective (MOB) Target Value / Weight (%) 1 1 BEST Value Bound/Tolerance 0 1000 WORST Value Bound/Tolerance 1E+20 1000	Multi Objective (MOB) Target Value / Weight (%) 1 100 BEST Value Bound/Tolerance 0 1000 WORST Value Bound/Tolerance 1E+20 1000	Multi Objective (MOB) Target Value / Weight (%) 1E+15 OFF BEST Value Bound/Tolerance 1E+20 1000 WORST Value Bound/Tolerance 0 1000
MOB Apply	MOB Apply	MOB Apply

(γ) Αντικατάσταση κορυφής

Στην περίπτωση του P-Κέντρου, ο αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής (μονής ταυτόχρονης αντικατάστασης) παράγει μετρίοτα αποτελέσματα, εάν δεν συνδυαστεί με κάποια πολυμεταβλητή αντικειμενική συνάρτηση ή/και καλή αρχική λύση. Ο αλγόριθμος θα εκτελεστεί στην απλή εκδοχή του (P-Center) για τις αρχικές λύσεις {Init}, #3, #68 και #84. Για τις ίδιες αρχικές λύσεις (εκτός της #68), θα τρέξει και για το πολυμεταβλητό μοντέλο, με τις ρυθμίσεις της εικόνας 4-9 (αντίστοιχα με τον προσθετικό αλγόριθμο).

Πίνακας 4-19: P-κέντρο – Αλγόριθμος κατάτμησης με και χωρίς πολυμεταβλητό μοντέλο (M1)

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
85	VS1-{Init}	300,25	573,69	76,63%	100,00%	93,63%	65,00%	16,28
86	VS1-#3	309,91	593,21	73,05%	100,00%	91,66%	60,94%	12,77
87	VS1-#68	314,26	568,40	70,82%	100,00%	94,25%	62,75%	11,58
88	VS1-#84	291,33	488,12	83,49%	100,00%	93,94%	58,22%	2,30
89	VS1-M1-{Init}	257,94	526,00	89,18%	100,00%	93,82%	64,26%	21,16
90	VS1-P-M1-{Init}	258,16	527,57	87,02%	100,00%	93,70%	54,64%	21,03
91	VS2-M1-{Init}	257,94	526,00	89,18%	100,00%	93,82%	64,26%	64,50
92	VS3-M1-{Init}	257,45	526,00	88,13%	100,00%	94,93%	56,72%	65,50
93	VS1-M1-#3	257,94	526,00	89,18%	100,00%	93,82%	64,26%	21,06
94	VS1-P-M1-#3	257,94	526,00	89,18%	100,00%	93,82%	64,26%	19,55
95	VS2-M1-#3	257,94	526,00	89,18%	100,00%	93,82%	64,26%	42,78
96	VS3-M1-#3	251,35	527,57	89,12%	100,00%	94,38%	59,19%	75,35
93	VS1-M1-#84	287,09	488,50	85,53%	100,00%	94,56%	56,98%	4,39
94	VS1-P-M1-#84	287,09	488,50	85,53%	100,00%	94,56%	56,98%	4,41
95	VS2-M1-#84	287,09	488,50	85,53%	100,00%	94,56%	56,98%	9,19
96	VS3-M1-#84	287,63	488,12	85,66%	100,00%	94,56%	56,98%	11,58

(δ) Δυναδική αναζήτηση / αντικατάσταση κορυφής /

πολυμεταβλητό

+

Vertex Substitution ▾

Algorithms

Shortest Paths ▶

Location ▶

Allocation ▶

Force Minimax

Η συγκεκριμένη τεχνική στηρίζεται στο “μάντεμα” της ελάχιστης απόστασης, και στην εφαρμογή του μοντέλου μέγιστης κάλυψης για απόσταση κάλυψης την υποτιθέμενη ελάχιστη απόσταση. Στην περίπτωση που η κάλυψη είναι 100% η απόσταση κάλυψης μειώνεται και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου η κάλυψη να είναι < 100%. Όταν αυτό συμβεί, εφαρμόζεται αυτόματα το πολυμεταβλητό μοντέλο (αντίστοιχο με τις ρυθμίσεις M1) με επιπλέον περιορισμό η ελάχιστη μέγιστη απόσταση να ισούται με την τελευταία απόσταση κάλυψης για την

οποία η καλυπτόμενη ζήτηση ήταν 100%. Συνήθως, αυτή η τεχνική εφαρμόζεται με τη χαλάρωση Lagrange (χωρίς πολυμεταβλητό μοντέλο), η οποία, όπως αναφέρθηκε, δεν έχει υλοποιηθεί ακόμα στο λογισμικό για να λύνει προβλήματα μέγιστης κάλυψης (άρα και P-κέντρου). Παρ' όλα αυτά, η τεχνική που προαναφέρθηκε μπορεί να λειτουργήσει και με τον αλγόριθμο εύρεσης υποψήφιας λίστας. Η διαφορά είναι ότι στο λογισμικό δεν έχει υλοποιηθεί ακόμα το πολυμεταβλητό μοντέλο για τον συγκεκριμένο αλγόριθμο. Οι αρχικές λύσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι #3, #53, #68 και #86 για τον απλό αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής (VS1) όπως και (πειραματικά) για τον αλγόριθμο εύρεσης υποψήφιας λίστας (CLS) για αριθμό επαναλήψεων 1500. Μάλιστα, η δυαδική αναζήτηση με τον αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής έτρεξε και στις λύσεις που προέκυψαν από τον αλγόριθμο εύρεσης υποψήφιας λίστας, βελτιώνοντάς της ακόμα περισσότερο (βλ. πίνακα 4-20).

Πίνακας 4-20: P-κέντρο – Δυαδική αναζήτηση / Αντικατάσταση κορυφής (πειραματικά και εύρεσης υποψήφιας λίστας)

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
97	BSM[VS1]#3	256,09	526,00	88,25%	100,00%	94,81%	61,80%	41,20
98	BSM[CLS]#3	294,92	515,20	81,21%	100,00%	94,19%	60,82%	153,88
99	BSM[VS1]#98	288,56	505,95	82,07%	100,00%	94,31%	59,33%	10,34
100	BSM[VS1]#53	270,46	500,91	86,65%	100,00%	94,38%	68,21%	33,83
101	BSM[CLS]#53	279,90	487,47	86,65%	100,00%	95,49%	54,39%	388,37
102	BSM[VS1]#101	282,03	485,29	88,81%	100,00%	95,18%	54,02%	9,45
103	BSM[VS1]#68	261,57	512,98	88,07%	100,00%	94,31%	58,45%	55,78
104	BSM[CLS]#68	296,79	509,91	78,98%	100,00%	94,19%	61,68%	149,31
105	BSM[VS1]#104	287,92	503,98	82,32%	100,00%	93,88%	55,95%	11,42
106	BSM[VS1]#86	257,94	526,00	89,18%	100,00%	93,82%	64,26%	18,31
107	BSM[CLS]#86	291,66	513,46	82,57%	100,00%	95,43%	60,82%	96,13
108	BSM[VS1]#107	273,19	511,59	85,59%	100,00%	95,06%	58,47%	9,65

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι κόμβοι με ζήτηση 0 δεν συμπεριλήφθηκαν στις μέχρι στιγμής αντικειμενικές συναρτήσεις του μοντέλου P-κέντρου. Αυτό έγινε για να προκύψουν συνολικά καλύτερες λύσεις. Εάν ο χρήστης θέλει να συμπεριλαμβάνονται και αυτοί οι κόμβοι στην αντικειμενική συνάρτηση, πρέπει να απενεργοποιήσει το κουμπί **Weights**  από τη μπάρα εργαλείων και να τρέξει εκ νέου τα μοντέλα. Λόγο περιορισμού χρόνου, η συγκεκριμένη λειτουργία δε θα αναλυθεί περαιτέρω για την περίπτωση των σχολείων.

4. Πολυμεταβλητό μοντέλο

Multi Objective

Το πολυμεταβλητό μοντέλο προσφέρει τη δυνατότητα συγκερασμού αντικειμενικών συναρτήσεων με παραμέτρους που ορίζει ο χρήστης. Όπως φάνηκε και στην *εικόνα 4-9*, οι διαθέσιμες επιλογές για κάθε μοντέλο είναι: (α) τιμή-στόχος (Target Value) και ποσοστό βάρους αυτής της τιμής, (β) επιτρεπόμενη βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και ελαστικότητα (Tolerance) αυτού του περιορισμού και (γ) επιτρεπόμενη χειρότερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και ελαστικότητα αυτού του περιορισμού. Όταν το βάρος ενός μοντέλου είναι στην τιμή 0 (OFF), τότε αυτό δε λαμβάνεται υπόψη στην πολυμεταβλητή αντικειμενική συνάρτηση. Το μοντέλο αυτό τρέχει, προς το παρόν, μόνο με τον αλγόριθμο αντικατάστασης κορυφής. Αρχικά το πολυμεταβλητό μοντέλο θα τρέξει για τη βέλτιστη λύση του P-διάμεσος με τα σετ ρυθμίσεων M2 (*εικόνα 4-10*) και M3 (*εικόνα 4-10*). Επίσης, Στις λύσεις των M2, M3 θα εφαρμοστεί και το σετ M4 (*εικόνα 4-10*).

Εικόνα 4-10: Ρυθμίσεις καρτελών **Problem / MOB** για το πολυμεταβλητό μοντέλο M1

Problem	Problem	Problem
Median Center Covering Main Objective ☒ P-Median normal	Median Center Covering Main Objective ☒ P-Center normal ☐ P-Center weighted ☐ P-Center medMax ☐ VDF - Objective = Center ☐ Or Objective = Median	Median Center Covering Main Objective ☒ Maximal Covering normal ☐ Exclude Dominated Nodes Covering Distance: 400 Apply
Multi Objective (MOB) Target Value / Weight (%) 1 100 BEST Value Bound/Tolerance 0 1000 WORST Value Bound/Tolerance 1E+20 1000	Multi Objective (MOB) Target Value / Weight (%) 1 * BEST Value Bound/Tolerance 0 1000 WORST Value Bound/Tolerance 1E+20 1000 M4=100	Multi Objective (MOB) Target Value / Weight (%) 1E+10 * BEST Value Bound/Tolerance 1E+20 1000 WORST Value Bound/Tolerance 0 1000 M4=100
MOB Apply	M2=OFF, M3=100 MOB Apply	M2=100, M3= OFF MOB Apply

Πίνακας 4-21: Πολυμεταβλητό μοντέλο – αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
109	VS1-M2	235,88	957,26	95,92%	99,50%	94,50%	39,43%	4,69
110	VS1-M3	237,93	674,23	91,10%	100,00%	95,24%	47,96%	6,17
112	VS1-M3-4	234,55	845,45	95,67%	99,87%	94,62%	39,68%	6,53

5. P-διάμεσος με περιορισμό χωρητικότητας

Από το μενού **View → Properties** εισάγεται η τιμή **CAP=136** (ισοκατανομή των μαθητών στα σχολεία+1). Έπειτα, από την καρτέλα **Algorithms / Other** επιλέγεται το **Greedy Transport**. Τέλος, από το κουμπί **Exchange Allocation after Greedy Transport** επιλέγεται το **Integrate** και **Capacity Tolerance=16%** (βλ. εικόνα 4-11). Πρέπει να αναφερθεί ότι η διαδικασία αυτή είναι ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης, εξ ου και κάπως δύσχρηστη. Στη διεθνή βιβλιογραφία, λόγω της πολυπλοκότητας αντίστοιχων προβλημάτων, οι τεχνικές ικανοποιητικής επίλυσης περιορίζονται σε προβλήματα της τάξης των 50-500 κόμβων. Το υπόβαθρο της Τρίπολης περιλαμβάνει 1358 κόμβους, και η μέθοδος επίλυσης που ακολουθήθηκε είναι πρωτότυπη (δεν υπάρχει σε δημοσιευμένη μελέτη). Αν συγκριθούν τα αποτελέσματα με τις βέλτιστες τιμές του απλού μοντέλου P-διαμέσου, διαπιστώνεται αρκετά καλή συμπεριφορά της μεθόδου.

(α) Αλγόριθμος κατάτμησης

Θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος κατάτμησης στις αρχικές λύσεις #10, #16, #23 και #41 (οι οποίες επιλέχθηκαν λόγω της χαμηλής ανισοκατανομής της ζήτησης). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ενδείκνυται για τέτοιου είδους δύσκολα προβλήματα, λόγω της ταχύτητας με την οποία εκτελείται. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4-22: P-διάμεσος με περιορισμό χωρητικότητας – αλγόριθμος κατάτμησης

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
113	SP-#10-16%	253,96	1357,79	85,72%	96,41%	94,75%	0,56%	51,22
114	SP-#16-16%	251,30	1357,79	85,29%	96,78%	94,68%	0,33%	51,30
115	SP-#23-16%	258,54	1386,09	85,10%	96,35%	94,50%	0,43%	47,48
116	SP-#41-16%	256,87	1357,79	84,61%	96,90%	94,62%	0,41%	79,23

Εικόνα 4-11: Ρυθμίσεις περιορισμού χωρητικότητας

The screenshot displays the S-Distance software interface. On the left, a table lists scenarios with columns for Cost, Demand, Covered, and Name. Below this is the 'Value Properties' dialog box, where 'CAP: 136' is highlighted with a red circle. To the right, the 'Algorithms' tab is active, showing options for 'Greedy Transport' (selected) and 'Exchange Allocation after Greedy Transport' (with 'Integrate' checked). The 'Command Line' section at the bottom shows '[12] node Initial Solution defined'.

Cost	Demand	Covered	Name
505,55 - [323]	135	100 %	
512,89 - [208]	133	100 %	
1276,51 - [736]	133	57,14 %	
595,54 - [549]	135	100 %	
482,58 - [1350]	135	100 %	
521,29 - [246]	136	100 %	
820,04 - [1079]	136	99,26 %	

6. Υφιστάμενη κατάσταση με και χωρίς περιορισμό χωρητικότητας

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η αρχική λύση των 12 σχολείων όπως υπολογίστηκε στην αρχή του υποκεφαλαίου, με και χωρίς τον περιορισμό χωρητικότητας. Για να ισχύσει ο περιορισμός, από το μενού **View → Properties** εισάγεται η τιμή **CAP=136** (ισοκατανομή των μαθητών στα σχολεία+1). Έπειτα, από την καρτέλα **Algorithms / Other** επιλέγεται το **Greedy Transport** και εισάγεται η αρχική λύση (βλ. κ. 4.5.3.3). Τέλος, γίνεται κλικ στο κουμπί **Exchange Allocation after Greedy Transport**.

Πίνακας 4-23: Υφιστάμενη κατάσταση με και χωρίς περιορισμό χωρητικότητας

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκατανομή	Δευτερόλεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1Χ 800 μ.	2Χ		
1C	12-SC-CAP	397,84	2411,02	65,94%	92,58%	87,00%	0,43%	13,45
1UC	12-SC-UNCAP	303,90	1225,69	77,99%	98,76%	94,75%	40,42%	0,27

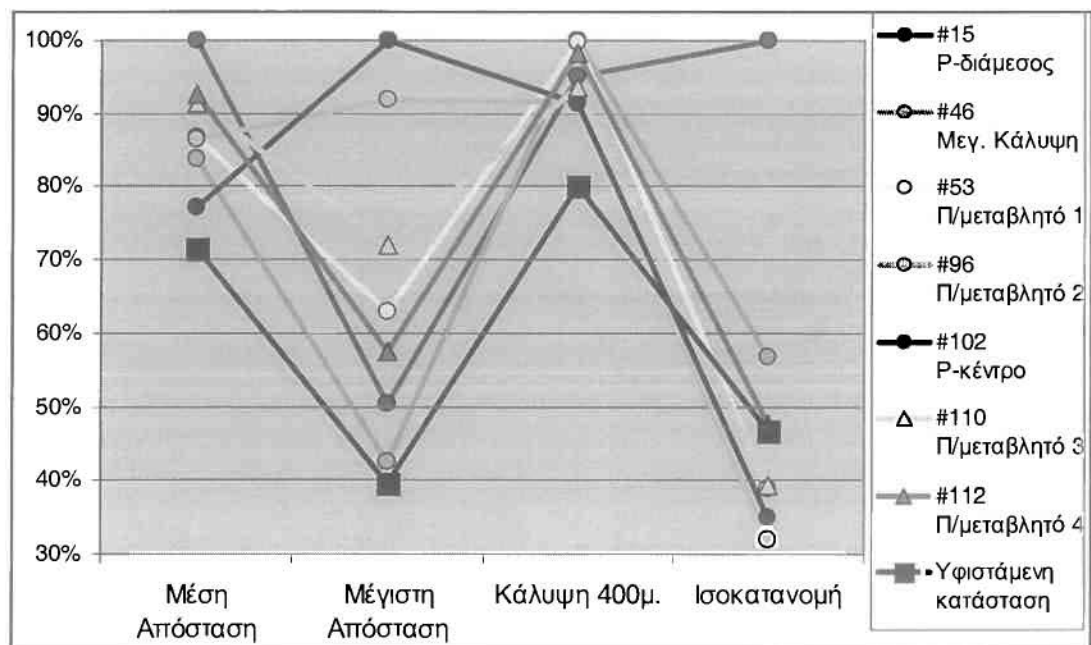
4.5.3.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Σε ένα πραγματικό χωροθετικό πρόβλημα, δεν είναι ανάγκη να τρέξουν τόσοι πολλοί αλγόριθμοι όπως στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Αυτό έγινε για να γνωρίσει ο χρήστης τις δυνατότητες του λογισμικού και τα σημεία που χρειάζονται προσοχή. Από τις παραπάνω λύσεις, επιλέχθηκαν οι 8 αντιπροσωπευτικότερες και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τις λύσεις #1C και #1UC της υφιστάμενης κατάστασης. Στο γράφημα 4-1 συγκρίνονται οι λύσεις χωρίς περιορισμό χωρητικότητας. Με 100% βαθμολογείται η καλύτερη λύση, ενώ οι υπόλοιπες βαθμολογούνται ανάλογα με την απόκλιση τους από την καλύτερη (ανά χαρακτηριστικό).

Πίνακας 4-24: Χαρακτηριστικές λύσεις μοντέλων και υφιστάμενη κατάσταση

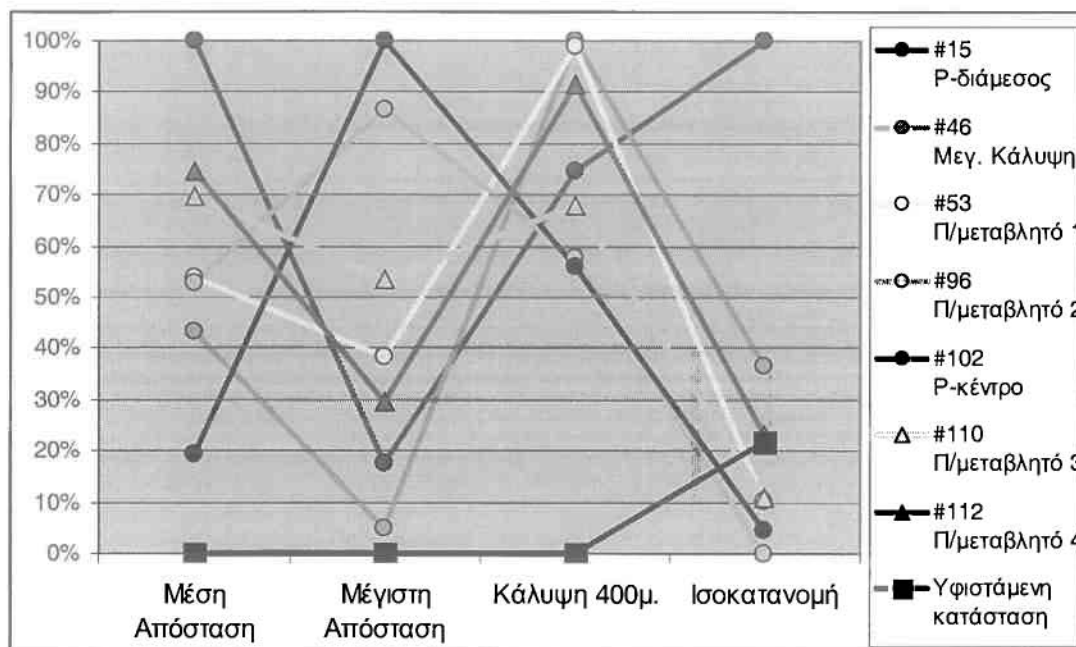
ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκα- τανομή	Δευτερό- λεπτα
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X		
15	CL#3-1500	217,54	964,66	92,39%	99,50%	93,70%	18,91%	8,83
46	CL(Init)-5000	259,27	1139,33	97,28%	99,87%	95,43%	33,25%	45,50
53	CL#33-1500	250,48	772,57	97,09%	100,00%	95,74%	48,68%	13,30
96	VS3-M1-#3	251,35	527,57	89,12%	100,00%	94,38%	59,19%	75,35
102	BSM[VS1]#101	282,03	485,29	88,81%	100,00%	95,18%	54,02%	9,45
110	VS1-M3	237,93	674,23	91,10%	100,00%	95,24%	47,96%	6,17
112	VS1-M3-4	234,55	845,45	95,67%	99,87%	94,62%	39,68%	6,53
114	SP-#16-16%	251,30	1357,79	85,29%	96,78%	94,68%	0,33%	51,30
1UC	12-SC-UNCAP	303,90	1225,69	77,99%	98,76%	94,75%	40,42%	0,27
1C	12-SC-CAP	397,84	2411,02	65,94%	92,58%	87,00%	0,43%	13,45

Γράφημα 4-1: Χαρακτηριστικές λύσεις μοντέλων και υφιστάμενη κατάσταση (α)



Στο γράφημα 4-2 συγκρίνονται οι ίδιες ακριβώς λύσεις. Με 100% βαθμολογείται η καλύτερη λύση και με 0% η χειρότερη (ανά χαρακτηριστικό). Οι υπόλοιπες σταθμίζονται ανάλογα μεταξύ των δύο ακραίων τιμών. Στην πραγματικότητα, τα δύο γραφήματα είναι πανομοιότυπα (βλέπε και χάρτες 4-ΑΞ1, 4-ΑΞ2).

Γράφημα 4-2: Χαρακτηριστικές λύσεις μοντέλων και υφιστάμενη κατάσταση (β)



Από τα παραπάνω μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Η υφιστάμενη χωροθέτηση των 12 σχολείων απέχει σημαντικά από οποιοδήποτε βέλτιστο χωρικό πρότυπο (μοντέλο).
- Η υφιστάμενη χωροθέτηση καλύπτει ικανοποιητικά τη ζήτηση (μαθητές) η οποία βρίσκονται σε ακτίνα 800μ. (σταθερότυπο σχολικών μονάδων) και για τις δυο μεθόδους κατανομής που εξετάστηκαν (98,76% και 92,58% αντίστοιχα).
- Η επαναχωροθέτηση σχολικών μονάδων δεν είναι απαραίτητη, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΕΠΑ.
- Η ολοένα αυξανόμενη ελάττωση των μαθητών διαχρονικά, υπαγορεύει το κλείσιμο μιας ή περισσότερων σχολικών μονάδων.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο διερευνάται η δυνατότητα παρέμβασης στην υπάρχουσα κατάσταση, μέσα από την οπτική των όσων έχουν προηγηθεί.

4.5.3.6 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προτού γίνει αναφορά στις προτάσεις, ο χρήστης, από το μενού **Import Coverage** επανεισάγει το σημειακό υπόβαθρο, αυτή τη φορά με την αναμενόμενη ζήτηση το 2022 (**Weights Field: D2022**), όπως αναλύθηκε στο κ. 4.5.3.1. Παρακάτω, θα αναλυθούν δυο σενάρια:

1. Η χωροθέτηση μιας επιπλέον σχολικής μονάδας (θεωρητικό σενάριο)
2. Η απομάκρυνση μιας υφιστάμενης σχολικής μονάδας (πιθανό σενάριο)

1. Χωροθέτηση μιας επιπλέον σχολικής μονάδας

Επειδή στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχει ιδιαίτερο νόημα να υποδειχθεί μια συγκεκριμένη θέση (δεν υπάρχουν στοιχεία για τα διαθέσιμα γήπεδα κ.λπ.) θεωρήθηκε καλύτερο κάθε υποψήφιος (13ος) κόμβος να πάρει μια τιμή, η οποία θα προκύπτει από τη μείωση που θα προκαλεί στην αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου P-διαμέσου. Αυτή η τιμή φαίνεται γραφικά στο *χάρτη 4-III*. Η αξιολόγηση των κόμβων έγινε με βάση την απόκλιση από αυτή τη βέλτιστη τιμή. Ο χάρτης, υποδεικνύοντας αρκετές κατάλληλες, διεσπαρμένες πιθανές λύσεις, είναι αρκετά χρήσιμος και στην περίπτωση που πρέπει να χωροθετηθούν 1-3 επιπλέον σχολεία. Η κατανομή των μαθητών έγινε στο πλησιέστερο σχολείο και τα χαρακτηριστικά της βέλτιστης λύσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-25: Προσθήκη ενός επιπλέον σχολείου – βέλτιστη λύση

ID	12 Σχολεία	Απόσταση (μ.)		Ποσοστό κάλυψης σε ακτίνα			Ανισοκατανομή
	Μέθοδος	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	1X 800 μ.	2X	
Π1	13-ADD	282,04	1218,07	81,88%	99,24%	93,33%	44,51%

2. Απομάκρυνση μιας υφιστάμενης σχολικής μονάδας

Έχοντας πατημένο το πλήκτρο Shift και κάνοντας κλικ σε κάποιο υφιστάμενο κέντρο στο παράθυρο του χάρτη, αυτό απομακρύνεται από την τρέχουσα λύση. Με τον ίδιο τρόπο είναι δυνατόν να προστεθούν άλλα κέντρα σε θέσεις που επιθυμεί ο χρήστης. Κάθε φορά που γίνεται αυτό, εμφανίζεται η νέα τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, με αποτέλεσμα ο χρήστης να πληροφορείται για τις συνέπειες αυτών των

ενεργειών στην ποιότητα της λύσης. Παρακάτω θα αξιολογηθούν οι αρνητικές συνέπειες από την κατάργηση, ενός κάθε φορά, υφιστάμενου σχολείου. Η κατανομή θα γίνει τόσο στο πλησιέστερο σχολείο όσο και με βάση τον περιορισμό χωρητικότητας (βλ. πίνακα 4-26). Η κωδική ονομασία κάθε λύσης είναι -XY, όπου X ο αριθμός του δημοτικού σχολείου που αφαιρέθηκε και Y=A (κατανομή των μαθητών στο πλησιέστερο σχολείο) ή Y=B (κατανομή των μαθητών με περιορισμό χωρητικότητας 110 μαθητές ανά σχολείο). Στον πίνακα 4-26 φαίνονται οι απόλυτες τιμές των μεταβλητών ενώ στον πίνακα 4-27 οι αποκλίσεις μεταξύ τους της βέλτιστης τιμής τους.

Πίνακας 4-26: Αφαίρεση ενός σχολείου – απόλυτες τιμές μεταβλητών

Κωδ.	Απόσταση (μ.)		% Κάλυψης σε ακτίνα		Ανισοκατανομή
	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	800 μ.	
-1A	323,21	1262,60	74,05%	98,56%	41,51
-2A	355,03	1218,07	63,18%	98,65%	38,49
-3A	310,83	1218,07	76,15%	98,65%	42,86
-4A	315,24	1250,17	75,98%	98,65%	42,84
-5A	327,77	1218,07	72,70%	97,72%	42,18
-6A	340,78	1706,91	74,89%	95,78%	34,42
-7A	330,44	1266,25	71,01%	98,31%	42,67
-8A	334,17	1218,07	72,78%	98,14%	43,53
-9A	325,13	1218,07	72,28%	98,65%	39,15
-10A	311,70	1218,07	75,82%	98,65%	42,02
-11A	311,69	1218,07	75,73%	98,65%	43,03
-12A	311,14	1218,07	76,07%	98,65%	45,39
-1B	411,45	2411,02	63,85%	93,00%	1,84
-2B	430,62	1947,95	57,20%	92,24%	1,84
-3B	411,74	1947,95	64,36%	90,81%	1,84
-4B	398,19	2411,02	64,02%	93,85%	1,84
-5B	426,19	1947,95	61,41%	89,89%	1,84
-6B	370,55	1786,68	67,90%	95,53%	1,84
-7B	412,73	1947,95	62,59%	91,74%	1,84
-8B	433,07	2128,83	60,32%	89,90%	1,84
-9B	408,09	1947,95	62,59%	92,16%	1,84
-10B	412,48	1947,95	63,68%	90,81%	1,84
-11B	402,96	2411,02	64,70%	93,00%	1,84
-12B	402,11	2411,02	65,20%	93,17%	1,84
ΥΚ-2022-A	308,52	1218,07	77,08%	98,65%	37,48%
ΥΚ-2022-B	332,56	1266,25	70,93%	98,39%	15,81%
Σχολεία που προκαλούν ανισοκατανομή: #6-69,1%, #1-36,4%, #4-2,1%...					

Πίνακας 4-27: Αφαίρεση ενός σχολείου – συγκριτικές τιμές μεταβλητών

Κωδ.	Απόσταση (μ.)		% Κάλυψης σε ακτίνα		Ανισοκα- τανομή
	Μέση	Μέγιστη	400 μ.	800 μ.	
-1A	3,98%	3,66%	2,76%	0,09%	20,60%
-2A	14,22%	-	17,03%	0,00%	11,82%
-3A	-	-	-	-	24,52%
-4A	1,42%	2,64%	0,22%	0,00%	24,46%
-5A	5,45%	-	4,53%	0,94%	22,55%
-6A	9,64%	40,13%	1,65%	2,91%	-
-7A	6,31%	3,96%	6,75%	0,34%	23,97%
-8A	7,51%	-	4,43%	0,52%	26,47%
-9A	4,60%	-	5,08%	-	13,74%
-10A	0,28%	-	0,43%	-	22,08%
-11A	0,28%	-	0,55%	-	25,01%
-12A	0,10%	-	0,11%	-	31,87%
-1B	11,04%	34,94%	5,96%	2,65%	-
-2B	16,21%	9,03%	15,76%	3,44%	-
-3B	11,12%	9,03%	5,21%	4,94%	-
-4B	7,46%	34,94%	5,71%	1,76%	-
-5B	15,02%	9,03%	9,56%	5,90%	-
-6B	-	-	-	-	-
-7B	11,38%	9,03%	7,82%	3,97%	-
-8B	16,87%	19,15%	11,16%	5,89%	-
-9B	10,13%	9,03%	7,82%	3,53%	-
-10B	11,32%	9,03%	6,22%	4,94%	-
-11B	8,75%	34,94%	4,71%	2,65%	-
-12B	8,52%	34,94%	3,98%	2,47%	-

Σημείωση: **μεγάλα** ποσοστά υπονοούν σημαντικό σχολείο (για κάθε μοντέλο/μεταβλητή)

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα.

- Τα σχολεία που συστεγάζονται με άλλα (3&10, 11&12), παρουσιάζονται ως μικρής σημασίας στα μοντέλα χωρίς περιορισμό χωρητικότητας (Α).
- Τα σχολεία #6Α, χωρίς περιορισμό χωρητικότητας υπολειτουργεί. Παρ' όλα αυτά, η απομάκρυνσή του εκτινάσσει τη μέγιστη διανυόμενη απόσταση.
- Το σχολείο #6Β, με περιορισμό χωρητικότητας (ρεαλιστική κατάσταση) θεωρείται με διαφορά το λιγότερο αποδοτικό, μιας και πρέπει ούτως ή άλλως να εξυπηρετήσει περίπου 100 μαθητές, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται αρκετά απομακρυσμένοι.
- Για να παρθούν οριστικές αποφάσεις χρειάζονται επιπλέον δεδομένα, όπως η πραγματική χωρητικότητα κάθε σχολικής μονάδας και σε τι ποσοστό είναι επιτρεπτή η παραβίαση αυτής της χωρητικότητας.

Μερικά χαρακτηριστικά που θα έκαναν την παρούσα ανάλυση περισσότερο έγκυρη θα μπορούσαν να είναι το ακριβές δυναμικό κάθε σχολείου, όπως προκύπτει από τις εγγραφές του περασμένου σχολικού έτους και η χωρική κατανομή των μαθητών τόσο στην πόλη, όσο και σε αυτά. Μόνο τότε τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν μπορεί να θεωρηθούν έγκυρα. Για παράδειγμα, τα σχολεία μπορεί να καλύπτουν ζήτηση και εκτός της πόλης της Τρίπολης. Παρ' όλα αυτά, για τους στόχους της παρούσας διπλωματικής, η οποία δεν μπορεί –ούτε πρέπει– να θεωρηθεί ολοκληρωμένη μελέτη χωροθέτησης, τα παραπάνω κρίνονται ως αρκετά ικανοποιητικά.

4.5.4 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

4.5.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το δεύτερο πρόβλημα αναφέρεται στην περίπτωση των ασθενοφόρων (βλ. κ. 4.4.3.2). Η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων (υπόβαθρα) της περιοχής μελέτης έχει ως εξής:

8. Εκτελείται το λογισμικό (**S-Distance.exe**).
9. Επιλέγεται ένας φάκελος του H/Y ως φάκελος εργασίας (**Working Directory**) από το μενού **View → Properties**.
10. Γίνεται κλικ στο μενού **File → Import Coverage** ή εναλλακτικά στο κουμπί  της μπάρας εργαλείων.
11. Στην οθόνη που εμφανίζεται γίνεται *αποεπιλογή* του πεδίου **Weights Field**. Οι υπόλοιπες επιλογές μένουν ως έχουν.
12. Γίνεται αναζήτηση του αρχείου **net_2.dbf** μέσω των επιλογών στο κάτω μέρος της οθόνης και γίνεται κλικ επάνω του. Γίνεται κλικ στο κουμπί **Import** μόλις αυτό ενεργοποιηθεί.
13. Μόλις απενεργοποιηθεί το κουμπί **Import** γίνεται αναζήτηση του αρχείου **trip_nod.dbf** μέσω των επιλογών στο κάτω μέρος της οθόνης και γίνεται κλικ επάνω του. Γίνεται εκ νέου κλικ στο κουμπί **Import** μόλις αυτό ενεργοποιηθεί.
14. Μόλις απενεργοποιηθεί το κουμπί **Import** γίνεται κλικ στο κουμπί **Done**.

4.5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ

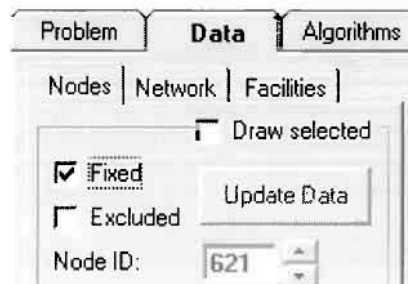
Οι ελάχιστες αποστάσεις θα υπολογιστούν εκ νέου, αυτή τη φορά λαμβάνοντας υπόψη τα πραγματικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου (εφόσον θα χωροθετηθούν οχήματα βλ. κ. 4.4.2), ενώ οι μονάδες μέτρησης είναι σε δευτερόλεπτα.

1. Από την μπάρα επιλογής επιλέγεται το μοντέλο [**Shortest Paths**]
2. Γίνεται κλικ στο κουμπί **RUN** που βρίσκεται επάνω στην μπάρα επιλογής
3. Αφού ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί (σε H/Y P4-512MB χρειάστηκαν 11 δευτερόλεπτα για τους 1.358 κόμβους) είναι δυνατόν να αποθηκευτούν οι δυο πίνακες, ούτως ώστε να μην γίνεται η ίδια διαδικασία κάθε φορά που εκτελείται το λογισμικό. Από το μενού **File → Save Data** (ή εναλλακτικά από το κουμπί  της μπάρας εργαλείων) αποθηκεύεται ο πίνακας ελαχίστων αποστάσεων, λ.χ. ως **SEC_01.dcf** και με τον ίδιο τρόπο αποθηκεύεται και ο πίνακας προηγούμενων κόμβων, λ.χ. ως **SEC_01.prd**.

4.5.3.3 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ

Ως αρχική και σταθερή λύση θεωρείται το νοσοκομείο (το οποίο υποτίθεται ότι έχει σε ετοιμότητα τουλάχιστον 1 από τα 7 διαθέσιμα ασθενοφόρα). Ως εκ τούτου, γίνεται επιλογή του πλήκτρου **Fixed Nodes**  της μπάρας εργαλείων, ενώ από την καρτέλα **Data / Nodes**, βρίσκεται ο κόμβος #621 όπου είναι χωροθετημένο το νοσοκομείο και γίνεται επιλογή του **Fixed**. (βλ. εικόνα 4-12). Τέλος, στη γραμμή εντολών πληκτρολογείται 621,init ή εναλλακτικά γίνεται Shift-κλικ του κόμβου 621 στο χάρτη (αφού πρώτα επιλεγθεί το **Draw selected** από την καρτέλα **Data / Nodes**).

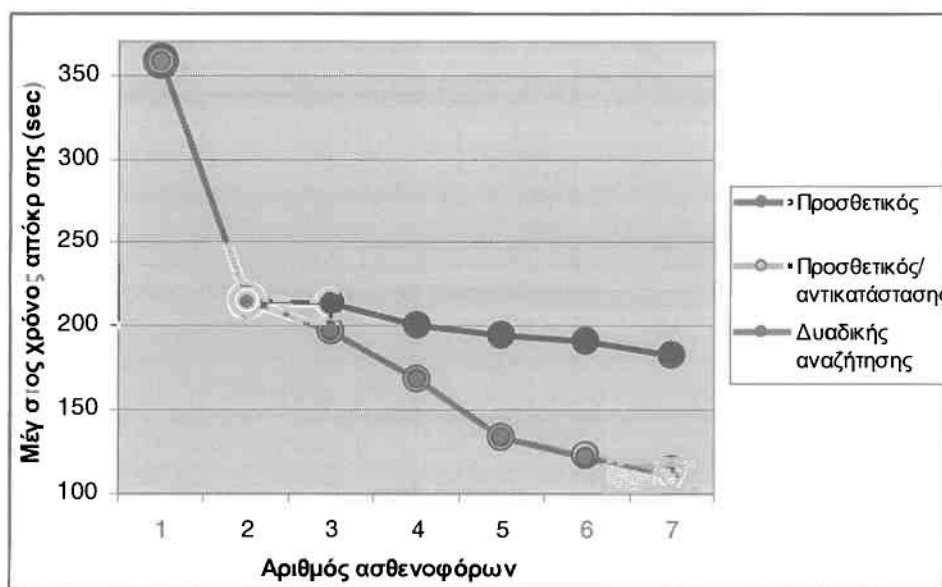
Εικόνα 4-12: επιλογή ενός κόμβου ως σταθερό



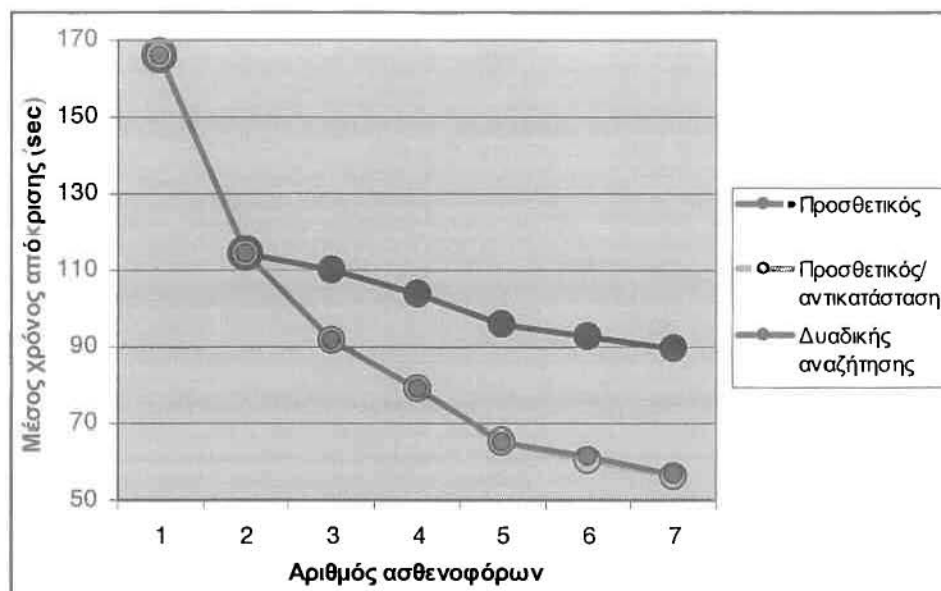
4.5.3.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Επειδή τα ασθενοφόρα σπεύδουν στην περιοχή του περιστατικού και όχι το αντίθετο, ενεργοποιείται η επιλογή **Travel [From] Facilities** από την καρτέλα **Problem**. Θα χρησιμοποιηθεί το πολυμεταβλητό μοντέλο με τις ρυθμίσεις που φαίνονται στη σελίδα 137. Ως αρχικός αλγόριθμος έτρεξε ο προσθετικός αλγόριθμος για 7 κέντρα. Έπειτα έτρεξε το Υβρίδιο προσθετικού / αντικατάστασης κορυφής (βλ. σελ. 133) για 7 κέντρα. Αυτές οι μέθοδοι έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν όλες τις ενδιάμεσες λύσεις (1-7). Οι λύσεις του απλού προσθετικού αλγόριθμου βελτιστοποιήθηκαν και με την τεχνική της δυαδικής αναζήτησης (αλγόριθμος αντικατάστασης κορυφής) για το μοντέλο P-κέντρο όπως αναλύθηκε στη σελίδα 138. Στο γράφημα 4-3 φαίνονται οι 7 αρχικές λύσεις καθώς και οι 7 βελτιωμένες, συναρτήσει της μεταβλητής της μέγιστης απόκρισης (σε δευτερόλεπτα), όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό. Αντίστοιχα, στο γράφημα 4-4 φαίνονται οι ίδιες λύσεις συναρτήσει της μεταβλητής της μέσης απόκρισης (σε δευτερόλεπτα). Να σημειωθεί, ότι για τα συγκεκριμένα μοντέλα, δεν λαμβάνονται υπόψη τα επιπλέον ασθενοφόρα που τυγχάνουν να βρίσκονται στο ίδιο σημείο (λ.χ. στο νοσοκομείο).

Γράφημα 4-3: Αριθμός ασθενοφόρων και μέγιστος χρόνος απόκρισης



Γράφημα 4-4: Αριθμός ασθενοφόρων και μέσος χρόνος απόκρισης



Πίνακας 4-28: Χωροθέτηση ασθενοφόρων – αποτελέσματα αλγορίθμων

Μέθοδοι-> Αριθμός ασθενο- φόρων	Προσθετικός Ρ-κέντρου		Προσθετ.+αντικατ. Πολυμεταβλητού M1		Διαδική αναζήτηση Ρ-κέντρου / Π.μεταβλ.	
	Χρόνος αντίδρασης		Χρόνος αντίδρασης		Χρόνος αντίδρασης	
	Μέγιστος	Μέσος	Μέγιστος	Μέσος	Μέγιστος	Μέσος
1	358,18	165,83	358,18	165,83	358,18	165,83
2	214,32	114,4	214,32	114,4	214,32	114,4
3	213,29	109,92	196,81	91,63	196,81	91,63
4	200,77	103,69	167,52	79,15	167,52	79,15
5	194,90	95,62	133,51	65,46	133,51	65,46
6	190,26	92,68	122,13	60,5	121,27	61,69
7	182,84	89,5	113,94	56,1	109,66	57,09

Στο χάρτη 4-Π2 φαίνονται οι προτεινόμενες χωροθετήσεις των ασθενοφόρων για αριθμό οχημάτων 2 έως 6 (για το σύνολο των 7 διαθέσιμων ασθενοφόρων). Είναι φανερό πως με δύο έως τρία ασθενοφόρα εκτός νοσοκομείου η περιοχή καλύπτεται επαρκώς. Με αυτό το απλούστερο πρόβλημα, πιστεύουμε ότι ο αναγνώστης κατανόησε καλύτερα τις δυνατότητες του λογισμικού.

4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Με την εφαρμογή του λογισμικού, πιστεύουμε πως ο αναγνώστης πήρε μια γεύση των δυνατοτήτων και των αδυναμιών τόσο των μοντέλων χωροθέτησης-κατανομής, όσο και των αλγορίθμων οι οποίοι εφαρμόστηκαν. Διαπιστώθηκε η ανάγκη για γόνιμη κριτική του χρήστη στα παραγόμενα αποτελέσματα, τα οποία πολλές φορές μπορούν να ερμηνευτούν με περισσότερους από έναν τρόπο. Αυτό δεν είναι αρνητικό, αντίθετα, ενισχύει την πεποίθηση περί της δυσκολίας των προβλημάτων χωροθέτησης και ουσιαστικά ανοίγει νέους ορίζοντες περιγραφής του προβλήματος και κανονιστικής επίλυσης διαφόρων αντικειμενικών στόχων. Σίγουρα, οι δυνατότητες του λογισμικού δεν εξαντλήθηκαν στο παρόν κεφάλαιο. Από την άλλη, αρκετά στοιχεία που το απαρτίζουν χρειάζονται βελτίωση, ενώ άλλα χαρακτηριστικά απουσιάζουν τελείως. Οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες βελτιώσεις που αναμένονται (πιθανόν μέσω κάποιου μεταπτυχιακού ή διδακτορικής διατριβής) να γίνουν στο λογισμικό, μπορούν να συνοψισθούν στις εξής:

— Βραχυπρόθεσμες:

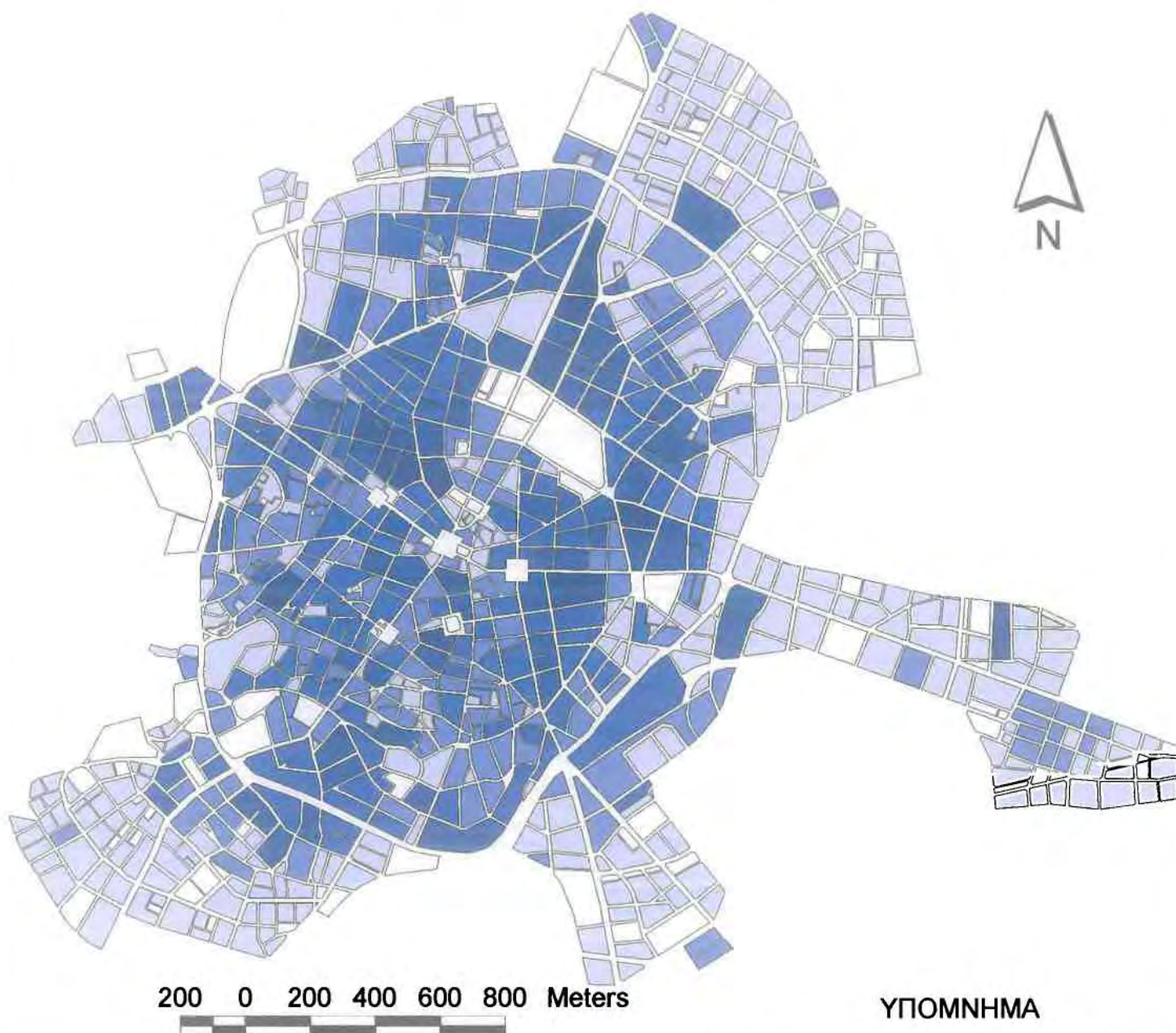
- ☒ Βελτίωση της ταχύτητας των υφιστάμενων αλγορίθμων.
- ☒ Πληρέστερη / ευκολότερη εφαρμογή του περιορισμού χωρητικότητας.
- ☒ Αλγόριθμος Lagrange για το μοντέλο μέγιστης κάλυψης.
- ☒ Προσθήκη περισσότερων εργαλείων / τεχνικών οπτικοποίησης της λύσης.
- ☒ Δυνατότητα του χρήστη να ανακαταλείπει τους κόμβους ζήτησης στα κέντρα εξυπηρέτησης.

— Μακροπρόθεσμες:

- ☒ Προσθήκη επιπλέον μοντέλων και αλγορίθμων.
- ☒ Δημιουργία αρχείου βοήθειας.
- ☒ Προσθήκη στοιχείων και απλών δεικτών χωρικής ανάλυσης.
- ☒ Δυναμική σύνδεση με ΓΣΠ και βάσεις δεδομένων.
- ☒ Δημιουργία κλάσεων και υποστήριξη εξωτερικών βιβλιοθηκών.
- ☒ (Πιθανόν) εισαγωγή στοιχείων χωρικής αλληλεπίδρασης (spatial interaction).
- ☒ Έκδοση / κυκλοφορία του λογισμικού (πιθανόν ως ανοικτής αρχιτεκτονικής).
- ☒ Υλοποίηση εντατικών αλγορίθμων σε ξεχωριστές βιβλιοθήκες της C++.

Η ενσωμάτωση των παραπάνω χαρακτηριστικών θα μετατρέψει το λογισμικό σε αναντικατάστατο και ισχυρότατο εργαλείο στη λήψη αποφάσεων χωροθέτησης. Για να γίνει αυτό, πρέπει και οι ίδιοι οι χρήστες να προσκομίζουν ιδέες και προτάσεις που θα βελτιώσουν αυτή την προσπάθεια και, πιθανόν, θα την καθιερώσουν σαν μια καλή εναλλακτική λύση. Προς το παρόν, οι ενδιαφερόμενοι απόκτησης μίας (δωρεάν για μη επαγγελματικούς σκοπούς) έκδοσης του λογισμικού, καθώς και όσοι επιθυμούν να εκφράσουν απορίες / παράπονα / σφάλματα του λογισμικού ή προτάσεις, μπορούν να μου στέλνουν e-mail στην ηλεκτρονική διεύθυνση ssirig@uth.gr.

ΧΑΡΤΗΣ 4-Α1: ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ 2001



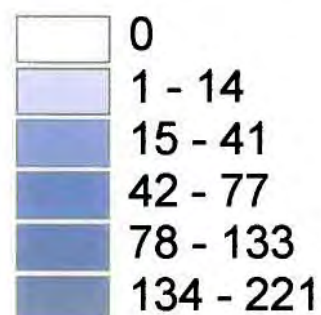
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

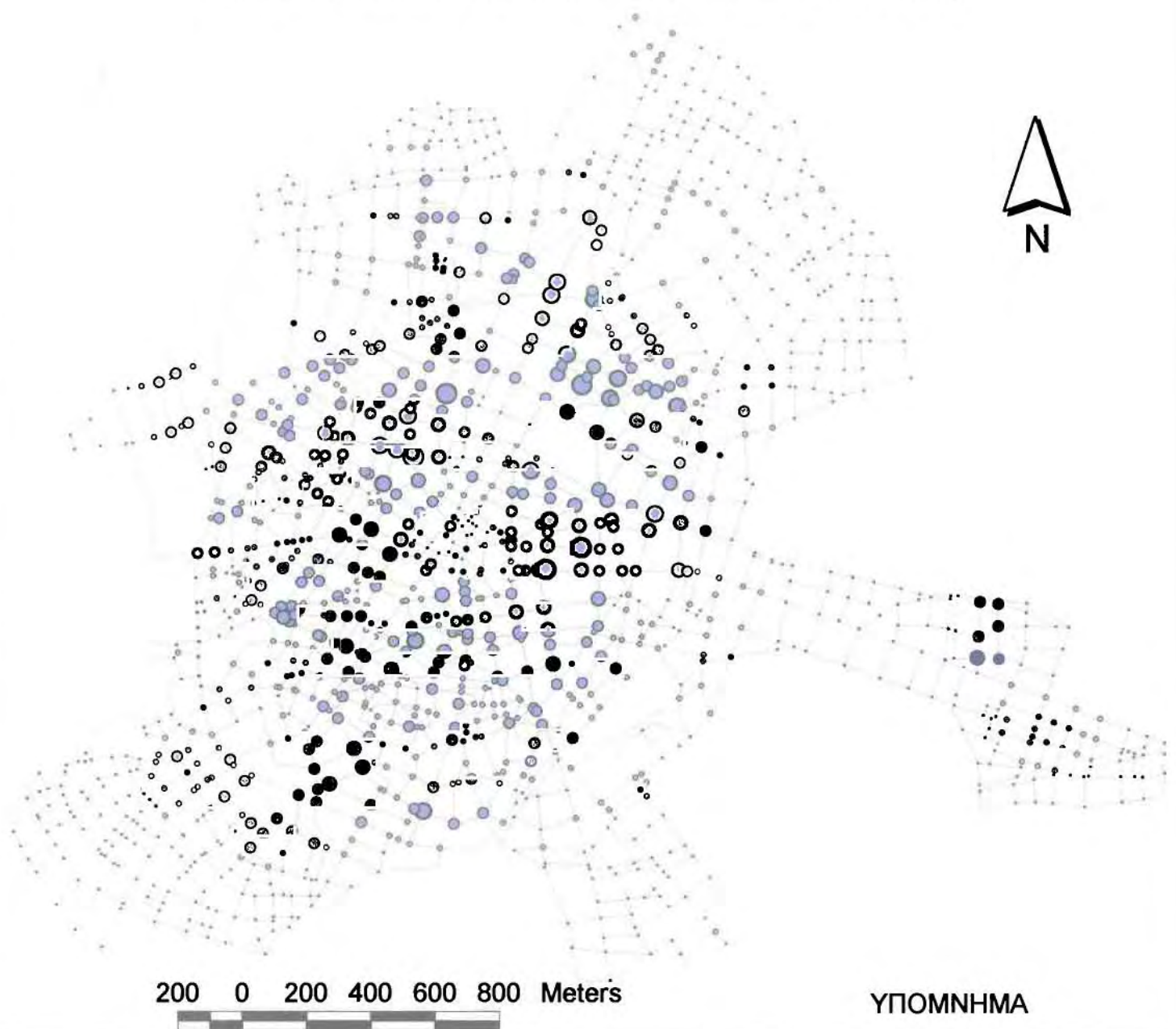
S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

Πληθυσμός 2001



ΧΑΡΤΗΣ 4-A2: ΚΟΜΒΟΙ ΖΗΤΗΣΗΣ (ΜΑΘΗΤΕΣ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ 2001)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

Οδικό δίκτυο

Μαθητές

- 0
- 0 - 1
- 2 - 3
- 4 - 8
- 9 - 11
- 12 - 13

ΧΑΡΤΗΣ 4-Α3: ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΡΙΠΟΛΗΣ



200 0 200 400 600 800 Meters



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

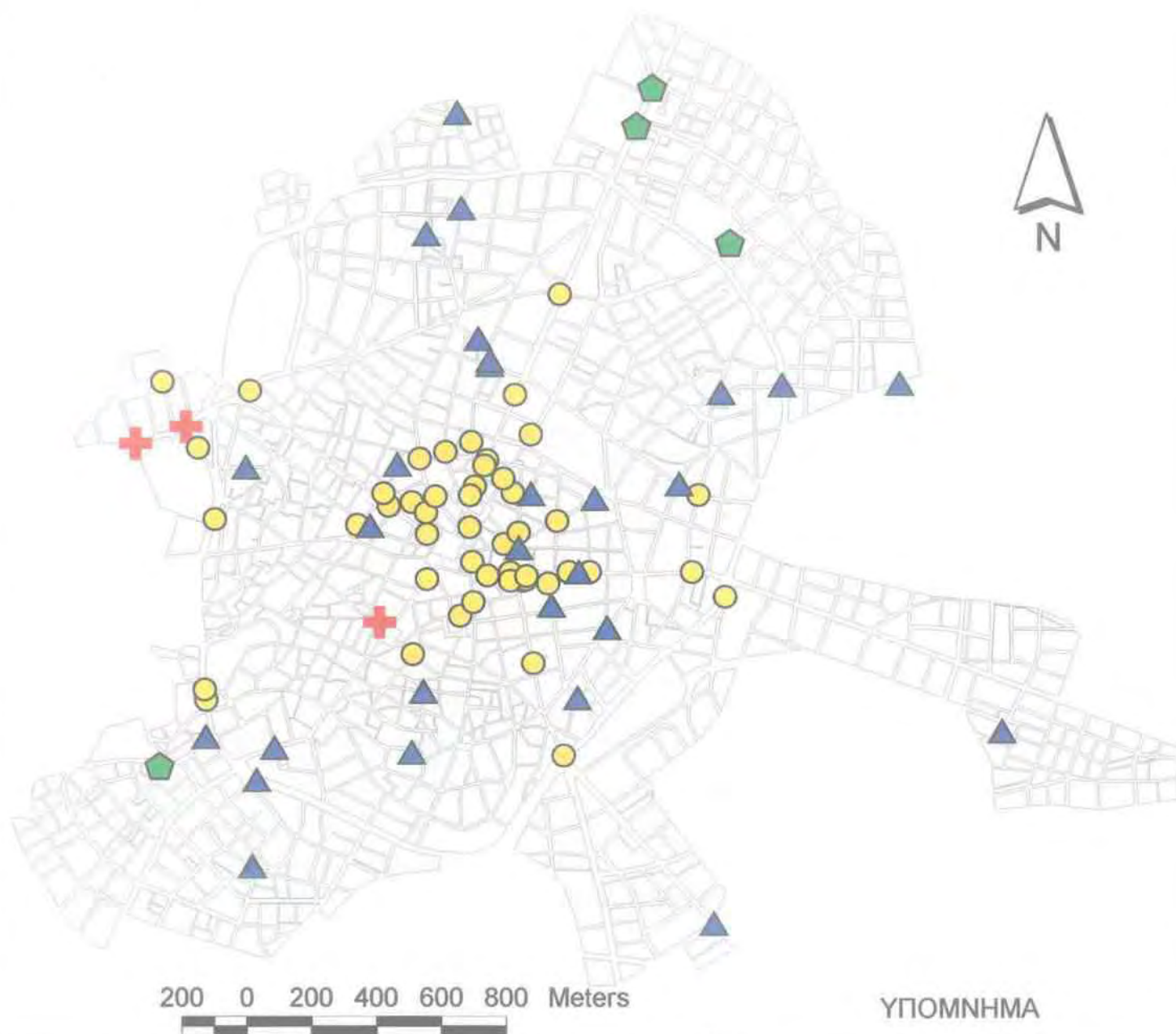
Οδικό δίκτυο

-  Λεωφόρος
-  Τοπικής σημασίας
-  Ήπιας κυκλοφορίας
-  Πεζόδρομος
-  Προβλεπόμενος

Κατευθύνσεις μονοδρόμων

-  Από - Προς
-  Προς - Από

ΧΑΡΤΗΣ 4-Α4: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

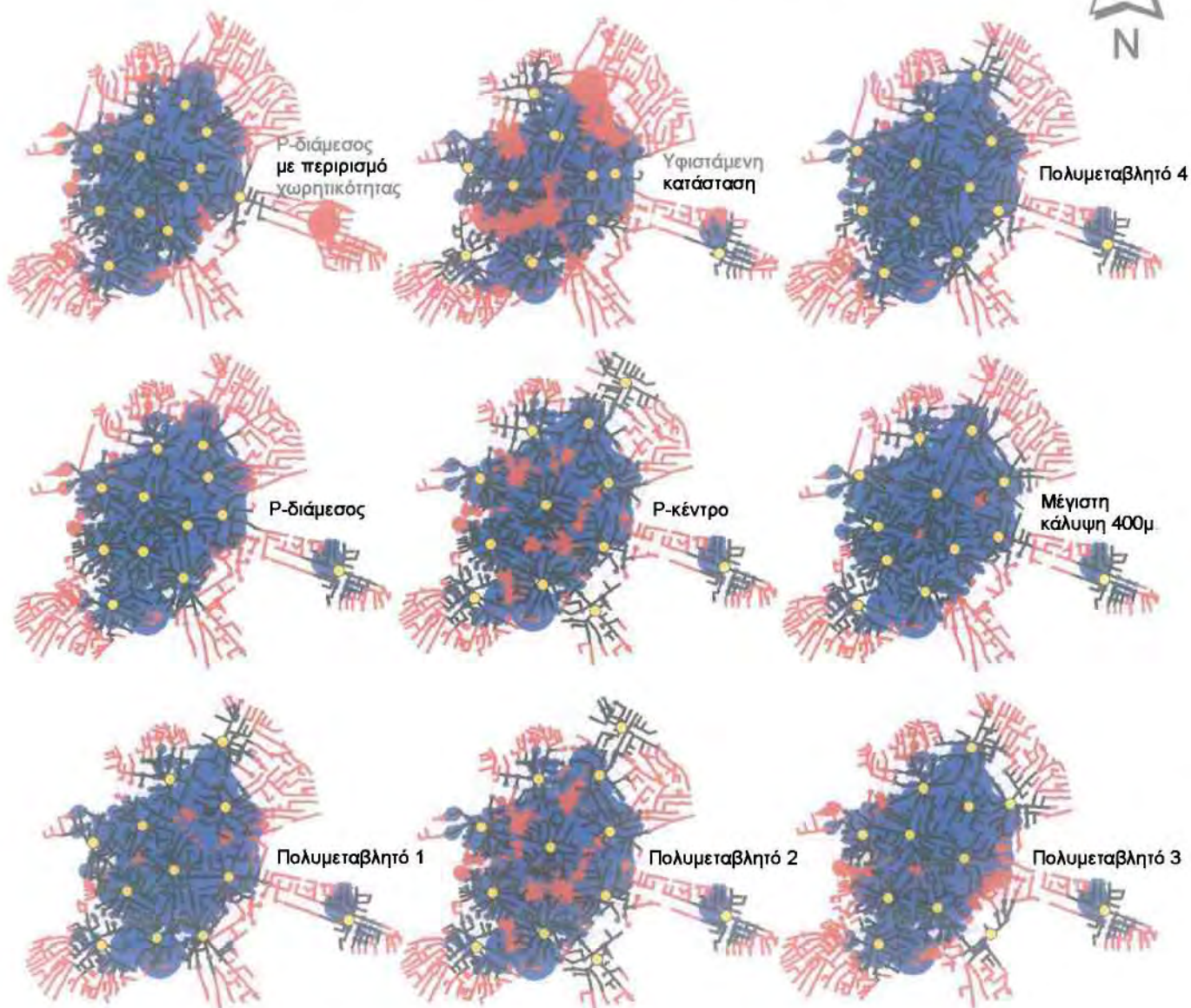
S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

□ Ο.Τ.

- ▲ Εκπαίδευση
- Αθλητισμός
- Υπηρεσίες / Πολιτισμός
- ✚ Υγεία - Πρόνοια

ΧΑΡΤΗΣ 4-ΑΞ1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ 12 ΣΧΟΛΕΙΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

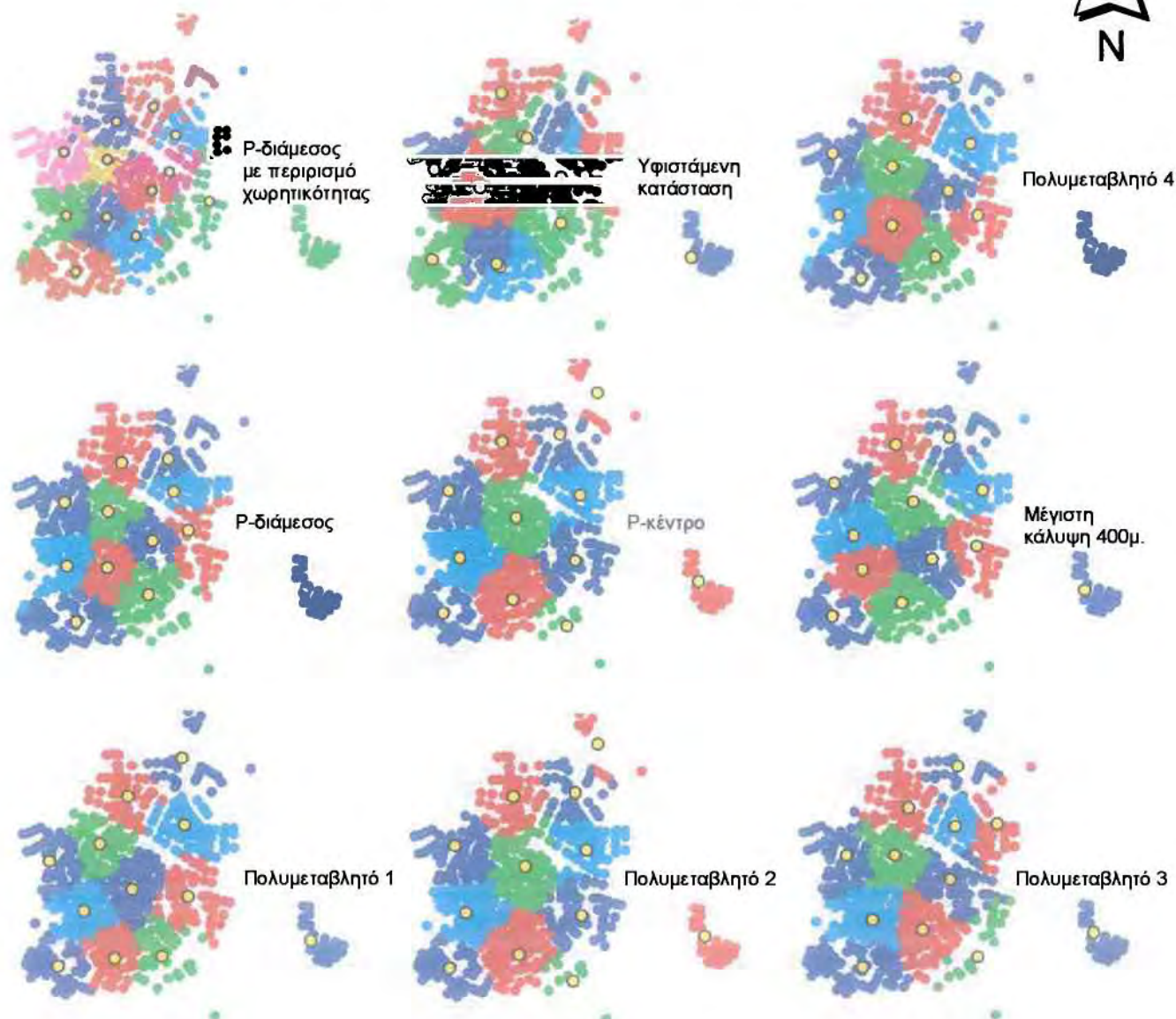
S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Θέση σχολείου
- Καλυπτόμενη ζήτηση (στα 400μ.)
- Μη καλυπτόμενη ζήτηση (στα 400μ.)

ΧΑΡΤΗΣ 4-ΑΞ2: ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΛΥΣΕΙΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΙΣ 12 ΣΧΟΛΕΙΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

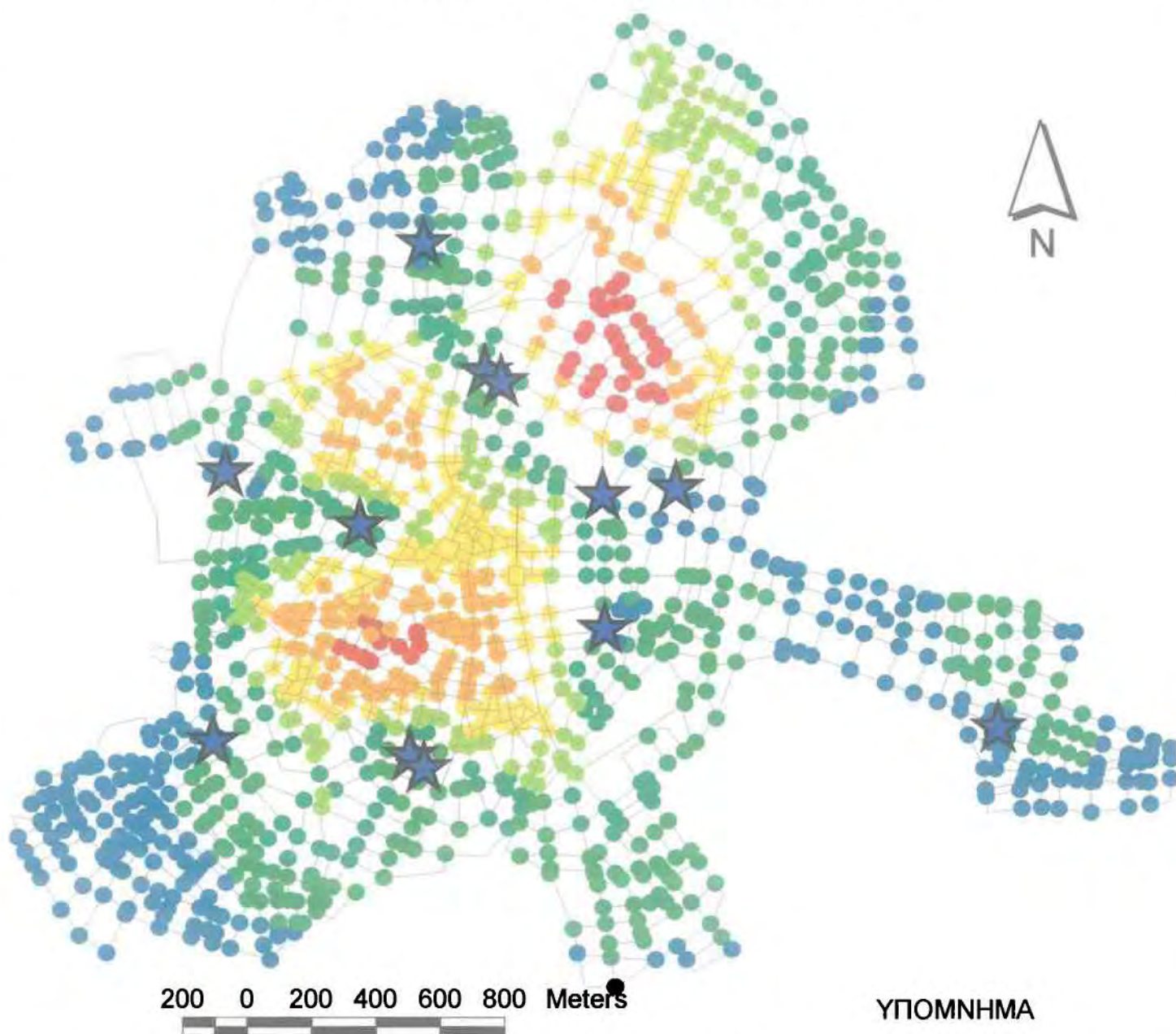
ΒΟΛΟΣ - 2003

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

○ Θέση σχολείου

Οι χρωματισμοί των ενοτήτων (clusters) έχουν σαν στόχο τον οπτικό διαχωρισμό τους.

ΧΑΡΤΗΣ 4-Π1: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΜΙΑΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΧΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

★ Υφιστάμενες θέσεις δημοτικών σχολείων

— Οδικό δίκτυο Τρίπολης

Απόκλιση από τη βέλτιστη λύση:

- 0,00% - 2,64%
- 2,64% - 4,34%
- 4,34% - 5,69%
- 5,69% - 6,82%
- 6,82% - 7,84%
- 7,84% - 8,73%
- 8,73% - 9,39%

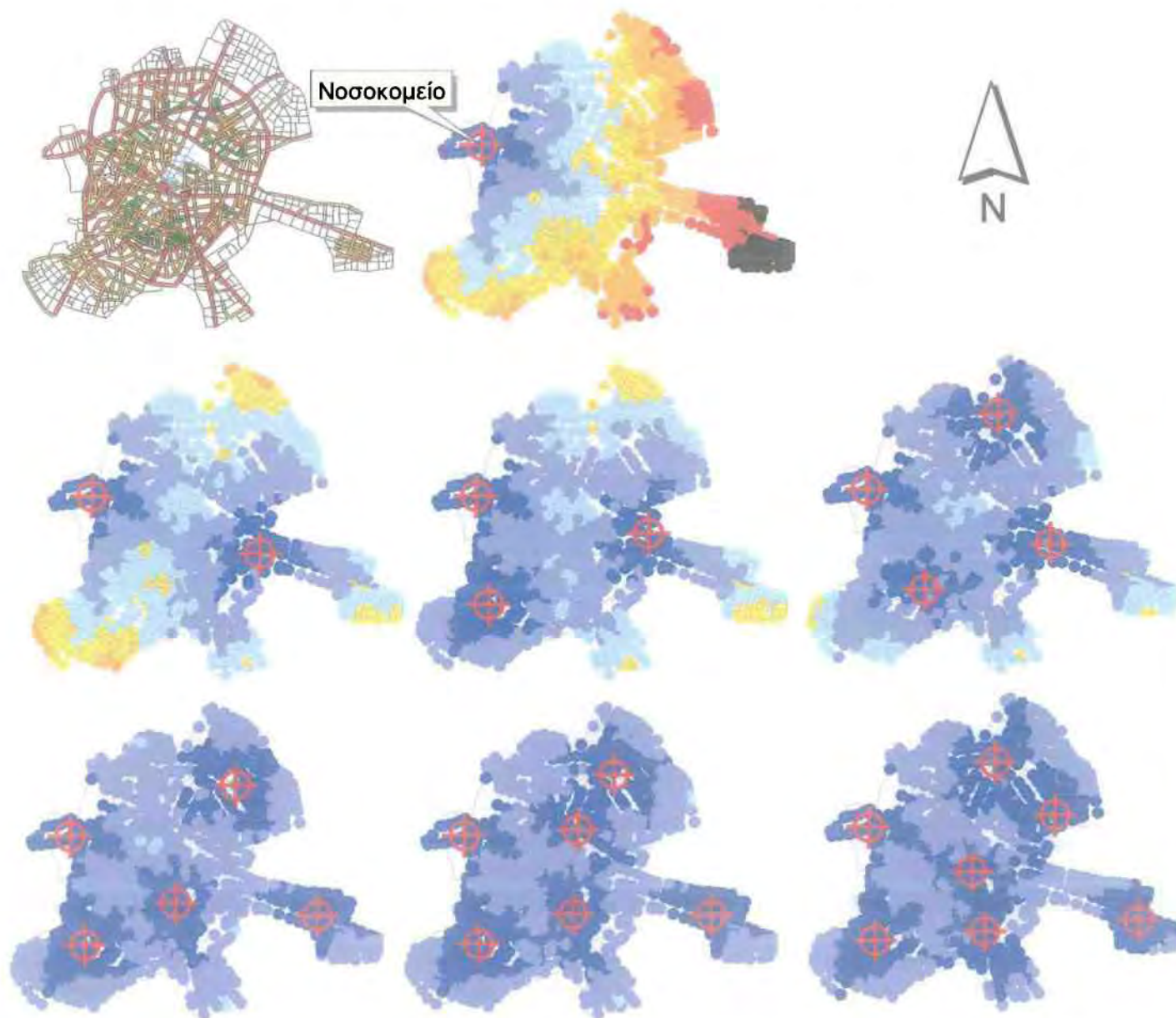
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

ΧΑΡΤΗΣ 4-Π2: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΕΙΣ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ ΕΚΤΟΣ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ (2-6)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΥΡΙΓΟΣ

S-DISTANCE:
ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΧΩΡΟΘΕΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
Περιοχή εφαρμογής: Τρίπολη

ΒΟΛΟΣ - 2003

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Οδικό δίκτυο

Θεσεις ασθενοφόρων

Χρόνος απόκρισης (μετακίνησης)
ασθενοφόρου σε δευτερόλεπτα

- 0 - 60
- 60 - 120
- 120 - 160
- 160 - 200
- 200 - 240
- 240 - 300
- 300 - 360

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΑΡΧΕΙΑ EXPORT

Πατώντας το κουμπί **EXPORT** στο παράθυρο διαλόγου **Solution Details**, εξάγονται στο φάκελο **Working Directory** τα εξής αρχεία:

— **NET_SP_TREES** & χαρακτηριστικά λύσης

Πρόκειται για αρχείο το οποίο περιέχει τα *δέντρα ελαχίστων αποστάσεων* από (ή προς) τους κόμβους ζήτησης στα αντίστοιχα κέντρα εξυπηρέτησης (εφόσον υπάρχει δίκτυο). Το πεδίο μπορεί να γίνει (Join) στο υπόβαθρο δικτύου, το οποίο πρέπει να είναι στη μορφή που εισήχθηκε στο λογισμικό. Τα τόξα που δεν χρησιμοποιούνται παίρνουν την τιμή 0, ενώ τα υπόλοιπα παίρνουν τον κωδικό ID του αντίστοιχου κέντρου εξυπηρέτησης (προς το παρόν δεν λειτουργεί σωστά σε προβλήματα με περιορισμό κόστους).

— **NODE_ALLOCATION** & χαρακτηριστικά λύσης

Πρόκειται για αρχείο το οποίο περιέχει την κατανομή των κόμβων στα κέντρα εξυπηρέτησης (εξάγεται με αύξουσα σειρά του ID). Οι τιμές δηλώνουν το ID του κέντρου εξυπηρέτησης, ενώ οι κόμβοι που είναι κέντρα παίρνουν τιμή 0.

— **NODE_CENTERS** & χαρακτηριστικά λύσης

Πρόκειται για αρχείο το οποίο περιέχει την τιμή ID κάθε κέντρου εξυπηρέτησης, και την τιμή 0 για κάθε κόμβο ζήτησης. Εξάγεται με αύξουσα σειρά του ID.

— **NODE_COVERAGE** & χαρακτηριστικά λύσης

Πρόκειται για αρχείο το οποίο περιέχει την απόσταση κάθε κόμβου από το κέντρο το οποίο τον εξυπηρετεί. Εξάγεται με αύξουσα σειρά του ID.

— **TABLE_DETAILS** & χαρακτηριστικά λύσης

Πρόκειται για αρχείο το οποίο περιέχει τον πίνακα χαρακτηριστικών της λύσης, με στηλοθέτες το μονό διάστημα. Μπορεί να εισαχθεί σε λογισμικά όπως το EXCEL.

2. ASCII ΑΡΧΕΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

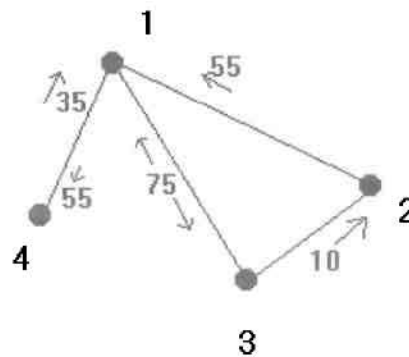
Υπάρχει η δυνατότητα από το μενού **File** → **Load Data** να εισαχθεί υπόβαθρο δικτύου το οποίο βρίσκεται σε μορφή κειμένου. Στο φάκελο DATA_OR_LIBRARY του συνοδευτικού CD-ROM, περιέχεται η γνωστή βιβλιοθήκη προβλημάτων γραφημάτων (δικτύων), τα οποία είναι έτοιμα για εισαγωγή. Η μορφή ενός τέτοιου αρχείου πρέπει να είναι η παρακάτω:

```
[ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΝΤΡΩΝ] [ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΚΜΩΝ] [P]
[FROM NODE] [TO NODE] [COST]
```

```
...
...
```

για παράδειγμα, το διπλανό γράφημα μπορεί να παρασταθεί ως εξής (έστω ότι θέλουμε να χωροθετήσουμε 2 κέντρα):

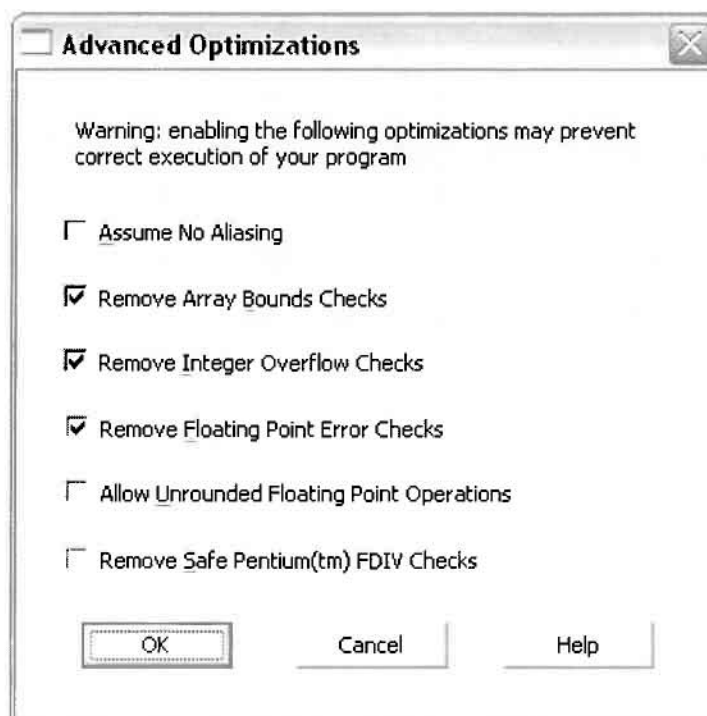
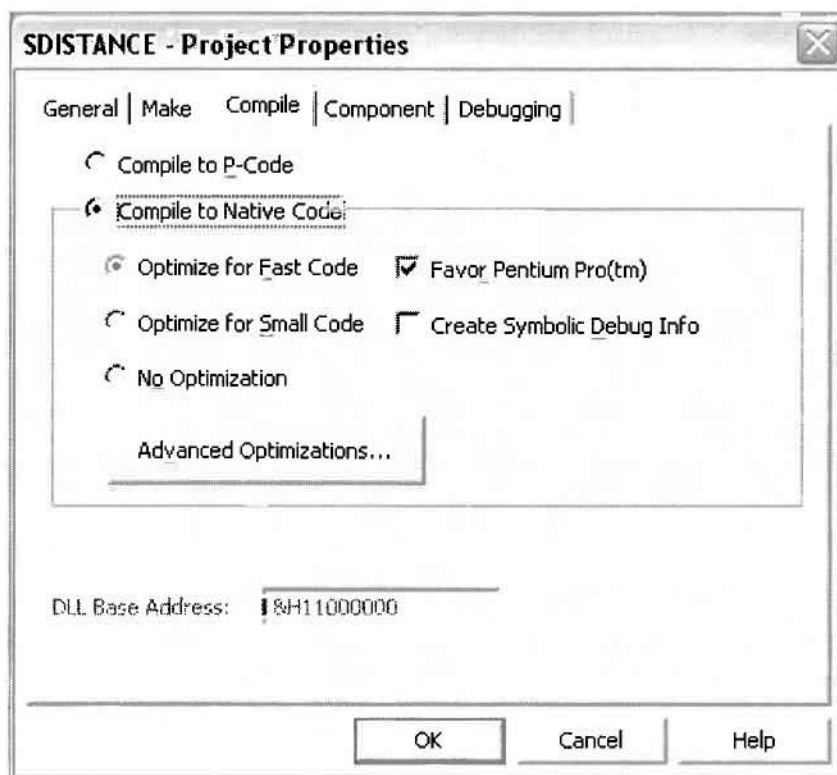
```
4 6 2
1 3 75
1 4 55
2 1 55
3 1 75
3 2 10
4 1 35
```



Η κατάληξη του αρχείου πρέπει να είναι *.TXT.

3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΚΩΔΙΚΑ VISUAL BASIC

Κατά το compilation του λογισμικού, επιλέχθηκαν οι εξής βελτιστοποιήσεις κώδικα, οι οποίες προσφέρονται από τη Visual Basic 6.0:



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΠΗΓΕΣ

- Αργύρης Θ. (1997), *Οικονομική του Χώρου: Τόμος Ι, Θεωρία του Τόπου Εγκαταστάσεως*, Θεσσαλονίκη: Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε.
- Adelman L. (1992), *Evaluating Decision Support and Expert Systems*, New York: Wiley Series in System Engineering.
- Ascough J. C., L. A. Deer-Achough, M. J. Shaffer, and J. D. Hanson (1998), "Subjective Evaluation of Decision Support Systems Using Multiattribute Decision Making (MADM)", *Multiple Objective Decision Making for Land, Water, and Environmental Management*, Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Brassard G., and P. Bratley (1996), *Fundamentals of Algorithmics*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc.
- Church R. L., and C. ReVelle (1974), "The Maximal Covering Location Model", *Papers of the Regional Science Association*, **32**, pp. 101-18.
- Church R. L., and Sorensen P. (1995), *Integrating Normative Location Models into GIS: Problems and Prospects with the p-Median Model*, New York: NCGIA Technical Report 94-5.
- Cohen J. (1988), *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohon J. L. (1978), *Multiobjective Programming and Planning*, New York: Academic Press.
- Cooper L. (1963), "Location-Allocation Problems", *Operations Research*, **11**, pp. 331-43.
- Crossland M. D., B. E. Wynne, and W. C. Perkins (1995), "Spatial Decision Support Systems: An Overview of Technology and a Test of Efficacy", *Decision Support Systems*, **14**, pp. 219-35.
- Daniel L. (1992), "SDSS for Location Planning, or The Seat of the Pants is Out", *GeoInfo Systems*, December 1992.
- Daskin M. S., P. C. Jones, and T. J. Lowe (1990), "Rationalizing Tool Selection in a Flexible Manufacturing System for Sheet Metal Products", *Operations Research*, **38**, pp. 1104-51.
- Daskin M. S. (1995), *Network and Discrete Location – Models, Algorithms and Applications*, New York: Wiley Interscience Series.

- Daskin M. S. (2000), *A New Approach to Solving the Vertex P-Center Problem to Optimality: Algorithm and Computational Results*, Technical Report, Evanston: Northwestern University.
- Densham P. J. (1991a), "Spatial Decision Support Systems", *Geographical Information Systems: Principals and Applications*, Harlow, Essex, UK: Longman Scientific & Technical, pp. 403-12.
- Densham P. J. (1991b), *Designing and Implementing Strategies for Solving Large Location-Allocation Problems with Heuristic Methods*, New York: NCGIA Technical Report 91-10.
- Densham P. J., and G. Rushton (1992), "Strategies for Solving Large Location-Allocation Problems by Heuristic Methods", *Environment and Planning A*, **24**, pp. 289-304.
- Drezner Z. (1993), "Dynamic Facility Location: The Progressive p-Median Problem", *Location Science*, **3(1)**, pp. 1-7.
- Dyer M. E., and A. M. Frieze (1985), "A Simple Heuristic for the p-Centre Problem", *Operations Research Letters*, **3**, pp. 285-8.
- English M. R., and V. H. Dale (1999), *Tools to Aid Environmental Decision Making*, New York: Springer Verlag.
- Hawhee H., C. Jordan, R. Hundhausen, F. Martins, and T. Moore (1999): *MSCD Training Guide: Visual Basic 6 Exams*, USA: New Riders Publishing.
- Ghosh A., and G. Rhuston (editors) (1987), *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*, New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Gibbons A. (1985), *Algorithmic Graph Theory*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Glover F. (1996), "Tabu Search and Adaptive Memory Programming: Advances, Applications and Challenges", *Interfaces in Computer Science and Operations Research*, pp. 1-75.
- Glover F., M. Laguna, and R. Martí (2000), "Fundamentals of Scatter Search and Path Relinking", *Control and Cybernetics*, **39**, pp. 653-84.
- Goldberg D. E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, New York: Addison-Wesley.
- Goodchild M. F., and V. T. Noronha (1983), *Location-Allocation for Small Computers*, Iowa: Department of Geography, University of Iowa, Monograph No. 8.

- Hakimi S. L. (1964), "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph", *Operations Research*, **12**(3), pp. 450-9.
- Hanigan F. (1988), "GIS by any other name is still...", *The GIS Forum*, **1**, pp. 6.
- Janssen R. (1992), *Multiobjective Decision Support for Environmental Problems*, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Jones A. C., S. A. El-Swaify, R. Graham, D. P. Stonehouse, and I. Whitehouse (1998), "A Synthesis of the State-of-the-Art on Multiple Objective Decision Making for Land, Water, and Environmental Management", *Multiple Objective Decision Making for Land, Water, and Environmental Management*, Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Κουτσόπουλος Κ. (1990), *Γεωγραφία: Μεθοδολογία και Μέθοδοι Ανάλυσης Χώρου*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Ladányi L., T. K. Ralphs, and L. E. Trotter Jr. (2001), "Branch, Cut, and Price: Sequential and Parallel", *Computational Combinatorial Optimization*, Berlin: Springer, pp. 223.
- Lorena L. A. N., and J. C. Furtado (1998), *Constructive Genetic Algorithm for Clustering Problems*, Technical Report. Sao José dos Campos, Brazil: LAC/INPE. Santa Cruz do Sul, Brazil: Depto. Informática, UNISC.
- Loukas D. P. (1995), "Developing and Implementing Decision Support Systems: A Critique and a Challenge", *Water Resources Bulletin*, **31**, pp. 4.
- Love R. F., J. G. Morris, and G. O. Wesolovsky (1988), *Facilities Location: Modes and Methods*, New York: North Holland Publications Co. (Elsevier Science Publications Co. Inc.), pp. 382.
- Maranzanna F. E. (1964), "On the Location of Supply Points to Minimize Transport Costs", *Operations Research Quarterly*, **15**, pp. 261-70.
- Massam B. (1975), *Location and Space in Social Administration*, London: Edward Arnold Ltd.
- Mladenović N., and P. Hansen (1997), *Variable Neighborhood Search, a Chapter of Handbook of Metaheuristics*, Technical Report. Belgrade: Mathematical Institute, Serbian Academy of Science. Montréal: GERAD and Ecole des Hautes Etudes Commerciales.
- Openshaw S. (1977), "A Geographical Solution to Scale and Aggregation Problems in Region-Guilding, Partitioning and Spatial Modeling", *Institute of British Geographers Transactions*, **2**, pp. 459-72.

- Πετρούτσος Ε. (1999), *Πλήρες Εγχειρίδιο της Visual Basic 6*. Αθήνα: Εκδόσεις Γκιούρδας.
- Resende M. G. C., and Werneck R. F. (2003a), “On the Implementation of a Swap-Based Local Search Procedure for the p-Median Problem”, SIAM, 2003: *Proceedings of the Fifth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX’03)*, pp. 119-27.
- Resende M. G. C., and Werneck R. F. (2003b), *A Hybrid Heuristic for the p-Median Problem*, Technical Report TD-5NWRRCR, AT&T Labs Research.
- Richardson H. W. (1972), *Περιφερειακή Οικονομική: Θεωρία του Τόπου Εγκαταστάσεως, Διάρθρωσης Αστικών Κέντρων και Περιφερειακή Ανάπτυξη*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.
- Rushton G. (1978), *Optimal Location of Facilities*, Hanover, N.H.: COMPRESS
- Sanei-Nejad S. H., and Faraji-Sabokbar H. A. (2001), *Using Location-Allocation Models for Regional Planning in GIS environment*, Mashhad, Iran: University of Mashhad.
- Senne E. L. F., and L. A. N. Lorena (2000), “Lagrangian/Surrogate Heuristics for p-Median Problems”, *Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation: Interfaces in Computer Science and Operations Research*, Kluwer Academic Publishers, pp. 115-30.
- Taillard E. D. (1998), *Heuristic Methods for Large Centroid Clustering Problems*, Lugano, Switzerland: Technical Report IDSIA96-96 (revision).
- Teitz M. B., and P. Bart (1968), “Heuristic Methods for Estimating Generalized Vertex Median of a Weighted Graph”, *Operations Research*, **16**, pp. 955-61.
- Tutte W. T. (1983), “Graph Theory”, *Encyclopedia of Mathematics and its Applications*, **21**, Cambridge, Massachusetts: Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology.
- Tylle L. (1998), *Learn Visual Basic 6.0*, Bellevue: KIDware.
- Ubbels A. A., and A. J. M. Verhallen (2000), *Suitability of Decision Support Tools for Collaborative Planning Process in Water Resource Management*, Netherlands: Institute for Water Management and Wastewater Treatment, Report No. 99.067.
- Uran O., and R. Janssen (2003), “Why are Spatial Decision Support Systems Not Used? Some Experiences from the Netherlands”, *Computers, Environment and Urban Systems*, **27** – Article in press.

- Weber M. (1972), *Δοκίμια επί της Θεωρίας των Κοινωνικών Επιστημών*, Αθήνα: ΕΚΚΕ.
- Whitaker R. (1983), “A Fast Algorithm for the Greedy Interchange of Large-Scale Clustering and Median Location Problems”, *INFOR*, **21**, pp. 95-108.
- Φώτης Γ. Ν. (1997), *Μέθοδοι και Τεχνικές Χωροθέτησης Λειτουργιών – Σημειώσεις μαθήματος*, Βόλος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Φώτης Γ. Ν. (2000), *Χωρική Ανάλυση και Χωρική Δειγματοληψία – Σημειώσεις μαθήματος*, Βόλος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- ΥΧΟΠ (1983), *ΓΠΣ: Προδιαγραφές ΕΠΑ*.
- ΥΧΟΠ (1983), *Πολεοδομικά Πρότυπα ΕΠΑ*.
- Yeşilkokçen G. N., and G. O. Wesolowsky (1998), “A Branch-and-Bound Algorithm for the Supply Connected Location-Allocation Problem on Networks”, *Location Science*, **6**, pp. 395-415.

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ:

- POPSTAR (p-Median / HYBRID solver): <http://www.research.att.com/~mgcr/popstar>.
- SIMPLEX: <http://www-fp.mcs.anl.gov/otc/Guide/CaseStudies/simplex/explanation.html>.
- Intergraph Consulting, 2002: <http://www.intergraphconsulting.com/white/sdss.pdf>.
- LADSS (SDSS): <http://www.geog.ucl.ac.uk/~pdensham/SDSS/sdss.stm>.
- LOLA (SDSS): <http://www.mathematik.uni-kl.de/~lola/lola.html>.
- SITATION (SDSS): <http://users.iems.nwu.edu/~msdaskin/>.
- Ιστοσελίδα Τρίπολης: <http://www.tripolis.gr/Economy/index.htm>.
- Extreme Visual Basic Forum: <http://www.visualbasicforum.com/>.