



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Διερεύνηση των Προβλημάτων Ενσωμάτωσης της Αξίας του  
Χρόνου στα Στατικά Μοντέλα Καταμερισμού στο Δίκτυο**

Εκπόνηση: Λιανός Γεώργιος  
Επιβλέπων: Βυθούλκας Πέτρος, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ 2009

## Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>10</b>
<b>2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ.....</b>	<b>16</b>
2.1 Εισαγωγή .....	16
2.2 Μοντέλα Διακριτών Επιλογών.....	17
2.2.1 Αθροιστικά και Εξατομικευμένα Μοντέλα Διακριτών Επιλογών.....	18
2.2.2 Οι Συνιστώσες του Προβλήματος της Επιλογής.....	20
2.3 Ντετερμινιστικά και Πιθανοκρατικά Μοντέλα Μεγιστοποίησης της Ωφέλειας .....	23
2.3.1 Η Θεωρία της Στοχαστικής Ωφέλειας.....	25
2.3.2 Τυποποίηση Συναρτήσεων Ωφέλειας.....	29
2.4 Το Πολυωνυμικό Μοντέλο Logit.....	31
2.5 Το Πολυωνυμικό Μοντέλο Probit.....	33
2.6 Οριακή Τιμή Υποκατάστασης .....	35
<b>3. ΣΤΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>37</b>
3.1 Εισαγωγή .....	37
3.2 Αναπαράσταση Συγκοινωνιακών Δικτύων.....	38
3.3 Καμπύλη Φόρτου – Χρόνου Συνδέσμου .....	44
3.4 Ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού .....	49
3.5 Κανόνες Επιλογής Διαδρομής: Ντετερμινιστική και Στοχαστική Κατάσταση Ισορροπίας .....	51
3.6 Εμπειρικές Μέθοδοι Επίλυσης της Κατάστασης Ισορροπίας .....	56
3.6.1 Ένα Απλό Παράδειγμα Ισορροπίας Στο Δίκτυο .....	56
3.6.2 Μέθοδος Περιορισμού Χωρητικότητας.....	58
3.6.3 Μέθοδος Καταμερισμού με Τμηματική Φόρτιση.....	60
3.7 Καταμερισμός στην Ντετερμινιστική Κατάσταση Ισορροπίας.....	61
3.7.1 Διαμόρφωση του Ισοδύναμου Προβλήματος Ελαχιστοποίησης.....	61
3.7.2 Ο Αλγόριθμος των Frank και Wolfe .....	65
3.8 Στοχαστική Κατάσταση ισορροπίας .....	67
3.8.1 Στοχαστική Φόρτιση Δικτύων.....	68
3.8.2 Καταμερισμός στη Στοχαστική Κατάσταση ισορροπίας.....	69
3.8.3 Διαμόρφωση του Ισοδύναμου Προβλήματος Ελαχιστοποίησης.....	70
3.8.4 Ο Αλγόριθμος Επίλυσης της Στοχαστική Κατάστασης Ισορροπίας....	71
<b>4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....</b>	<b>79</b>
4.1 Εισαγωγή .....	79
4.2 Χρήση Μοντέλων στο Συγκοινωνιακό Σχεδιασμό.....	81
4.2.1 Strategic Models.....	81
4.2.2 Tactical Models .....	83
4.2.3 Micro Simulation Models.....	84
4.2.4 Micro Models.....	85
4.3 Οι Δύο Τύποι Δικτύου του SATURN .....	86
4.4 Το πρόβλημα του Μακροσκοπικού Καταμερισμού στο SATURN.....	89
4.5 Ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού στο SATURN.....	93

4.6 Το Υπομοντέλο Καταμερισμού του SATURN.....	95
4.6.1 Ντετερμινιστική Κατάσταση Ισορροπίας.....	95
4.6.2 Ο αλγόριθμος Επίλυσης της Ντετερμινιστικής Κατάστασης Ισορροπίας .....	96
4.6.3 Καταμερισμός στη Στοχαστική Κατάσταση Ισορροπίας.....	102
4.6.4 Ο αλγόριθμος Επίλυσης της Στοχαστικής Κατάστασης Ισορροπίας.....	102
4.6.5 Επιλογή Κατανομής Κόστους Συνδέσμων.....	104
4.6.6 Γεννήτρια Τυχαίων Αριθμών.....	105
4.6.7 Ορισμός του Κόστου .....	106
4.7 Δείκτες Σύγκλισης.....	106
4.8 Επιλογή μοντέλου Καταμερισμού .....	107
4.9 Το Υπομοντέλο Προσομοίωσης του SATURN.....	108
4.9.1 Προφίλ Κυκλοφοριακών Φόρτων .....	109
4.9.2 Εσωτερική Σύγκλιση προσομοίωσης.....	112
4.10 Καθυστερήσεις κατά την προσομοίωση και καμπύλες φόρτου - χρόνου	113
4.11 Επαναλήψεις Καταμερισμού - Προσομοίωσης .....	114
<b>5. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ SATURN.....</b>	<b>119</b>
5.1 Εισαγωγή .....	119
5.2 Παρουσίαση των Προγραμμάτων του Μοντέλου του SATURN .....	120
5.3 Τύποι αρχείων στο SATURN.....	123
5.4 Παρουσίαση μίας Τυπικής Εφαρμογής του Μοντέλου του SATURN.....	125
5.4 Εκτέλεση μιας Τυπικής Εφαρμογής στο μοντέλο του SATURN.....	131
<b>6. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>141</b>
6.1 Εισαγωγή .....	141
6.2 Ψηφιοποίηση Συγκοινωνιακού Δικτύου .....	142
6.3 Κωδικοποίηση στο Μοντέλο του SATURN.....	146
6.3.1 Γραφική Αναπαράσταση στο Μοντέλο του SATURN.....	146
6.3.2 Παραμετροποίηση δικτύου .....	148
6.3.3 Υπολογισμός Αξίας Χρόνου και Κωδικοποίηση κόστους Διοδίου.....	150
6.4 Εφαρμογή Μοντέλου .....	155
6.5 Εντοπισμός και Ανάλυση Προβλημάτων Ενσωμάτωσης Αξίας Χρόνου ...	158
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ .....</b>	<b>187</b>
7.1 Συμπεράσματα.....	187
7.2 Προοπτικές Βελτίωσης.....	189
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>191</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>196</b>

## *Ευρετήριο Πινάκων*

Πίνακας 3. 1: Τυπικός πίνακας προέλευσης – προορισμού.....	51
Πίνακας 4. 1: Αποτελέσματα εφαρμογής του SATLOOK.....	91
Πίνακας 4. 2: Αποτελέσματα διαφορετικών μεθόδων προσέγγισης της κατάστασης ισορροπίας.....	99
Πίνακας 5. 1: Τα προγράμματα του SATURN και οι λειτουργίες τους.....	122
Πίνακας 6. 1: Μήκη συνδέσμων Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών.....	144
Πίνακας 6. 2: Μήκη συνδέσμων Παλαιάς Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών.....	145
Πίνακας 6. 3: Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου.....	150
Πίνακας 6. 4: Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων του δείγματος.....	151
Πίνακας 6. 5: Επιλογή μετακινούμενων ανά σκοπό μετακίνησης .....	152
Πίνακας 6. 6: Κόστος διοδίου στους συνδέσμους του δικτύου .....	154
Πίνακας 6. 7: Χαρακτηριστικά Δικτύων .....	156
Πίνακας 6. 8: Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου Α.....	160
Πίνακας 6. 9: Αρίθμηση κόμβων.....	160
Πίνακας 6. 10: Κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου .....	170
Πίνακας 6. 11: Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου Β.....	171
Πίνακας 6. 12: Κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου .....	180

## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1. 1: Σχηματική Αναπαράσταση του προβλήματος ασυμβατότητας στην ενσωμάτωση της αξία του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού.....	14
Σχήμα 3. 1: Γραφική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δίκτυο.....	39
Σχήμα 3. 2: Αναπαράσταση ζώνης, κεντροειδούς ζώνης και συνδέσμων κεντροειδούς.....	41
Σχήμα 3. 3: Φυσική αναπαράσταση διασταύρωσης τύπου “Σταυρού”.....	42
Σχήμα 3. 4: Απλή αναπαράσταση της διασταύρωσης τους σχήματος 3.3. ....	42
Σχήμα 3. 5: Λεπτομερής αναπαράσταση της διασταύρωσης τους σχήματος 3.3.....	43
Σχήμα 3. 6: Τυπική καμπύλη φόρτου – χρόνου συνδέσμου.....	46
Σχήμα 3. 7: Δίκτυο με τέσσερις συνδέσμους και δύο ζεύγη προέλευσης – προορισμού.....	55
Σχήμα 3. 8: Δίκτυο που αποτελείται από δύο εναλλακτικές διαδρομές.....	57
Σχήμα 3. 9: Οι καμπύλες φόρτου – χρόνου των δύο συνδέσμων του δικτύου.....	57
Σχήμα 3. 10: Οι χρόνοι μετακίνησης στους δύο συνδέσμους είναι.....	57
Σχήμα 3. 11: Δίκτυο που αποτελείται από δύο εναλλακτικές διαδρομές.....	74
Σχήμα 3. 12: Καμπύλες φόρτου – χρόνου των συνδέσμων 1 και 2.....	75
Σχήμα 3. 13: Αναπαράσταση σύγκλισης της M.S.A. για $\Theta = 1.0$ και $q = 4000$ .....	76
Σχήμα 3. 14: Αναπαράσταση σύγκλισης της M.S.A. για $\Theta = 1.0$ και $q = 2000$ .....	77
Σχήμα 3. 15: Αναπαράσταση σύγκλισης της M.S.A. για $\Theta = 2.0$ και $q = 200$ .....	78
Σχήμα 4. 1: Κατηγοριοποίηση μοντέλων σύμφωνα με το επίπεδο λεπτομέρειας	80
Σχήμα 4. 2: Λεπτομερής αναπαράσταση κόμβου τύπου “Σταυρού”.....	89
Σχήμα 4. 3: Δίκτυο που αποτελείται από ένα ζεύγος προέλευσης – προορισμού.....	90
Σχήμα 4. 4: Δύο εναλλακτικές διαδρομές περιφερειακά και μέσω του κέντρου μιας πόλης.....	97
Σχήμα 4. 5: Προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων.....	110
Σχήμα 4. 6: Αναπαράσταση στρέφουσας κίνησης με χρήση προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων.....	111
Σχήμα 4. 7: Γραφική αναπαράσταση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας από το μοντέλο.....	118
Σχήμα 5. 1: Αναπαράσταση μιας τυπικής εφαρμογής του μοντέλου του SATURN	130
Σχήμα 5. 2: Γραφικός σχεδιασμός δικτύου με το πρόγραμμα PMAKE.....	132
Σχήμα 5. 3: Αρχείο δεδομένων εισόδου του δικτύου.....	133
Σχήμα 5. 4: Αρχείο δεδομένων εισόδου του πίνακα Π - Π.....	133
Σχήμα 5. 5: Γραφικό εργαλείο εκτέλεσης προγραμμάτων.....	134
Σχήμα 5. 6: Φόρτοι στην κατάσταση ισορροπίας.....	135
Σχήμα 5. 7: Δείκτης σύγκλισης DELTA.....	135
Σχήμα 5. 8: Γραφικός σχεδιασμός δικτύου με το πρόγραμμα PMAKE.....	136
Σχήμα 5. 9: Αρχείο δεδομένων εισόδου του πίνακα Π - Π.....	137
Σχήμα 5. 10: Δείκτης σύγκλισης DELTA.....	137
Σχήμα 5. 11: Συντομότερη διαδρομή στην κατάσταση ισορροπίας από τη ζώνη 101 προς τη ζώνη 102.....	138
Σχήμα 5. 12: Συντομότερη διαδρομή από τη ζώνη 101 προς τη ζώνη 103.....	139
Σχήμα 5. 13: Συντομότερη διαδρομή από τη ζώνη 103 προς τη ζώνη 102.....	139

Σχήμα 5. 14: Δένδρο διαδρομών από τη ζώνη 103 προς τη ζώνη 102 στην κατάσταση ισορροπίας.....	140
Σχήμα 6. 1: Λεπτομέρεια κωδικοποίησης χάρτη.....	142
Σχήμα 6. 2: Λεπτομέρεια ψηφιοποιημένου δικτύου.....	142
Σχήμα 6. 3: Αναπαράσταση δικτύου στο SATURN.....	146
Σχήμα 6. 4: Λεπτομέρεια αναπαράστασης δικτύου στο SATURN.....	146
Σχήμα 6. 5: Δείγμα πεδίου κωδικοποίησης κόστους διοδίων.....	154
Σχήμα 6. 6: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.....	155
Σχήμα 6. 8: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.....	156
Σχήμα 6. 9: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.....	156
Σχήμα 6. 10: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.....	156
Σχήμα 6. 11: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.....	156
Σχήμα 6. 12: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.....	159
Σχήμα 6. 13: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	160
Σχήμα 6. 14: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	161
Σχήμα 6. 15: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	161
Σχήμα 6. 16: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	161
Σχήμα 6. 17: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	162
Σχήμα 6. 18: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	162
Σχήμα 6. 19: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	163
Σχήμα 6. 20: Τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί.....	163
Σχήμα 6. 21: Φόρτοι στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί.....	165
Σχήμα 6. 22: Χρόνοι μετακίνησης στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί.....	166
Σχήμα 6. 23: Ποσοστό % των φόρτων στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί .....	167
Σχήμα 6. 24: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα .....	170
Σχήμα 6. 26: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	171
Σχήμα 6. 27: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	172
Σχήμα 6. 28: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	172
Σχήμα 6. 29: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	172
Σχήμα 6. 30: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας .....	173
Σχήμα 6. 31: Τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί.....	174
Σχήμα 6. 32: Φόρτοι στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί.....	175
Σχήμα 6. 33: Χρόνοι μετακίνησης στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί.....	175
Σχήμα 6. 34: Ποσοστό % των φόρτων στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί .....	177
Σχήμα 6. 35: Λεπτομέρεια κωδικοποίησης δικτύου.....	180
Σχήμα 6. 36: Κωδικοποίηση δικτύου στο μοντέλο του SATURN.....	181
Σχήμα 6. 37: Λεπτομέρεια κωδικοποίησης δικτύου στο μοντέλο του SATURN.....	181
Σχήμα 6. 38: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (διασπορά 0.2* $^{\circ}$ C).....	182
Σχήμα 6. 39: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά 0.2* $^{\circ}$ C).....	182
Σχήμα 6. 40: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (διασπορά 0.1* $^{\circ}$ C).....	183
Σχήμα 6. 41: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά 0.2* $^{\circ}$ C).....	183
Σχήμα 6. 42: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Κιάτο (διασπορά 0.2* $^{\circ}$ C).....	183

Σχήμα 6. 43: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Κιάτο στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά 0.2* $C$ ).....	183
Σχήμα 6. 44: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Ξυλόκαστρο (διασπορά 0.2* $C$ ) .....	184
Σχήμα 6. 45: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Ξυλόκαστρο στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά 0.2* $C$ ).....	184

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα ανάλυσης συγκοινωνιακών συστημάτων είναι το πρόβλημα του καταμερισμού. Κατά την εφαρμογή των μοντέλων επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού χρησιμοποιείται η αξία του χρόνου που προκύπτει από τα μοντέλα διακριτών επιλογών και τη μέθοδο των δεδηλωμένων προτιμήσεων. Ωστόσο, για τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου γίνονται ορισμένες παραδοχές οι οποίες δε λαμβάνονται υπ' όψη από τα μοντέλα καταμερισμού. Παρατηρείται επομένως μία ασυμβατότητα στις παραδοχές που γίνονται για τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου και στις παραδοχές που γίνονται κατά την ενσωμάτωσή της στα μοντέλα του καταμερισμού. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση και ανάδειξη των προβλημάτων που προκύπτουν από αυτή την ασυμβατότητα, καθώς επίσης και η ανάπτυξη μιας εμπειρικής μεθοδολογίας για την αντιμετώπιση τους. Αρχικά παρουσιάζονται και αναλύονται τα μοντέλα διακριτών επιλογών καθώς επίσης και τα μοντέλα καταμερισμού. Στη συνέχεια εφαρμόζονται τα μοντέλα καταμερισμού σε ένα υπαρκτό συγκοινωνιακό δίκτυο, αναδεικνύονται τα προβλήματα ενσωμάτωσης της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού και αναπτύσσεται μία εμπειρική μεθοδολογία για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.



## **ABSTRACT**

One of the most important problems in the transportation planning process is the assignment problem. In order to solve the assignment problem, assignment models use the value of time which results from discrete choice models and stated preference methods. However, when determining the value of time, certain assumptions are made, which are not taken into account by the assignment models. Thus, there seems to be an inconsistency in assumptions made when determining the value of time and in assumptions made when integrating the value of time in assignment models. The objective of this paper is to determine and present any problems that might occur from this inconsistency, as well as to develop and apply a heuristic method to solve these problems. This paper describes, firstly, the discrete choice models and assignment models. It then goes on to applying the assignment models in a real network scheme in order to determine and present the problems that occur from integrating the value of time in assignment models and a heuristic method is developed and applied so as to solve these problems.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μετακινούμενοι, κατά την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους, καλούνται να λάβουν ορισμένες αποφάσεις επιλογής, όπως πότε θα πραγματοποιήσουν μία μετακίνηση, ποιος θα είναι ο σκοπός της μετακίνησής τους, ποια διαδρομή θα επιλέξουν ή ποιο μέσο μεταφοράς θα χρησιμοποιήσουν. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα ανάλυσης συγκοινωνιακών συστημάτων, είναι το πρόβλημα του καταμερισμού, δηλαδή του τρόπου με τον οποίο θα κατανεμηθούν οι μετακινούμενοι σε ένα δίκτυο του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι γνωστά.

Η επιλογή μιας διαδρομής από τους μετακινούμενους για την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους, είναι μία διακριτή επιλογή, επομένως το πρόβλημα του καταμερισμού είναι ένα πρόβλημα διακριτών επιλογών. Τα μοντέλα διακριτών επιλογών είναι μοντέλα που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς των μετακινούμενων και συνήθως βασίζονται στον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, σύμφωνα με τον οποίο ο κάθε μετακινούμενος θα επιλέξει εκείνη την εναλλακτική ή διαφορετικά για το πρόβλημα του καταμερισμού εκείνη τη διαδρομή που θα μεγιστοποιήσει την ωφέλειά του. Η ωφέλεια είναι μία συνάρτηση που περιγράφει την ελκυστικότητα των χαρακτηριστικών μιας εναλλακτικής και λαμβάνει συνήθως μία γραμμική μορφή. Για παράδειγμα, η συνάρτηση ωφέλειας μιας εναλλακτικής διαδρομής που λαμβάνει υπ' όψη τα χαρακτηριστικά του χρόνου και του κόστους διαδρομής, θα έχει τη μορφή:

$$V = \beta_t \text{χρόνος} + \beta_c \text{κόστος} + \beta_0 \quad (1.1)$$

Οι σταθερές  $\beta_t$  του χαρακτηριστικού του χρόνου και  $\beta_c$  του χαρακτηριστικού του κόστους καθώς επίσης και της ειδικής σταθεράς  $\beta_0$  προσδιορίζονται ύστερα από ανάλυση στοιχείων που προέρχονται κυρίως από έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων. Κατά την πραγματοποίηση μιας έρευνας δεδηλωμένων προτιμήσεων παρουσιάζονται στο μετακινούμενο διαφορετικά υποθετικά σενάρια επιλογής. Στη συνέχεια και ύστερα από ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων της έρευνας,

προσδιορίζονται οι τιμές των σταθερών του μοντέλου διακριτών επιλογών, έτσι ώστε το μοντέλο να αντανακλά τις επιλογές των μετακινούμενων. Εφόσον έχουν προσδιοριστεί οι τιμές των σταθερών των χαρακτηριστικών, στη συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν οι οριακές τιμές υποκατάστασης των χαρακτηριστικών της συνάρτησης ωφέλειας. Οι οριακές τιμές υποκατάστασης υποδεικνύουν, πόσο σημαντικό είναι ένα χαρακτηριστικό για το μετακινούμενο. Δηλαδή την αξία που έχει το χαρακτηριστικό για το μετακινούμενο. Η οριακή τιμή υποκατάστασης του χαρακτηριστικού του χρόνου, δηλαδή η αξία του χρόνου, υποδεικνύει πόσο σημαντικό είναι το χαρακτηριστικό του χρόνου για το μετακινούμενο.

Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της συνάρτησης ωφέλειας και επομένως για τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου, γίνονται ορισμένες παραδοχές από τα μοντέλα διακριτών επιλογών. Στα μοντέλα διακριτών επιλογών, γίνεται η υπόθεση ότι η ωφέλεια είναι στοχαστική και επομένως ο κανόνας επιλογής είναι πιθανοκρατικός. Επιπροσθέτως κατά των προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του μοντέλου λαμβάνεται υπ' όψη η ειδική σταθερά, η οποία αναπαριστά μία συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων, προς μία εναλλακτική επιλογή λόγω χαρακτηριστικών που δε μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, όπως για παράδειγμα ασφάλεια και άνεση. Τέλος γίνεται η παραδοχή ότι ο αριθμός των εναλλακτικών επιλογών περιορίζεται στον αριθμό των εναλλακτικών επιλογών που παρουσιάζονται στους μετακινούμενους κατά τη διαδικασία της έρευνας δεδηλωμένων προτιμήσεων.

Για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες μοντέλων. Τα ντετερμινιστικά και τα στοχαστικά μοντέλα. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα βασίζονται στην αρχή της ισορροπίας του Wardrop και βασική παραδοχή τους είναι ότι οι μετακινούμενοι έχουν πλήρη γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών και οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά. Τα στοχαστικά μοντέλα βασίζονται σε μία πιο γενικευμένη διατύπωση της αρχής της ισορροπίας του Wardrop, την αρχή της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας και αναγνωρίζουν ότι οι μετακινούμενοι έχουν ελλιπή γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών και μη οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά. Τόσο τα ντετερμινιστικά όσο και τα στοχαστικά μοντέλα, ενσωματώνουν και χρησιμοποιούν την αξία του χρόνου για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού. Ωστόσο, δε λαμβάνουν υπ όψη την ειδική σταθερά της συνάρτησης ωφέλειας, δηλαδή τη συστηματική προτίμηση των

μετακινούμενων προς μία εναλλακτική. Επιπροσθέτως, τα ντετερμινιστικά μοντέλα αγνοούν οποιαδήποτε στοχαστικά φαινόμενα ενώ τόσο τα ντετερμινιστικά όσο και τα στοχαστικά μοντέλα δε λαμβάνουν υπ' όψη τους περιορισμούς που τίθενται στον αριθμό των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών, όπως συμβαίνει κατά τη διαδικασία της έρευνας των δεδηλωμένων προτιμήσεων.

Παρατηρείται επομένως μία ασυνέπεια στις παραδοχές που γίνονται κατά τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου από τα μοντέλα διακριτών επιλογών και στις παραδοχές που γίνονται κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού. Η ασυνέπεια αυτή θα μπορούσε να αναπαρασταθεί σχηματικά στο σχήμα 1.1

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση και ανάδειξη των προβλημάτων της ενσωμάτωσης της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού. Για το λόγο αυτό, παρουσιάζονται αρχικά οι θεωρητικές αρχές των μοντέλων διακριτών επιλογών, ενώ στη συνέχεια γίνεται μία εκτενέστερη ανάλυση και παρουσίαση των μοντέλων επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού. Στη συνέχεια επιλέγεται να εφαρμοστούν τα μοντέλα καταμερισμού, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα στοχαστικά μοντέλα που είναι βασισμένα στον αλγόριθμο του Burrell, σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο και συγκεκριμένα στην Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών, με τη βοήθεια του λογισμικού ανάλυσης συγκοινωνιακών δικτύων SATURN. Κατά την εφαρμογή του λογισμικού SATURN, παρουσιάζονται και αναλύονται διαφορετικά υποθετικά σενάρια ώστε να εντοπιστούν και να αναδειχθούν τα προβλήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού. Τέλος προτείνεται και αναπτύσσεται μία εμπειρική μέθοδος αντιμετώπισης των προβλήματος, συμβατή με τις παραδοχές που γίνονται κατά τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου από τα μοντέλα διακριτών επιλογών.

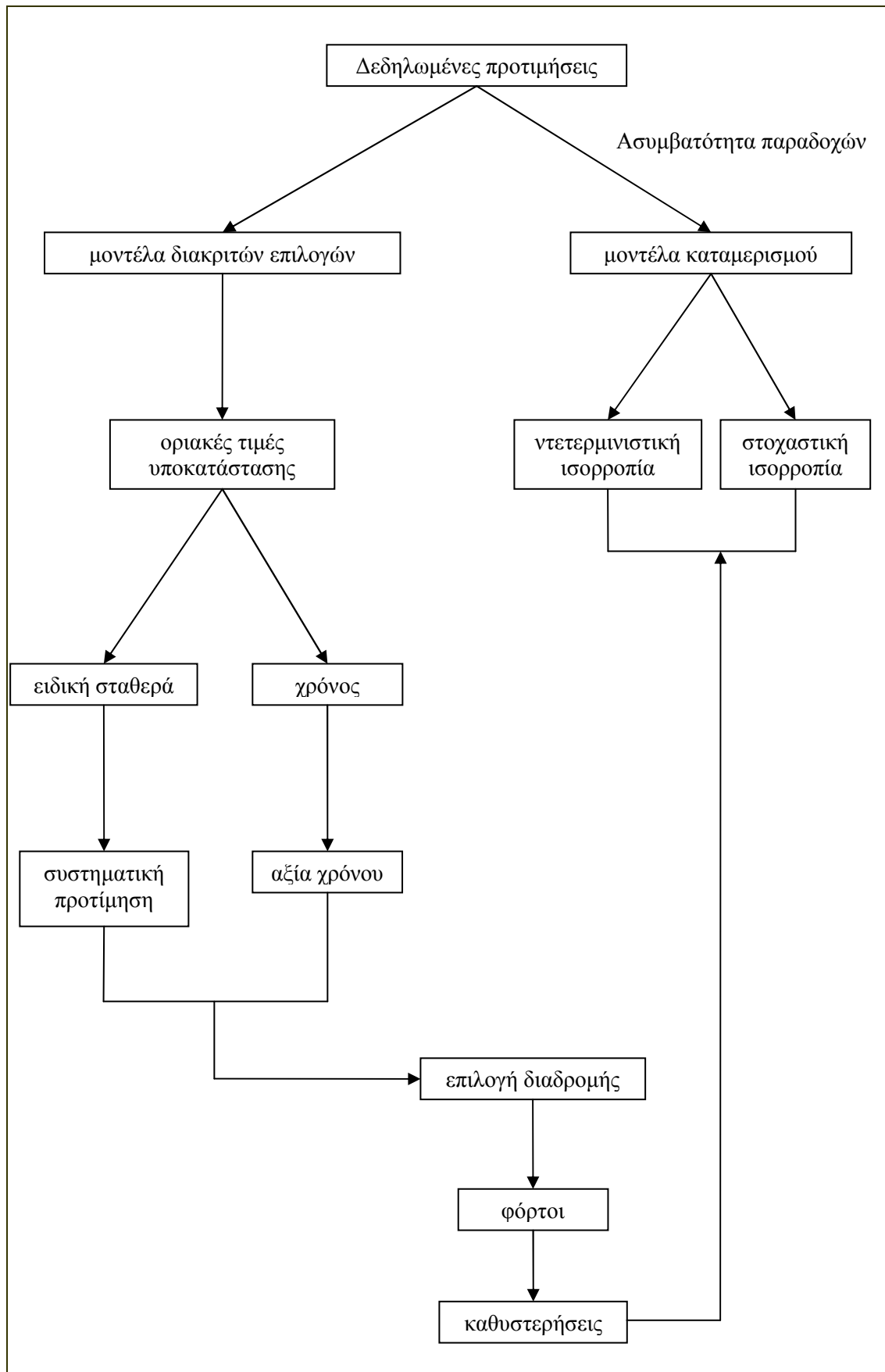
Πιο συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το οποίο φέρει τον τίτλο «Ανάλυση Διακριτών Επιλογών», παρουσιάζονται αρχικά οι βασικές αρχές της θεωρίας των διακριτών επιλογών. Στη συνέχεια γίνεται μία εκτενέστερη αναφορά στα μοντέλα διακριτών επιλογών, τα οποία χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του συγκοινωνιακού σχεδιασμού για την ερμηνεία της συμπεριφοράς

των μετακινούμενων, αφού πρώτα παρουσιάζονται τα βασικά σημεία του κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας. Τα μοντέλα διακριτών επιλογών, παρουσιάζονται και αναλύονται ως Αθροιστικά ή Εξατομικευμένα, έχοντας ως κριτήριο κατηγοριοποίησης τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των μετακινούμενων (μακροσκοπικά ή μικροσκοπικά). Τα εξατομικευμένα μοντέλα διακριτών επιλογών, αναλύονται εκτενέστερα και κατηγοριοποιούνται σε ντετερμινιστικά και πιθανοκρατικά ή στοχαστικά. Τέλος γίνεται μία εκτενέστερη παρουσίαση και ανάλυση των στοχαστικών μοντέλων διακριτών επιλογών και παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού της πιθανότητας επιλογής μιας εναλλακτικής με τη χρήση των πολυωνυμικών μοντέλων probit και logit.

Έχοντας αναλύσει τις βασικές αρχές της Ανάλυσης Διακριτών επιλογών, στο τρίτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με τίτλο «Στατικά Μοντέλα Καταμερισμού», γίνεται μία εκτενής ανάλυση του προβλήματος του καταμερισμού και των μεθόδων επίλυσής του. Αρχικά τίθεται το πρόβλημα του καταμερισμού και παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές συνιστώσες του. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα μοντέλα επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού, κατηγοριοποιώντας τα σε ντετερμινιστικά και στοχαστικά. Παρουσιάζονται οι θεωρητικές αρχές των ντετερμινιστικών μοντέλων καθώς επίσης και οι μέθοδοι επίλυσης τους. Για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού με τη χρήση των ντετερμινιστικών μοντέλων, παρουσιάζονται τόσο οι εμπειρικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος περιορισμού χωρητικότητας και η μέθοδος του καταμερισμού με τμηματική φόρτιση, όσο και η επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού ως ένα ισοδύναμο πρόβλημα ελαχιστοποίησης με τη χρήση του αλγορίθμου των Frank και Wolfe. Έπειτα, παρουσιάζονται οι θεωρητικές αρχές των στοχαστικών μοντέλων επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού, οι μέθοδοι της στοχαστικής φόρτισης των δικτύων που βασίζονται στους αλγόριθμους του Dial και του Burrell και τέλος παρουσιάζεται η επίλυση του προβλήματος του στοχαστικού καταμερισμού ως ένα ισοδύναμο πρόβλημα ελαχιστοποίησης, με τη χρήση του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων.

Στη συνέχεια και έχοντας παρουσιάσει τις θεωρητικές αρχές της ανάλυσης διακριτών επιλογών και του προβλήματος του καταμερισμού, πραγματοποιείται μία εφαρμογή των μοντέλων επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού με ιδιαίτερη έμφαση στα στοχαστικά μοντέλα που βασίζονται στον αλγόριθμο του Burrell, σε ένα υπαρκτό συγκοινωνιακό δίκτυο, για την ανάδειξη των προβλημάτων που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου σε αυτά, με τη χρήση του λογισμικού SATURN. Επομένως στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα διάφορα εργαλεία ανάλυσης συγκοινωνιακών δικτύων, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο λογισμικό του SATURN και στις θεωρητικές αρχές του, ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από την εφαρμογή του. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη αναφορά στις εφαρμογές που αποτελούν το λογισμικό του SATURN, και αναλύονται τα βήματα μιας τυπικής εφαρμογής του.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιείται η εφαρμογή τόσο ενός ντετερμινιστικού όσο και ενός στοχαστικού μοντέλου, βασισμένου στον αλγόριθμο του Burrell, για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού, στο συγκοινωνιακό δίκτυο που αποτελείται από την Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών. Παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα διαφορετικών υποθετικών σεναρίων ώστε να αναδειχθούν τα πρόβλημα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού, ενώ προτείνεται και αναπτύσσεται μία εμπειρική μέθοδος αντιμετώπισης των προβλημάτων συμβατή με τις παραδοχές των δεδηλωμένων προτιμήσεων.



**Σχήμα 1. 1:** Σχηματική αναπαράσταση του προβλήματος ασυμβατότητας στην ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού.

## 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου, είναι η παρουσίαση μερικών από τις διαθέσιμες μεθόδους μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των μετακινούμενων. Αρχικά γίνεται μία παρουσίαση των μοντέλων διακριτών επιλογών, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αρχές της θεωρίας της μεγιστοποίησης της ωφέλειας. Τέλος γίνεται παρουσίαση του πολυωνυμικού μοντέλου logit και του πολυωνυμικού μοντέλου probit, για την επίλυση του προβλήματος της μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των μετακινούμενων.

### 2.1 Εισαγωγή

Η ανάλυση των διακριτών επιλογών έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό ενός μοντέλου συμπεριφοράς το οποίο θα μπορεί να περιγράψει τις αποφάσεις που λαμβάνουν οι καταναλωτές όταν καλούνται να αποφασίσουν μεταξύ των διαφορετικών εναλλακτικών επιλογών (Domencich and McFadden, 1975).

Ο όρος καταναλωτές, χρησιμοποιείται για την περιγραφή οποιασδήποτε μονάδας ικανής προς λήψη αποφάσεων. Τέτοιες μονάδες μπορεί να είναι μεμονωμένα άτομα, νοικοκυριά, επιχειρήσεις. Οι εναλλακτικές επιλογές, μπορεί να αντιπροσωπεύουν ανταγωνιστικά προϊόντα, δραστηριότητες ή οτιδήποτε προϋποθέτει τη λήψη μιας απόφασης επιλογής.

Οι μετακινούμενοι, ως καταναλωτές, κατά την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους, καλούνται να λάβουν ορισμένες αποφάσεις επιλογής, όπως τότε θα πραγματοποιήσουν μία μετακίνηση, ποιος θα είναι ο προορισμός της μετακίνησής τους, ποια διαδρομή θα επιλέξουν ή ποιο μεταφορικό μέσο θα χρησιμοποιήσουν. Οι αποφάσεις που λαμβάνουν βασίζονται στα προσωπικά τους χαρακτηριστικά, (εισόδημα, προσωπικές ανάγκες, εργασία, τόπος κατοικίας), καθώς επίσης και στη φύση των εναλλακτικών επιλογών μετακίνησης που τους προσφέρονται (διάρκεια, κόστος, ποιότητα εναλλακτικών μέσων μετακίνησης). Σημαντικό ρόλο στη



διαμόρφωση των επιλογών των μετακινούμενων διαδραματίζει η ποικιλία και η ποιότητα των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών κατά την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης. Κάθε μια από αυτές τις εναλλακτικές επιλογές περιγράφεται από μια σειρά χαρακτηριστικών τα οποία τελικά οι μετακινούμενοι αξιολογούν κατά τη λήψη μιας απόφασης επιλογής. Επομένως για την περιγραφή των επιλογών των μετακινούμενων, υπάρχει η ανάγκη ενός μοντέλου συμπεριφοράς, το οποίο θα περιγράφει τη σχέση μεταξύ της κοινωνικοοικονομικής κατάστασης του μετακινούμενου, των χαρακτηριστικών του μεταφορικού συστήματος και της ζήτησης για μετακίνηση.

Ένα είδος μοντέλου συμπεριφοράς αποτελούν τα μοντέλα διακριτών επιλογών. Τα μοντέλα διακριτών επιλογών, τα οποία, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια, απορρέουν συνήθως από τον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, επιχειρούν να περιγράψουν τις αποφάσεις που λαμβάνουν οι καταναλωτές μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών που διαθέτουν. Μια βασική διάκριση των μοντέλων αυτών είναι ο διαχωρισμός τους σε πιθανοκρατικά ή στοχαστικά μοντέλα μεγιστοποίησης της ωφέλειας και σε ντετερμινιστικά.

Τα μοντέλα διακριτών επιλογών εφαρμόζονται στον τομέα του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων. Άλλοι τομείς στους οποίους εφαρμόζονται τα μοντέλα διακριτών επιλογών, είναι για παράδειγμα η επιλογή ψυχαγωγικής δραστηριότητας (Schroeder and Louviere, 1999), η επιλογή τοποθεσίας κατοικίας (Revelt and Train, 1997) ή ο τομέας του marketing (Verbeeke et al., 2000).

## **2.2 Μοντέλα Διακριτών Επιλογών**

Στα πλαίσια των μοντέλων διακριτών επιλογών, οι εναλλακτικές επιλογές θα πρέπει να πληρούν τρεις βασικές προϋποθέσεις:

- i. Η επιλογή μιας εναλλακτικής από τον καταναλωτή, θα πρέπει να αποκλείει την επιλογή οποιασδήποτε άλλης εναλλακτικής. Για παράδειγμα εάν ένα σύνολο εναλλακτικών αποτελείται από τις επιλογές «προϊόν Α», «προϊόν Β»

και «προϊόν Α και Β», η επιλογή της εναλλακτικής «προϊόν Α και Β» αποκλείει την επιλογή των εναλλακτικών «προϊόν Α» ή «προϊόν Β».

- ii. Το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών θα πρέπει να είναι πλήρες. Δηλαδή θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις εναλλακτικές για τις οποίες πρόκειται να ληφθεί μία απόφαση επιλογής.
- iii. Το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών θα πρέπει να είναι πεπερασμένο.

Τα μοντέλα διακριτών επιλογών, συνήθως απορρέουν από την υπόθεση, ότι οι καταναλωτές έχουν ως σκοπό τη μεγιστοποίηση της ωφέλειάς τους κατά τη λήψη των αποφάσεων επιλογής. Ο Thurstone (1927) ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε ένα μοντέλο διακριτών επιλογών, για τη διερεύνηση του βαθμού αντίληψης ψυχολογικών ερεθισμάτων. Ο Marchak (1960), μετέφρασε τα ψυχολογικά ερεθίσματα με όρους ωφέλειας και συνέδεσε τα μοντέλα διακριτών επιλογών με τον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας. Τα μοντέλα που ακολουθούν τα πρότυπα του μοντέλου του Marchak, δηλαδή τα μοντέλα διακριτών επιλογών που βασίζονται στον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, ονομάζονται μοντέλα μεγιστοποίησης της ωφέλειας.

### **2.2.1 Αθροιστικά και Εξατομικευμένα Μοντέλα Διακριτών Επιλογών**

Τα μοντέλα διακριτών επιλογών, ανάλογα με τον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος της επιλογής, κατηγοριοποιούνται σε αθροιστικά και εξατομικευμένα μοντέλα.

Τα αθροιστικά μοντέλα προσεγγίζουν το πρόβλημα της επιλογής μακροσκοπικά, αναλύοντας τα χαρακτηριστικά στο σύνολο του πληθυσμού που εξετάζεται και υπολογίζουν ποσοστά ή απόλυτα μεγέθη ζήτησης βάσει των μέσων χαρακτηριστικών του πληθυσμού. Στο συγκοινωνιακό σχεδιασμό, τα αθροιστικά μοντέλα υπολογίζουν το συνολικό αριθμό ή το ποσοστό των μετακινούμενων που λαμβάνουν μία απόφαση επιλογής. Προσδιορίζουν δηλαδή, τη σχέση ανάμεσα στα ποσοστά που προσελκύει η κάθε επιλογή και στις μέσες τιμές των χαρακτηριστικών των επιλογών και των

μετακινούμενων. Η κάθε παρατήρηση που αναλύεται, αφορά αθροιστικά μεγέθη που σχετίζονται με κάθε κυκλοφοριακή ζώνη, εφόσον τα ποσοστά και οι μέσες τιμές που υπολογίζονται, αναφέρονται στο επίπεδο της μονάδας ανάλυσης, που είναι συνήθως η κυκλοφοριακή ζώνη.

Τα εξατομικευμένα μοντέλα προσεγγίζουν το πρόβλημα μικροσκοπικά, αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και τις επιλογές του κάθε καταναλωτή και υπολογίζουν την πιθανότητα του κάθε καταναλωτή με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά να πραγματοποιήσει μια συγκεκριμένη απόφαση επιλογής. Στο συγκοινωνιακό σχεδιασμό, στα εξατομικευμένα μοντέλα, χρησιμοποιούνται στοιχεία από έρευνες χαρακτηριστικών των μετακινήσεων σε ατομικό επίπεδο. Για τον προσδιορισμό της μορφής του μοντέλου, κάθε παρατήρηση της εξαρτημένης μεταβλητής του μοντέλου, αποτελεί μία μετακίνηση. Στα εξατομικευμένα μοντέλα, χρησιμοποιείται η έννοια της ωφέλειας, η οποία εκφράζει την ελκυστικότητα κάθε εναλλακτικής επιλογής που έχει στη διάθεσή του ο μετακινούμενος. Τα περισσότερα εξατομικευμένα μοντέλα, βασίζονται στην έννοια της αντιληπτής ωφέλειας ή ελκυστικότητας ενός συγκεκριμένου μέσου, που εκφράζεται σαν ένα σταθμισμένο άθροισμα κάποιων χαρακτηριστικών του, όπως τα αντιλαμβάνεται ο μετακινούμενος. Τα χαρακτηριστικά αυτά, συνήθως περιλαμβάνουν μεταβλητές του μεταφορικού συστήματος, όπως χρόνος και κόστος μετακίνησης, καθώς επίσης και κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του μετακινούμενου, όπως εισόδημα, ιδιοκτησία ΙΧ, ηλικία, φύλο.

Τα εξατομικευμένα μοντέλα, παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι των αθροιστικών μοντέλων, καθώς αναλύουν τις επιλογές του κάθε μετακινούμενου ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά του, δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις λόγω της υψηλότερης λεπτομέρειας ανάλυσης. Αντίθετα, στα αθροιστικά μοντέλα, χρησιμοποιούνται μέσοι όροι και αναλύεται η μέση συμπεριφορά των μετακινούμενων. Αποτέλεσμα αυτού, είναι να χάνεται η ουσιαστική πληροφορία της επιρροής των χαρακτηριστικών των μετακινούμενων κατά τη λήψη των αποφάσεων επιλογής τους. Τέλος θα πρέπει αν σημειωθεί, ότι τα εξατομικευμένα μοντέλα απαιτούν υψηλής ακρίβειας στοιχεία με αποτέλεσμα το κόστος συλλογής στοιχείων και παραγωγής του μοντέλου να είναι υψηλότερο σε σχέση με αυτό των αθροιστικών μοντέλων.

## 2.2.2 Οι Συνιστώσες του Προβλήματος της Επιλογής

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, διαδραματίζει η ερμηνεία της συμπεριφοράς ενός μεγάλου αριθμού ατόμων. Ωστόσο η συνολική αυτή συμπεριφορά, είναι αποτέλεσμα της συμπεριφοράς μεμονωμένων ατόμων. Επομένως, τα κριτήρια και ο μηχανισμός μέσω των οποίων ένα άτομο οδηγείται σε μια συγκεκριμένη επιλογή, αποτελούν τον πυρήνα των μοντέλων διακριτών επιλογών που εφαρμόζονται κατά τη διαδικασία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Το βασικότερο στάδιο στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του ατόμου, είναι η περιγραφή της διαδικασίας της επιλογής. Η επιλογή, ορίζεται από τους Ben-Akiva and Lerman (1985) ως :

«το αποτέλεσμα μιας διαδοχικής ακολουθίας αποφάσεων που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Καθορισμός του προβλήματος επιλογής
2. Γένεση των εναλλακτικών επιλογών
3. Αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών
4. Επιλογή
5. Εφαρμογή»

Το άτομο που λαμβάνει την απόφαση, οι εναλλακτικές επιλογές μεταξύ των οποίων καλείται να επιλέξει, τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών αυτών επιλογών, καθώς επίσης και ο κανόνας επιλογής αποτελούν τις τέσσερις βασικές συνιστώσες του προβλήματος επιλογής. Επομένως οι συνιστώσες του προβλήματος της επιλογής, είναι ένα σύνολο διαδικασιών που ορίζεται από τα παρακάτω στοιχεία:

- i. Το άτομο που λαμβάνει την απόφαση (μετακινούμενος):** Στην πραγματικότητα, πρόκειται για μεμονωμένα άτομα ή ομάδες ατόμων. Τα άτομα που πρόκειται να λάβουν μία απόφαση επιλογής, μπορεί να έχουν διαφορετικές ανάγκες ή χαρακτηριστικά και να αντιμετωπίζουν διαφορετικές καταστάσεις εναλλακτικών επιλογών.

- ii. Εναλλακτικές επιλογές:** Κάθε επιλογή, πραγματοποιείται μεταξύ ενός συνόλου εναλλακτικών επιλογών. Το περιβάλλον του μετακινούμενου, προσδιορίζει το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών που είναι διαθέσιμες. Κατά τη διαδικασία της επιλογής, ο μετακινούμενος, λαμβάνει υπόψη του ένα υποσύνολο αυτού του συνόλου που περιλαμβάνει εκείνες τις εναλλακτικές επιλογές που είναι γνωστές στο μετακινούμενο και που τις θεωρεί εφικτές. Οι επιλογές αυτές, αποτελούν το σύνολο εναλλακτικών επιλογών του μετακινούμενου.
- iii. Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών:** Περιγράφουν τις ιδιότητες της κάθε εναλλακτικής επιλογής, καθορίζοντας έτσι την ελκυστικότητά της. Χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπ όψη στον τομέα των μεταφορών είναι το κόστος, ο χρόνος. Οι μετακινούμενοι σταθμίζουν τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών και αποφασίζουν με βάση την ελκυστικότητα της κάθε εναλλακτικής επιλογής.
- iv. Κανόνας επιλογής:** Ο κανόνας επιλογής, περιγράφει το μηχανισμό που χρησιμοποιεί ο μετακινούμενος για να επεξεργαστεί τη διαθέσιμη πληροφορία ώστε να καταλήξει σε μία επιλογή. Οι κανόνες επιλογής, μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:
- *Επικράτηση:* Μία εναλλακτική επιλογή είναι επικρατέστερη μιας άλλης, όταν τουλάχιστον ένα χαρακτηριστικό της είναι περισσότερο ελκυστικό και κανένα χαρακτηριστικό της δεν είναι λιγότερο ελκυστικό από τα αντίστοιχα της ανταγωνιστικής εναλλακτικής επιλογής. Ο κανόνας αυτός δεν οδηγεί στην λήψη απόφασης επιλογής, ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον αποκλεισμό επιλογών από ένα υποσύνολο εναλλακτικών επιλογών.
  - *Ικανοποίηση:* Για κάθε χαρακτηριστικό, τίθεται ένα αποδεκτό επίπεδο ικανοποίησης το οποίο αποτελεί κριτήριο επιλογής. Εάν μία εναλλακτική επιλογή δεν ικανοποιεί το κριτήριο ικανοποίησης απορρίπτεται. Το κριτήριο της ικανοποίησης δεν οδηγεί απαραίτητα σε

απόφαση επιλογής. Για το λόγο αυτό συνδυάζεται με άλλα κριτήρια, όπως αυτό της επικράτησης.

- *Ωφέλεια*: Η ελκυστικότητα μιας εναλλακτικής επιλογής εκφράζεται ως συνάρτηση όλων των χαρακτηριστικών της που σταθμίζονται κατάλληλα. Η συνάρτηση αυτή εκφράζει την ωφέλεια που έχει ο μετακινούμενος εάν πραγματοποιήσει μία συγκεκριμένη επιλογή. Έτσι οι μετακινούμενοι, λαμβάνουν ένα μέτρο ωφέλειας για τις εναλλακτικές επιλογές που διαθέτουν και τελικά επιλέγουν εκείνες τις εναλλακτικές που μεγιστοποιούν την ατομική τους ωφέλεια. Ο κανόνας αυτός που είναι γνωστός και ως κανόνας μεγιστοποίησης της ωφέλειας, αποτελεί τον κυρίαρχο κανόνα επιλογής για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

*Ο κανόνας μεγιστοποίησης της ωφέλειας* βασίζεται στην παραδοχή ότι η κάθε μονάδα (μετακινούμενος) επιλέγει εκείνη την εναλλακτική που μεγιστοποιεί την ωφέλειά του. Κύριο χαρακτηριστικό των μεθόδων που βασίζονται στην αρχή της μεγιστοποίησης της ωφέλειας αποτελεί το γεγονός ότι μέσω της συνάρτησης ωφέλειας μπορεί να περιγραφεί η εξάρτηση των επιλογών σε σχέση με τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του μετακινούμενου και τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι για την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης, ο μετακινούμενος θα πρέπει να δαπανήσει διάφορα αγαθά, όπως χρόνο ή χρήμα. Δηλαδή, ο μετακινούμενος περισσότερο επιβαρύνεται, παρά ωφελείται από τη διαδικασία της μετακίνησης. Η ωφέλεια που έχει ο μετακινούμενος αποκλειστικά και μόνο από την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης, είναι ένα αρνητικό μέγεθος. Επομένως, οι συντελεστές μιας συνάρτησης ωφέλειας που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης που επιβαρύνουν το μετακινούμενο έχουν αρνητικό πρόσημο.

Για παράδειγμα, ένας μετακινούμενος για την πραγματοποίηση της μετακίνησής του, από τον τόπο κατοικίας προς το χώρο εργασίας του καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε δύο διαφορετικά μεταφορικά μέσα. Τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις δύο

αυτές εναλλακτικές επιλογές, μεταξύ των οποίων καλείται να επιλέξει ο μετακινούμενος, είναι ο χρόνος διαδρομής και το κόστος διαδρομής. Εάν  $t_1, c_1$  είναι ο χρόνος και το κόστος της μετακίνησης με το μεταφορικό μέσο 1 και  $t_2, c_2$  ο χρόνος και το κόστος μετακίνησης με το μεταφορικό μέσο 2, τότε η ωφέλεια  $U_1$  ή  $U_2$  που θα έχει ο μετακινούμενος από την επιλογή του μεταφορικού μέσου 1 ή μεταφορικού μέσου 2 για την πραγματοποίηση της μετακίνησης του θα είναι:

$$U_1 = \beta_t t_1 + \beta_c c_1 \quad (2.1)$$

$$U_2 = \beta_t t_2 + \beta_c c_2 \quad (2.2)$$

Οι συντελεστές  $\beta_t$  και  $\beta_c$  των χαρακτηριστικών του χρόνου και του κόστους διαδρομής, έχουν αρνητικό πρόσημο λόγω της επιβάρυνσης που επιφέρουν στο μετακινούμενο.

Οι παραπάνω συναρτήσεις εκφράζουν την ωφέλεια που προσφέρει η κάθε εναλλακτική επιλογή στον μετακινούμενο. Ο μετακινούμενος επιλέγει, σύμφωνα με τον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, εκείνη την εναλλακτική επιλογή που μεγιστοποιεί την ωφέλειά του. Το μοντέλο ανάλυσης μπορεί να επεκταθεί ώστε να αναλύει περισσότερες από τρεις (3) εναλλακτικές επιλογές.

### **2.3 Ντετερμινιστικά και Πιθανοκρατικά Μοντέλα Μεγιστοποίησης της Ωφέλειας**

Η συμπεριφορά των ατόμων, με βάση τις επιλογές που πραγματοποιούν, μπορεί να μοντελοποιηθεί βάσει ενός ντετερμινιστικού ή ενός πιθανοκρατικού (στοχαστικού) μοντέλου μεγιστοποίησης της ωφέλειας.

Τα ντετερμινιστικά μοντέλα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, βασίζονται στην παραδοχή, ότι η ωφέλεια είναι ντετερμινιστική και επομένως ο κανόνας επιλογής μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών είναι ντετερμινιστικός. Για παράδειγμα, στην πολύ απλή περίπτωση όπου ένας μετακινούμενος καλείται να επιλέξει μεταξύ του

μετρό ή του λεωφορείου ως μέσω μεταφοράς για την πραγματοποίηση μιας μετακίνησής του, η συμπεριφορά του μετακινούμενου από ένα ντετερμινιστικό μοντέλο μεγιστοποίησης της ωφέλειας, θα μπορούσε να περιγραφεί ως εξής:

- Εάν  $U_{\text{μετρό}} - U_{\text{λεωφορείο}} > 0$  τότε ο μετακινούμενος επιλέγει το μετρό ως μεταφορικό μέσο
- Εάν  $U_{\text{μετρό}} - U_{\text{λεωφορείο}} < 0$  τότε ο μετακινούμενος επιλέγει το λεωφορείο ως μεταφορικό μέσο.

Στην πραγματικότητα όμως, μετακινούμενοι με τα ίδια χαρακτηριστικά, καταλήγουν σε διαφορετικές επιλογές όταν αντιμετωπίζουν παρόμοια ή ακόμα και τα ίδια εναλλακτικά σενάρια επιλογής. Ακόμα, κατά την προτυποποίηση ενός μοντέλου επιλογής, υπάρχουν σφάλματα μετρήσεων, ελλιπής πληροφορία, διαφορές στις προτιμήσεις που εκδηλώνουν οι μετακινούμενοι, οι οποίες δεν παρατηρούνται ή δεν καταγράφονται καθώς επίσης και χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών που δε μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Επομένως δεν είναι δυνατόν για ένα μοντέλο να περιλάβει όλες τις μεταβλητές που επηρεάζουν τη διαδικασία επιλογής που εφαρμόζει ο κάθε μετακινούμενος και επομένως δεν είναι δυνατόν να γίνουν προβλέψεις με απόλυτη βεβαιότητα. Αποτέλεσμα αυτού, είναι τα ντετερμινιστικά μοντέλα μεγιστοποίησης της ωφέλειας να καθίστανται ανεπαρκή για την περιγραφή της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Εάν υπήρχε η δυνατότητα να έχει ο αναλυτής στη διάθεση του στοιχεία για όλες τις μεταβλητές που σχετίζονται με τους παράγοντες που επηρεάζουν το πρόβλημα της επιλογής, τα ντετερμινιστικά μοντέλα θα μπορούσαν να περιγράψουν το πρόβλημα της επιλογής ικανοποιητικά και να παράγουν αξιόπιστες προβλέψεις. Όμως στην πραγματικότητα, ο απαιτούμενος όγκος στοιχείων δεν είναι διαθέσιμος, εφόσον δεν είναι δυνατόν να συλλεχθούν πλήρη στοιχεία για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ή τις προτιμήσεις που μπορεί να έχει ο κάθε μετακινούμενος καθώς επίσης και για τα πιθανά λάθη που οφείλονται στην έλλειψη πλήρους και ακριβούς εικόνας για τα χαρακτηριστικά των μεταφορικών συστημάτων που είναι διαθέσιμα για κάθε συγκεκριμένη επιλογή. Τα μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας ή πιθανοκρατικά μοντέλα



επιλογής, αναγνωρίζουν αυτή την έλλειψη πλήρους πληροφορίας και περιγράφουν τις προτιμήσεις και τις επιλογές των μετακινούμενων με πιθανότητες. Επομένως, μέσω των πιθανοκρατικών μοντέλων, αντί να προβλέπεται με βεβαιότητα ότι ένας μετακινούμενος θα καταλήξει σε μία συγκεκριμένη επιλογή, υπολογίζεται η πιθανότητα κάθε μία από τις εναλλακτικές να επιλεγθεί.

### 2.3.1 Η Θεωρία της Στοχαστικής Ωφέλειας

Κατά την περιγραφή της συμπεριφοράς των μετακινούμενων με τη χρήση μοντέλων που βασίζονται στη θεωρία της στοχαστικής ωφέλειας, γίνονται ορισμένες παραδοχές, όπως ότι οι μετακινούμενοι ανήκουν σε έναν ομογενή πληθυσμό, έχουν οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά και κατέχουν ακριβή και πλήρη πληροφορία, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών που διαθέτουν. Επομένως, οι μετακινούμενοι πραγματοποιούν εκείνες τις επιλογές που μεγιστοποιούν την προσωπική τους ωφέλεια, ανάλογα με τους κοινωνικούς, νομικούς, φυσικούς και οικονομικούς περιορισμούς τους.

Έστω ότι ένας μετακινούμενος  $q$  καλείται να επιλέξει μεταξύ  $J$  εναλλακτικών τρόπων διαδρομής για την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης του. Σύμφωνα με τον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, ο μετακινούμενος επιλέγει εκείνη την εναλλακτική που μεγιστοποιεί την προσωπική του ωφέλεια. Κάθε εναλλακτική επιλογή  $A_j$  σχετίζεται με μια ωφέλεια  $U_{jq}$  για το μετακινούμενο  $q$ . Ο αναλυτής δεν έχει πλήρη πληροφορία για όλους τους παράγοντες που λαμβάνει υπόψη του ο κάθε μετακινούμενος όταν κάνει την επιλογή του. Σύμφωνα με τις παραδοχές που γίνονται κατά την εφαρμογή των μοντέλων που βασίζονται στον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, ο μετακινούμενος υπολογίζει το μέγεθος της ωφέλειας που λαμβάνει από την εναλλακτική που επιλέγει, εφόσον θεωρεί ότι κατέχει πλήρη και ακριβή πληροφορία των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών. Ο αναλυτής όμως, δεν είναι σε θέση να γνωρίζει το όφελος αυτό. Για το λόγο αυτό, η ωφέλεια  $U_{jq}$  την οποία λαμβάνει ένας μετακινούμενος  $q$  από μια εναλλακτική  $j$  θα πρέπει να αναπαρασταθεί με δύο συνιστώσες:

- a. Την αντιπροσωπευτική, συστηματική ή μετρούμενη ωφέλεια  $V_{jq}$ , η οποία είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών  $x_{jq}$  της εναλλακτικής και των χαρακτηριστικών  $s_q$  του μετακινούμενου όπως έχουν μετρηθεί από τον αναλυτή. Η συνάρτηση που συνδέει την ωφέλεια που λαμβάνει ο μετακινούμενος από την επιλογή μιας εναλλακτικής με τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν την επιλογή αυτή αλλά και με τα χαρακτηριστικά του μετακινούμενου θα έχει τη μορφή:

$$V_{jq} = V(x_{jq}, s_q) \quad (2.3)$$

Η οποία συνήθως λαμβάνει μία γραμμική μορφή:

$$V_{jq} = \sum_k \beta_{kj} * x_{jkq} \quad (2.4)$$

Όπου  $x_{jkq}$  είναι τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της εναλλακτικής επιλογής,  $k$  είναι ο αριθμός των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών και  $\beta_{kj}$  είναι το διάνυσμα των συντελεστών των χαρακτηριστικών. Οι μεταβλητές - χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται σε μια συνάρτηση ωφέλειας μπορεί να είναι είτε γενικές μεταβλητές οι οποίες θα εμφανίζονται στη συνάρτηση της κάθε εναλλακτικής επιλογής και οι συντελεστές τους θα έχουν την ίδια τιμή σε κάθε συνάρτηση ωφέλειας, είτε ειδικές μεταβλητές των οποίων οι συντελεστές έχουν διαφορετικές τιμές σε κάθε μία από τις συναρτήσεις ωφέλειας που χαρακτηρίζουν κάθε εναλλακτική επιλογή.

- b. Μία στοχαστική - τυχαία συνιστώσα,  $\varepsilon_{jq}$  που αναπαριστά τις ιδιοσυγκρασίες και ιδιαίτερες προτιμήσεις του μετακινούμενου, καθώς επίσης και το σφάλμα μέτρησης και παρατήρησης του αναλυτή. Η ποσότητα

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \quad (2.5)$$

αναπαριστά την αντιληπτή ωφέλεια της επιλογής  $j$ , δηλαδή την ωφέλεια όπως την αντιλαμβάνεται ο μετακινούμενος λόγω των ιδιαίτερων προτιμήσεων που έχει, καθώς επίσης και λόγω των σφαλμάτων που υφίσταται από την έλλειψη πλήρους γνώσης των χαρακτηριστικών των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών που διαθέτει.

Είναι προφανές ότι  $U_{jq} \neq V_{jq}$ . Υπάρχει δηλαδή μία ποσότητα ωφέλειας, η οποία ονομάζεται μη αντιληπτή ποσότητα ωφέλειας, την οποία ο αναλυτής αδυνατεί να προσδιορίσει.

Ο μετακινούμενος  $q$ , σύμφωνα με τον κανόνα μεγιστοποίησης της ωφέλειας, επιλέγει εκείνη την εναλλακτική με τη μεγαλύτερη αντιληπτή ωφέλεια για αυτόν. Έτσι, από ένα σύνολο  $N$  εναλλακτικών επιλογών  $A(q) = \{A_1, A_1, \dots, A_i, \dots, A_j, \dots, A_N\}$ , ο μετακινούμενος επιλέγει την εναλλακτική  $A_j$  αν και μόνο αν:

$$U_{jq} \geq U_{iq} \quad , \quad \forall A_i \in A(q) \quad (2.6)$$

Από τη σχέση (2.6) προκύπτει ότι:

$$U_{jq} \geq U_{iq} \Rightarrow \{V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq V_{iq} + \varepsilon_{iq}\} \Rightarrow V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \quad (2.7)$$

η τιμή του  $\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$  δε μπορεί να είναι γνωστή για κάθε μετακινούμενο  $q$ . Επομένως υπολογίζεται η πιθανότητα επιλογής της εναλλακτικής  $A_j$ , σύμφωνα με την παραδοχή που έχει γίνει για την κατανομή του σφάλματος, από τη σχέση:

$$P_{jq} = \Pr ob(U_{jq} \geq U_{iq} \quad , \quad \forall i \neq j) \Rightarrow$$

$$P_{jq} = \Pr ob(V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad , \quad \forall i \neq j) \Rightarrow$$

$$P_{jq} = \Pr ob(\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq} \leq V_{jq} - V_{iq} \quad , \quad \forall i \neq j) \quad (2.8)$$

Η σχέση (2.8), μπορεί να απλοποιηθεί, παραλείποντας το δείκτη  $q$  που σχετίζεται με το μετακινούμενο, οπότε η ζητούμενη πιθανότητα εκφράζεται ως εξής:

$$P_j = \text{Prob}(\varepsilon_i - \varepsilon_j \leq V_j - V_i) \quad , \quad \forall i \neq j \quad (2.9)$$

Εάν η κοινή κατανομή των σφαλμάτων  $\varepsilon$ ,  $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$  είναι γνωστή, τότε η παραπάνω πιθανότητα μπορεί υπολογιστεί από τη σχέση:

$$P_j = \int_{\varepsilon_j = -\infty}^{+\infty} \int_{\varepsilon_1 = -\infty}^{V_j - V_i + \varepsilon_j} \dots \int_{\varepsilon_k = -\infty}^{V_j - V_k + \varepsilon_j} \dots \int_{\varepsilon_N = -\infty}^{V_j - V_N + \varepsilon_j} f(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_j, \dots, \varepsilon_N) d\varepsilon_N d\varepsilon_{N-1} \dots d\varepsilon_1 d\varepsilon_j \quad (2.10)$$

Τα μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας που εφαρμόζονται στο συγκοινωνιακό σχεδιασμό, βασίζονται στην αρχή της ανεξαρτησίας και ταυτοσημίας των κατανομών των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας, σύμφωνα με την οποία:

- οι κατανομές των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας που σχετίζονται με κάθε εναλλακτική επιλογή, έχουν την ίδια μέση τιμή (ίση με μηδέν), καθώς επίσης και την ίδια μεταβλητότητα και
- Οι κατανομές των σφαλμάτων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, επομένως δε συσχετίζονται.

Επομένως η κοινή κατανομή των σφαλμάτων  $\varepsilon$ ,  $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$  μπορεί να εκφραστεί ως:

$$f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N) = \prod_k g(\varepsilon_k) \quad (2.11)$$

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, η ζητούμενη πιθανότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_j = \int_{\varepsilon_j = -\infty}^{+\infty} g(\varepsilon_j) * \left\{ \prod_{k \neq j} \int_{\varepsilon_k = -\infty}^{V_j - V_k + \varepsilon_j} g(\varepsilon_k) d\varepsilon_k \right\} d\varepsilon_j \quad (2.12)$$

Από τη σχέση (2.12) συμπεραίνεται ότι είναι δυνατόν να προκύψουν διαφορετικά πιθανοκρατικά μοντέλα, ανάλογα με την παραδοχή που κάνει ο αναλυτής σχετικά με την κατανομή του τυχαίου σφάλματος. Εάν γίνει η παραδοχή ότι το τυχαίο σφάλμα ακολουθεί μία κατανομή τύπου Gumbel, τότε η (2.12) μπορεί να υπολογιστεί από ένα μοντέλο τύπου logit. Εάν γίνει η παραδοχή ότι η κατανομή του τυχαίου σφάλματος είναι κανονική, τότε η (2.12) μπορεί να υπολογιστεί από ένα μοντέλο probit.

Τα μοντέλα logit, χρησιμοποιούνται ευρέως στο συγκοινωνιακό σχεδιασμό και είναι τα πλέον διαδεδομένα μοντέλα, δεδομένου του ότι περιγράφονται από μία αναλυτική σχέση. Το όνομα logit, προέρχεται από το Logistics Probability Unit. Τα μοντέλα Probit, παρόλο που δεν υπόκεινται σε πολλούς από τους περιορισμούς των μοντέλων logit, είναι δυσκολότερο να επιλυθούν, ιδίως όταν ο αριθμός των εναλλακτικών επιλογών είναι πολύ μεγάλος.

### 2.3.2 Τυποποίηση Συναρτήσεων Ωφέλειας

Η αντιπροσωπευτική ή μετρούμενη ωφέλεια  $V_{jq}$  την οποία λαμβάνει ένας μετακινούμενος  $q$  από την επιλογή μιας εναλλακτικής  $j$  ισούται με:

$$V_{jq} = \sum_k \beta_{kj} * x_{jkq}$$

Η παραπάνω έκφραση, για μία εναλλακτική επιλογή που περιγράφεται από δύο χαρακτηριστικά, θα έχει τη μορφή:

$$V = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \tag{2.13}$$

Όπου  $\beta_1, \beta_2$  είναι οι συντελεστές των χαρακτηριστικών  $x_1, x_2$  αντίστοιχα και εκφράζουν την επιβάρυνση που λαμβάνουν τα άτομα κατά την επιλογή της συγκεκριμένης εναλλακτικής, ενώ τα  $x_1, x_2$ , αντιπροσωπεύουν τις τιμές των χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης επιλογής. Ωστόσο, η σχέση (2.13), μπορεί να περιλαμβάνει και μία σταθερά  $\beta_0$ , η οποία εκφράζει την επίδραση που έχουν στη

μετρούμενη ωφέλεια, κάποια χαρακτηριστικά της επιλογής τα οποία δεν περιλαμβάνονται στο μοντέλο και αντιπροσωπεύουν τα μη μετρήσιμα ή μη ποσοτικοποιήσιμα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών.

Έστω η απλή περίπτωση όπου από ένα πρόβλημα επιλογής μεταξύ δύο εναλλακτικών προκύπτει το μοντέλο:

$$V_1 = \beta_1 x_1^1 + \beta_2 x_2^1 + \beta_0^1 \quad (2.14.a)$$

$$V_2 = \beta_1 x_1^2 + \beta_2 x_2^2 + \beta_0^2 \quad (2.14.β)$$

Σκοπός του αναλυτή κατά την ανάλυση ενός μοντέλου, είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων που θα αντιπροσωπεύουν τις διαφοροποιήσεις της ωφέλειας μεταξύ διαφορετικών εναλλακτικών επιλογών. Αφαιρώντας κατά μέλη τις συναρτήσεις ωφέλειας (2.14.α) και (2.14.β), προκύπτει:

$$V_1 - V_2 = \beta_1 (x_1^1 - x_1^2) + \beta_2 (x_2^1 - x_2^2) + (\beta_0^1 - \beta_0^2) \quad (2.15)$$

Είναι φανερό, ότι οι τιμές των σταθερών  $\beta_0^1$  και  $\beta_0^2$ , δηλαδή οι τιμές των σταθερών που εκφράζουν τα χαρακτηριστικά τα οποία είναι μη μετρήσιμα ή μη ποσοτικοποιήσιμα, δε μπορούν να προσδιοριστούν. Η ποσότητα που μπορεί να προσδιοριστεί είναι η διαφορά  $\beta_0^1 - \beta_0^2 = \mu$  των δύο αυτών σταθερών. Επομένως, θεωρώντας την τιμή της μιας από τις δύο σταθερές ίση με μηδέν (0) και εφόσον η διαφορά  $\mu$  των δύο σταθερών είναι γνωστή από την εκτίμηση του μοντέλου, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η τιμή της μιας από τις δύο σταθερές και θα ισχύει:

$$V_1 = \beta_1 x_1^1 + \beta_2 x_2^1 + \beta_0 \quad (2.16.a)$$

$$V_2 = \beta_1 x_1^2 + \beta_2 x_2^2 \quad (2.16.β)$$

Όπου η σταθερά  $\beta_0 = \mu$  εκφράζει τη διαφορά ωφέλειας των μη μετρήσιμων ή μη ποσοτικοποιήσιμων χαρακτηριστικών των δύο εναλλακτικών επιλογών.

## 2.4 Το Πολυωνυμικό Μοντέλο Logit

Ο υπολογισμός της πιθανότητας επιλογής μιας εναλλακτικής με τη χρήση της θεωρίας της μεγιστοποίησης της ωφέλειας, είναι μία αρκετά σύνθετη διαδικασία, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου υπάρχουν περισσότερες από δύο εναλλακτικές. Για το λόγο αυτό, κατά την κατασκευή των μοντέλων μεγιστοποίησης της ωφέλειας, είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες παραδοχές. Το μοντέλο τύπου logit που χρησιμοποιείται ευρέως στα πλαίσια του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, είναι το πολυωνυμικό μοντέλο logit, για την κατασκευή του οποίου γίνονται ορισμένες παραδοχές. Πιο συγκεκριμένα για τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών του πολυωνυμικού μοντέλου logit θεωρείται ότι:

- Η κατανομή των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή δε συσχετίζονται,
- Η κατανομή των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας που σχετίζονται με κάθε εναλλακτική επιλογή είναι ίδιες, έχουν όλες δηλαδή την ίδια μέση τιμή και την ίδια μεταβλητότητα και

Η παραδοχή αυτή, είναι γνωστή ως αρχή της ανεξαρτησίας και ταυτοσημίας των κατανομών των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας. Θα πρέπει ακόμα να σημειωθεί, ότι κατά την κατασκευή ενός πολυωνυμικού μοντέλου logit, γίνεται η παραδοχή ότι οι κατανομές των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας, ακολουθούν μία κατανομή τύπου Gumbel, κυρίως για αναλυτικούς σκοπούς, ως προσέγγιση μιας κανονικής κατανομής.

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, το ολοκλήρωμα της πιθανότητας επιλογής μιας εναλλακτικής έχει κλειστή μορφή και επομένως καθίσταται ευκολότερος ο υπολογισμός της πιθανότητας αυτής. Επομένως, η μορφή του πολυωνυμικού μοντέλου logit θα είναι:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\theta \cdot V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\theta \cdot V_{jq})} \quad (2.17)$$

Όπου  $\theta$  σχετίζεται με την τυπική απόκλιση  $\sigma$  της κατανομής Gumbel ως εξής:

$$\theta^2 = \frac{\pi^2}{6\sigma^2} \quad (2.18)$$

Στην πράξη, η  $\theta$  θεωρείται ίση προς τη μονάδα, αφού δε μπορεί να υπολογιστεί ξεχωριστά από τις παραμέτρους  $\beta$  της συστηματικής συνάρτησης ωφέλειας.

Σύμφωνα με τη σχέση (2.17), η πιθανότητα επιλογής μιας εναλλακτικής έναντι μιας άλλης σε ένα δυαδικό μοντέλο logit, θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} \quad (2.19)$$

με  $V_1 = \beta_1 x_1^1 + \beta_2 x_2^1 + \beta_0$  και  $V_2 = \beta_1 x_1^2 + \beta_2 x_2^2$ , από την οποία τελικά προκύπτει ότι:

$$\ln\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right) = (V_2 - V_1) \quad (2.20)$$

Δεδομένου ότι η πιθανότητα  $P_2$  είναι ίση με:

$$P_2 = 1 - P_1 = \frac{\exp(V_2)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} \quad (2.21)$$



## 2.5 Το Πολυωνομικό Μοντέλο Probit

Τα μοντέλα Probit, παρόλο που δεν υπόκεινται σε πολλούς από τους περιορισμούς των μοντέλων logit, είναι δυσκολότερο να επιλυθούν, ιδίως όταν ο αριθμός των εναλλακτικών επιλογών είναι πολύ μεγάλος. Η βασική παραδοχή των μοντέλων τύπου probit, είναι ότι οι τιμές του σφάλματος της συνάρτησης ωφέλειας ακολουθούν μία πολυδιάστατη κανονική κατανομή (multivariate normal – MVN), η οποία περιγράφει την κατανομή του σφάλματος ενός διάνυσματος ωφέλειας  $\xi = (\xi_1, \xi_2 \dots \xi_K)$ . Η κατανομή αυτή χαρακτηρίζεται από ένα διάνυσμα ωφέλειας, μεγέθους  $K$ , των μέσων  $\mu$  και ένα πίνακα συμεταβλητότητας  $\Sigma$ , διαστάσεων  $(K \times K)$ . Έτσι, ο συμβολισμός  $\xi \sim MVN(\mu, \Sigma)$  υποδεικνύει ότι το διάνυσμα  $\xi$  ακολουθεί μία πολυδιάστατη κανονική κατανομή με διάνυσμα μέσης τιμής  $\mu$  και πίνακα συμεταβλητότητας  $\Sigma$ . Στον πίνακα συμεταβλητότητας περιγράφεται η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του διανύσματος ωφέλειας, καθώς επίσης και η συμεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του διανύσματος ωφέλειας. Δηλαδή:

$$(\Sigma)_{kk} = \text{var}(\xi_k) \quad \text{και} \quad (\Sigma)_{kl} = \text{cov}(\xi_k, \xi_l) \quad \forall k \neq l \quad (2.22)$$

Με δεδομένο τον πίνακα συμεταβλητότητας της αντιληπτής ωφέλειας των εναλλακτικών επιλογών και το διάνυσμα των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών η κατανομή του διανύσματος της ωφέλειας  $U(a) = [U_1(a), \dots, U_k(a)]$  μπορεί να μοντελοποιηθεί ως πολυδιάστατη κανονική κατανομή. Δηλαδή:

$$U(a) \sim MVN[V(a), \Sigma] \quad (2.23)$$

Σύμφωνα με τον κανόνα επιλογής των μοντέλων διακριτών επιλογών, η πιθανότητα ένα άτομο να επιλέξει μία συγκεκριμένη εναλλακτική επιλογή, εξαρτάται από την πιθανότητα να θεωρηθεί η ωφέλεια της συγκεκριμένης εναλλακτικής υψηλότερη μεταξύ των υπολοίπων εναλλακτικών. Ωστόσο, στα μοντέλα τύπου probit, αυτή η πιθανότητα επιλογής δε μπορεί να εκφραστεί αναλυτικά, εφόσον η αθροιστική κανονική κατανομή δε μπορεί να εκτιμηθεί σε κλειστή μορφή.

Στην περίπτωση ενός δυαδικού μοντέλου, οι πιθανότητες επιλογής μιας εναλλακτικής, μπορεί να υπολογιστούν με τη χρήση αθροιστικών κανονικών πινάκων. Για παράδειγμα, έστω ότι:

$$U = (U_1 + U_2), \text{ με } U_1 = V_1 + \xi_1 \text{ και } U_2 = V_2 + \xi_2$$

Η κατανομή του διανύσματος του όρου του σφάλματος δίνεται από τη σχέση:

$$\xi \sim MVN(0, \Sigma) \quad (2.24)$$

όπου  $\xi = (\xi_1 + \xi_2)$ , 0 είναι ένα διάνυσμα με μηδενικά στοιχεία (0,0) και

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$$

Η πιθανότητα επιλογής της πρώτης εναλλακτικής, δίνεται από τη σχέση:

$$P_1 = \Pr ob[(U_1 \geq U_2)] = \Pr ob[(V_1 + \xi_1) \geq (V_2 + \xi_2)] \Rightarrow$$

$$P_1 = \Pr ob[(\xi_2 - \xi_1) \leq (V_1 - V_2)] \quad (2.25)$$

Η ποσότητα  $\xi_2 - \xi_1$  ακολουθεί κανονική κατανομή με μέσο όρο μηδέν (0) και μεταβλητότητα  $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_{12}$ . Η ζητούμενη πιθανότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_1 = \Phi\left(\frac{V_2 - V_1}{\sqrt{\sigma^2}}\right) \quad (2.26)$$

όπου  $\Phi(\bullet)$  είναι η τυποποιημένη αθροιστική κανονική καμπύλη. Με δεδομένες τις τιμές των  $V_1$ ,  $V_2$  και  $\sigma$ , η ζητούμενη πιθανότητα  $P_1$ , μπορεί να υπολογιστεί μέσω ενός τυποποιημένου πίνακα κανονικής κατανομής.

## 2.6 Οριακή Τιμή Υποκατάστασης

Κατά τη διαδικασία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, ο μελετητής συχνά καλείται να ερμηνεύσει τις επιπτώσεις που θα έχει μία ενδεχόμενη αλλαγή στα χαρακτηριστικά μιας εναλλακτικής επιλογής ενός μοντέλου διακριτών επιλογών. Για παράδειγμα, έστω ότι η ωφέλεια που έχει ένας μετακινούμενος επιλέγοντας το λεωφορείο ως μεταφορικό μέσο περιγράφεται από τη συνάρτηση:

$$V = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_0 \quad (2.27)$$

Μία ενδεχόμενη αλλαγή στα χαρακτηριστικά της παραπάνω συνάρτησης ωφέλειας, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της ωφέλειας που αποκομίζει ο μετακινούμενος κατά την επιλογή της συγκεκριμένης εναλλακτικής. Το πρόβλημα που τίθεται επομένως, είναι αν κάποιο χαρακτηριστικό της συνάρτησης ωφέλειας μεταβληθεί, κατά πόσο θα πρέπει να μεταβληθεί ένα άλλο χαρακτηριστικό της συνάρτησης ωφέλειας, ώστε ο μετακινούμενος να αποκομίζει την ίδια ποσότητα ωφέλειας, δηλαδή, ώστε η ωφέλεια της συγκεκριμένης εναλλακτικής να παραμείνει αμετάβλητη. Η οριακή τιμή υποκατάστασης λοιπόν, είναι η ποσότητα κατά την οποία πρέπει να μεταβληθεί το χαρακτηριστικό  $x_1$  ώστε η ωφέλεια που αποκομίζει ο μετακινούμενος να παραμένει σταθερή όταν το χαρακτηριστικό  $x_2$  μεταβληθεί κατά μία μονάδα και προκύπτει ως εξής:

$$M : dV = 0 \Rightarrow$$

$$\beta_1 dx_1 + \beta_2 dx_2 = 0 \Rightarrow -\beta_1 dx_1 = \beta_2 dx_2 \Rightarrow \frac{dx_1}{dx_2} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \Rightarrow$$

$$M = \frac{\beta_2}{\beta_1}, \text{ δηλαδή, η αξία του χαρακτηριστικού } x_2 \text{ είναι ίση με } \frac{\beta_2}{\beta_1},$$

δηλαδή αν η τιμή του χαρακτηριστικού  $x_2$  μειωθεί κατά μία μονάδα, το χαρακτηριστικό  $x_1$  θα πρέπει να αυξηθεί κατά  $\frac{\beta_2}{\beta_1}$ , ώστε η ωφέλεια να παραμείνει αμετάβλητη.

Ομοίως εάν το χαρακτηριστικό  $x_1$  μεταβληθεί κατά μία μονάδα, τότε η ποσότητα που θα πρέπει να μεταβληθεί το χαρακτηριστικό  $x_2$  ώστε η ωφέλεια της συγκεκριμένης εναλλακτικής επιλογής να παραμείνει αμετάβλητη, θα είναι:

$$M = \frac{\beta_1}{\beta_2} \text{ δηλαδή, η αξία του χαρακτηριστικού } x_1 \text{ είναι ίση με } \frac{\beta_1}{\beta_2}$$

Έστω στη συνάρτηση ωφέλειας (2.27), ότι  $x_1$  είναι το κόστος μετακίνησης με το λεωφορείο και  $x_2$  ο χρόνος μετακίνησης με το λεωφορείο. Η ωφέλεια που λαμβάνει ένας μετακινούμενος κατά την επιλογή του λεωφορείου ως μεταφορικό μέσο θα περιγράφεται από τη συνάρτηση:

$$V_{\Lambda} = \beta_c \text{κόστος}_{\Lambda} + \beta_t \text{χρόνος}_{\Lambda} + \beta_0 \quad (2.28)$$

Εάν ο χρόνος μετακίνησης με το λεωφορείο ελαττωθεί, τότε μπορεί να υπολογιστεί το ποσό του κόστους από το οποίο θα πρέπει να παραιτηθεί ο μετακινούμενος, δηλαδή την αύξηση του κόστους που θα αποδεχθεί, για να διατηρήσει την ωφέλειά του σταθερή, δεδομένης της μείωσης του χρόνου μετακίνησης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η οριακή τιμή υποκατάστασης του χαρακτηριστικού του χρόνου, δηλαδή η αξία του χρόνου θα είναι:

$$M = \frac{\beta_t}{\beta_c} \quad (2.29)$$

Επομένως αν ο χρόνος μετακίνησης μειωθεί κατά μία μονάδα, το κόστος θα πρέπει να αυξηθεί κατά ποσότητα ίση με  $M = \frac{\beta_t}{\beta_c}$

### **3. ΣΤΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ**

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση και ανάλυση του προβλήματος του στατικού καταμερισμού στο δίκτυο. Αρχικά γίνεται μία ανάλυση των συγκοινωνιακών δικτύων και των χαρακτηριστικών που τα περιγράφουν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι θεωρητικές αρχές του προβλήματος του στατικού καταμερισμού στο δίκτυο καθώς επίσης και οι μέθοδοι επίλυσης του, όπως περιγράφονται από τον Sheffi (1985).

#### **3.1 Εισαγωγή**

Αντικείμενο του καταμερισμού στο δίκτυο, είναι η ανάλυση του μεταφορικού δικτύου, δηλαδή η ανάλυση των φυσικών δομών του δικτύου, που συμπεριλαμβάνουν τους δρόμους και τους κόμβους δια μέσω των οποίων πραγματοποιείται η κίνηση των οχημάτων.

Το πρόβλημα του καταμερισμού στο δίκτυο, διατυπώνεται από τον Sheffi (1985) ως εξής:

Έχοντας ως δεδομένα:

1. Τη γραφική αναπαράσταση ενός συγκοινωνιακού δικτύου,
2. Τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου και
3. Ένα πίνακα προέλευσης – προορισμού,

Ζητείται να βρεθούν οι φόρτοι και οι χρόνοι μετακίνησης σε κάθε έναν από τους συνδέσμους του δικτύου.

Τα συγκοινωνιακά δίκτυα, συνήθως αναπαρίστανται από ένα σύστημα κόμβων και συνδέσμων. Οι κόμβοι αναπαριστούν διασταυρώσεις και οι σύνδεσμοι τα τμήματα των δρόμων μεταξύ των διασταυρώσεων. Οι σύνδεσμοι έχουν κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά που μπορούν να επηρεάσουν τις διαδρομές που επιλέγουν οι χρήστες για την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους. Τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τους συνδέσμους που απαρτίζουν ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, αποτελούνται από διάφορα στοιχεία, όπως ο χρόνος μετακίνησης, το επίπεδο της ασφάλειας, το κόστος μετακίνησης και η προσβασιμότητα. Θα πρέπει ωστόσο να τονιστεί, ότι το χαρακτηριστικό που επικρατεί κατά την περιγραφή ενός συνδέσμου, είναι ο χρόνος μετακίνησης, εφόσον είναι πιο εύκολο να εκτιμηθεί από τα υπόλοιπα. Επιπροσθέτως, όλα τα χαρακτηριστικά που περιγράφουν τους συνδέσμους ενός δικτύου, μπορούν να εκφραστούν σε μονάδες γενικευμένου κόστους.

Η διαδικασία εφαρμογής του καταμερισμού στο δίκτυο, επικεντρώνεται στον προσδιορισμό του αριθμού των μετακινήσεων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου. Ο πίνακας προέλευσης – προορισμού σύμφωνα με τον οποίο κατανέμονται οι μετακινήσεις για κάθε ζεύγος προέλευσης – προορισμού του δικτύου, αποτελεί δεδομένο εισόδου των μοντέλων του καταμερισμού στο δίκτυο και μπορεί να προσδιοριστεί είτε έμμεσα από προηγούμενα στάδια της διαδικασίας του συγκοινωνιακού σχεδιασμού είτε άμεσα από έρευνες πεδίου.

Στα στατικά μοντέλα, στα οποία επικεντρώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία, η διαδικασία του καταμερισμού στο δίκτυο, πραγματοποιείται έχοντας ως δεδομένο ότι η ζήτηση για μετακίνηση κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, την περίοδο ανάλυσης, δε μεταβάλλεται με το χρόνο, επομένως είναι στατική. Γίνεται δηλαδή η υπόθεση ότι οι ρυθμοί γένεσης των μετακινήσεων μεταξύ των ζευγών προέλευσης – προορισμού του δικτύου, παραμένουν σταθεροί κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.

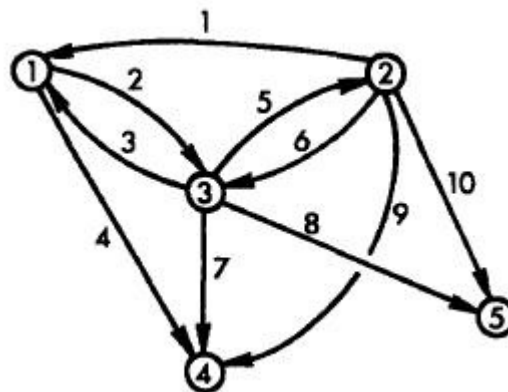
### **3.2 Αναπαράσταση Συγκοινωνιακών Δικτύων**

Ο όρος συγκοινωνιακά δίκτυα, χρησιμοποιείται για την περιγραφή των φυσικών δομών που αποτελούνται από δρόμους και κόμβους, δια μέσω των οποίων

πραγματοποιείται η κίνηση των οχημάτων. Κάθε συγκοινωνιακό δίκτυο αποτελείται από δύο ειδών στοιχεία : Ένα σύνολο σημείων και ένα σύνολο γραμμικών τμημάτων που ενώνουν αυτά τα σημεία. Με μαθηματικούς όρους, ένα συγκοινωνιακό δίκτυο μπορεί να εκφραστεί ως ένα σύνολο κόμβων που συνδέονται μεταξύ τους από ένα σύνολο συνδέσμων.

Κάθε σύνδεσμος του δικτύου, σχετίζεται με την κατεύθυνση της κίνησης των οχημάτων σε αυτόν, καθώς επίσης και με ένα κόστος μετακίνησης, το οποίο επηρεάζει τον φόρτο των οχημάτων που τον χρησιμοποιούν. Το κόστος μετακίνησης απορρέει από διάφορα χαρακτηριστικά του συνδέσμου, όπως ο χρόνος μετακίνησης, η προσβασιμότητα και η χωρητικότητά του. Ο όρος κόστος μετακίνησης, σχετίζεται μόνο με τους συνδέσμους και όχι με τους κόμβους του δικτύου. Στα δίκτυα που αναφέρονται στη παρούσα διπλωματική εργασία, είναι δυνατή η μετάβαση από έναν κόμβο σε οποιοδήποτε άλλο κόμβο, ακολουθώντας μία διαδρομή του δικτύου. Ως διαδρομή, ορίζεται μία ακολουθία συνδέσμων με συγκεκριμένη κατεύθυνση που οδηγούν από ένα κόμβο σε έναν άλλο. Το κόστος μετακίνησης κατά μήκος μιας συγκεκριμένης διαδρομής, είναι το άθροισμα του κόστους μετακίνησης του κάθε συνδέσμου που την απαρτίζει. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τη μετάβαση από ένα κόμβο του δικτύου σε έναν άλλο συνήθως υπάρχουν περισσότερες από μία εναλλακτικές διαδρομές.

Τα δίκτυα που αποτελούν αντικείμενο μελέτης του καταμερισμού στο δίκτυο, αποτελούνται από συνδέσμους που έχουν πάντα μία συγκεκριμένη κατεύθυνση κίνησης. Γραφικά ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα σύνολο κόμβων και ένα σύνολο συνδέσμων με μία συγκεκριμένη κατεύθυνση.



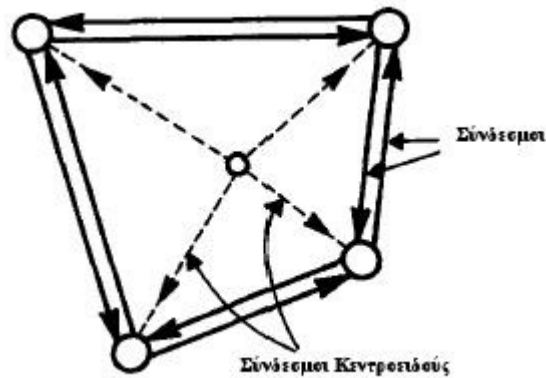
Σχήμα 3. 1: Γραφική αναπαράσταση συγκοινωνιακού δικτύου

Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται ένα δίκτυο που αποτελείται από πέντε (5) κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με δέκα (10) συνδέσμους. Όπως έχει επισημανθεί, για κάθε κατεύθυνση της κίνησης, χρησιμοποιείται διαφορετικός σύνδεσμος. Για παράδειγμα ο σύνδεσμος 5, αναπαριστά την κίνηση των οχημάτων από τον κόμβο 3 προς τον κόμβο 2, ενώ ο σύνδεσμος 6 την κίνηση των οχημάτων από τον κόμβο 2 προς τον κόμβο 3. Ακόμα, για τη μετάβαση από έναν κόμβο σε έναν άλλο υπάρχουν περισσότερες από μία εναλλακτικές διαδρομές. Για παράδειγμα η μετάβαση από τον κόμβο 2 στον κόμβο 4, μπορεί να πραγματοποιηθεί από τις διαδρομές : 9, 6 - 7, 6 - 3 - 4, 1 - 2 - 7, και 1 - 4.

Κατά τη διαδικασία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, οι υπό μελέτη περιοχές χωρίζονται σε ζώνες. Οι ζώνες είναι χωρικές ενότητες, που χρησιμοποιούνται για να ενοποιήσουν τα πρωτογενή στοιχεία, όπως για παράδειγμα μετακινήσεις ανά σκοπό, έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να αναλυθούν στα πλαίσια της ανάπτυξης του συγκοινωνιακού μοντέλου. Το μέγεθος καθώς επίσης και ο αριθμός των ζωνών, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος της υπό μελέτης περιοχής. Έτσι, μία ζώνη μπορεί να αναπαριστά ένα οικοδομικό τετράγωνο μιας πόλης, το κέντρο μιας πόλης ή ακόμα και έναν ολόκληρο νομό, ενώ ένα δίκτυο μπορεί να αποτελείται από μερικές δεκάδες έως μερικές χιλιάδες ζώνες. Οι ζώνες, αναπαρίστανται στα μοντέλα, σαν όλα τα χαρακτηριστικά τους να είναι συγκεντρωμένα σε ένα σημείο. Το σημείο αυτό ονομάζεται κεντροειδές της ζώνης και βρίσκεται στο γεωμετρικό κέντρο βάρους της. Όλες οι μετακινήσεις πηγάζουν από τα κεντροειδή των ζωνών και καταλήγουν στα κεντροειδή των ζωνών. Μόλις οριστούν τα κεντροειδή των ζωνών, όλες οι μετακινήσεις σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, μπορούν να εκφραστούν από ένα πίνακα προέλευσης – προορισμού.

Για παράδειγμα, το σχήμα 3.2 αναπαριστά μία ζώνη η οποία περιβάλλεται από τέσσερις δρόμους διπλής κατεύθυνσης. Στο κέντρο της ζώνης υπάρχει το κεντροειδές της ζώνης, το οποίο συνδέεται με το υπόλοιπο δίκτυο μέσω ειδικών συνδέσμων, των συνδέσμων κεντροειδούς. Το κεντροειδές του σχήματος 3.2 είναι κεντροειδές γένεσης μετακινήσεων και επομένως οι σύνδεσμοι κεντροειδούς έχουν κατεύθυνση προς τους κόμβους του εξωτερικού δικτύου. Στην περίπτωση που το κεντροειδές αποτελούσε σημείο έλξης μετακινήσεων οι σύνδεσμοι κεντροειδούς, θα είχαν κατεύθυνση προς το κεντροειδές.



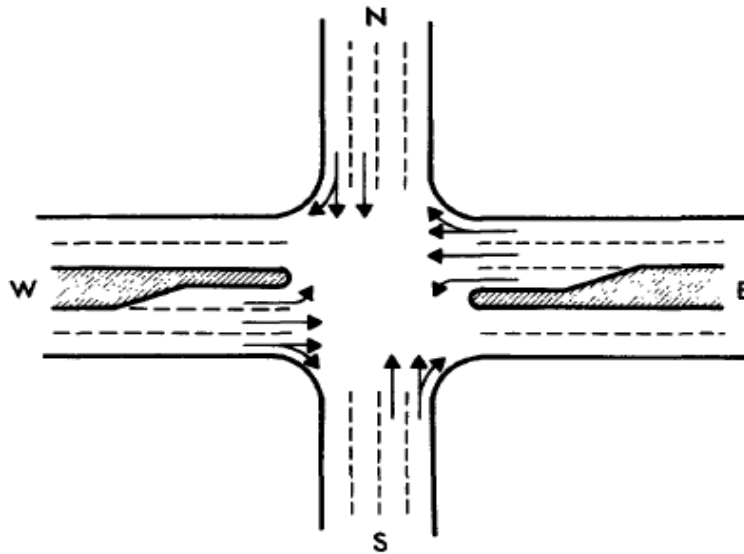


**Σχήμα 3. 2:** Αναπαράσταση ζώνης, κεντροειδούς ζώνης και συνδέσεων κεντροειδούς.  
Πηγή: Sheffi (1985)

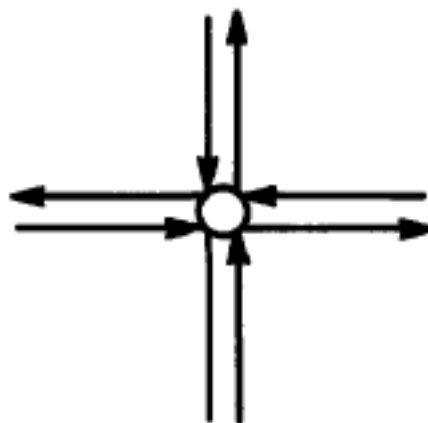
Η γραφική αναπαράσταση της φυσικής δομής και των χαρακτηριστικών ενός δικτύου, δεν είναι απόλυτη, αλλά εξαρτάται από το επίπεδο λεπτομέρειας της μοντελοποίησης του. Δηλαδή, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας της μοντελοποίησης, διαφορετικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση της ίδιας φυσικής δομής. Για παράδειγμα, η διασταύρωση, τύπου “Σταυρού” (τεσσάρων κλάδων), του σχήματος 3.3 μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά ως ένας κόμβος που ενώνεται με συνδέσμους, οι οποίοι αναπαριστούν τους δρόμους που έχουν ως αφετηρία ή προορισμό το συγκεκριμένο κόμβο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι οι δρόμοι δύο κατευθύνσεων, αναπαρίστανται από δύο διαφορετικούς συνδέσμους. Ακόμα, το κόστος μετακίνησης των συνδέσμων για τα οχήματα που εισέρχονται στον κόμβο, αναπαριστά την καθυστέρηση στον κόμβο, καθώς επίσης και το κόστος μετακίνησης στους δρόμους με κατεύθυνση προς τον κόμβο. Αντίθετα, το κόστος μετακίνησης των συνδέσμων για τα οχήματα που εξέρχονται από τον κόμβο αναπαριστά το κόστος μετακίνησης των δρόμων προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση, καθώς επίσης και την καθυστέρηση που προκύπτει από τους κόμβους κατάντι του κόμβου που εξετάζεται.

Η απλή γραφική αναπαράσταση του σχήματος 3.4, έχει δύο βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει απαγορευμένες στρέφουσες κινήσεις. Το δεύτερο μειονεκτήματα αυτής της γραφικής αναπαράστασης είναι ότι γίνεται η υπόθεση ότι όλα τα οχήματα που εισέρχονται στον κόμβο από μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, θα έχουν το ίδιο κόστος μετακίνησης ανεξάρτητα από τον προορισμό τους. Τα δύο παραπάνω μειονεκτήματα θα

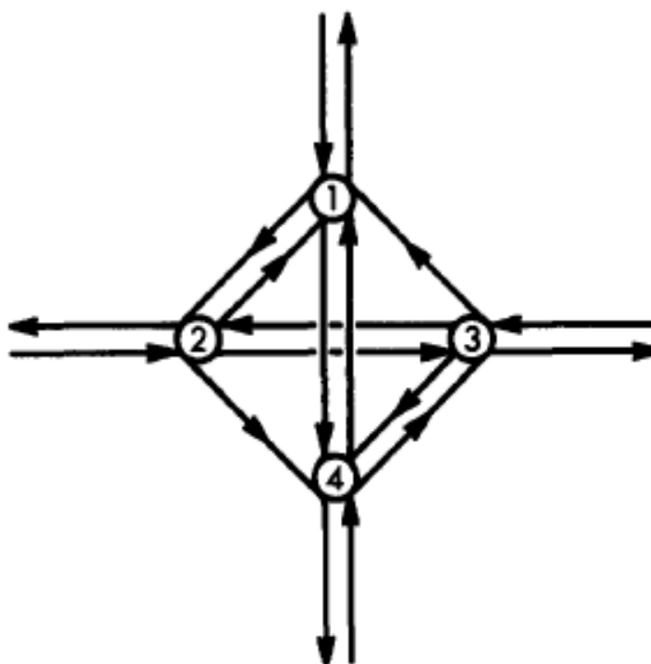
μπορούσαν να παρακαμφθούν με μία πιο λεπτομερή αναπαράσταση, όπως αυτή του σχήματος 3.5. Σε αυτή τη γραφική αναπαράσταση, η διασταύρωση τους σχήματος 3.3 αναπαρίσταται από τέσσερις κόμβους και δέκα συνδέσμους. Κάθε επιτρεπόμενη κίνηση αναπαρίσταται από διαφορετικό σύνδεσμο και επομένως κάθε κίνηση μπορεί να συσχετιστεί με το αντίστοιχο κόστος μετακίνησης.



**Σχήμα 3. 3:** Φυσική αναπαράσταση διασταύρωσης τύπου “Σταυρού”.  
Πηγή: Sheffi (1985)



**Σχήμα 3. 4:** Απλή αναπαράσταση της διασταύρωσης τους σχήματος 3.3.  
Πηγή: Sheffi (1985)



**Σχήμα 3. 5:** Λεπτομερής αναπαράσταση της διασταύρωσης τους σχήματος 3.3.  
Πηγή: Sheffi (1985)

Το παραπάνω παράδειγμα της αναπαράστασης ενός κόμβου του δικτύου, οδηγεί στην διαδικασία της γενίκευσης (aggregation) των δικτύων. Κύριο αντικείμενο της διαδικασίας αυτής, είναι η δημιουργία δικτύων μικρότερων σε μέγεθος από το πραγματικό δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, είτε με τη διάσπαση του δικτύου σε μικρότερα υποδίκτυα, είτε με τη γενίκευση των χαρακτηριστικών των συνδέσμων του δικτύου είτε και με τους δύο παραπάνω τρόπους. Η γενίκευση των δικτύων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αντικείμενο της διαδικασίας του καταμερισμού στο δίκτυο, καθώς η εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας σε μεγάλο μεγέθους δίκτυα σχετίζεται με ασύμφορους υπολογιστικούς χρόνους.

Πλήθος ερευνητών, έχουν μελετήσει την επίδραση που έχει το επίπεδο της χωρικής λεπτομέρειας, όπως για παράδειγμα το μέγεθος των ζωνών και η λεπτομέρεια αναπαράστασης του δικτύου, στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων του συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Μεταξύ αυτών, οι Bovy και Jensen (1983) και ο Eash (1983), μελέτησαν τα δίκτυα της πόλης του Αϊντχόφεν και του Σικάγο αντίστοιχα, ώστε να προσδιοριστεί κατά πόσο η λεπτομέρεια της αναπαράστασης ενός δικτύου

επηρεάζει την εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας. Το συμπέρασμα της μελέτης τους είναι ότι οι διαδικασίες γενίκευσης των δικτύων σε μεγάλο βαθμό, μπορεί να καταλήξουν σε μη αξιόπιστες λύσεις, ιδιαίτερα όταν στα υπό μελέτη δίκτυα έχει αναπτυχθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση. Όσο μεγαλύτερο το επίπεδο λεπτομέρειας της αναπαράστασης του δικτύου, τόσο πιο αξιόπιστα αναμένεται να είναι τα τελικά αποτελέσματα.

Βασική προϋπόθεση των περισσότερων μεθόδων γενίκευσης, είναι οι μετακινήσεις που πραγματοποιούνται μεταξύ όλων των ζευγών προέλευσης – προορισμού μιας περιοχής, να μπορούν να αναπαρασταθούν σαν να πραγματοποιούνται από και προς ενός μικρού σε μέγεθος συνόλου σημείων, των κεντροειδών. Το πρόβλημα αυτό, που είναι γνωστό και ως χωρική γενίκευση, απαιτεί τη διαίρεση της υπό μελέτη περιοχής σε μικρότερες ζώνες και περισσότερα κεντροειδή. Κάτι τέτοιο όμως θα έχει ως αποτέλεσμα υψηλό υπολογιστικό κόστος. Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι, Daganzo (1980), οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι ώστε να μπορούν να χειριστούν μεγάλο αριθμό κεντροειδών, με χαμηλότερο υπολογιστικό κόστος.

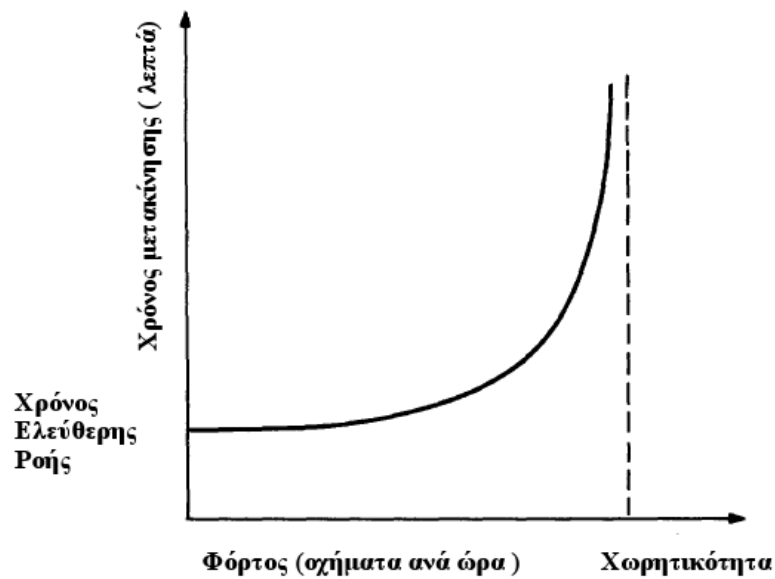
Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, το πρόβλημα της γενίκευσης των δικτύων δεν παρουσιάζει δυσκολίες. Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου υπάρχει υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, το πρόβλημα της γενίκευσης γίνεται πιο περίπλοκο, καθώς θα πρέπει να αντιμετωπιστούν θέματα, όπως η υποδιαίρεση της υπό μελέτη περιοχής σε μικρότερα υποδίκτυα, ο υπολογισμός των μετακινήσεων που εισέρχονται και εξέρχονται από το δίκτυο, καθώς επίσης και η κατασκευή ενός πίνακα προέλευσης – προορισμού που θα επιτρέπει τον υπολογισμό των φόρτων στην κατάσταση ισορροπίας. Αλγόριθμοι για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων γενίκευσης έχουν αναπτυχθεί από τους Haghani και Daskin (1983) και Hearn (1976).

### **3.3 Καμπύλη Φόρτου – Χρόνου Συνδέσμου**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το επίπεδο της εξυπηρέτησης που σχετίζεται με τους συνδέσμους ενός συγκοινωνιακού δικτύου, αποτελεί έκφραση πολλών διαφορετικών παραγόντων, όπως το κόστος μετακίνησης, ο χρόνος μετακίνησης και η

προσβασιμότητα. Επομένως, το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχεται από τα περισσότερα συγκοινωνιακά συστήματα σχετίζεται άμεσα με τη ζήτηση για μετακίνηση στα συστήματα αυτά. Εξ' αιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης που δημιουργείται με την αύξηση των φόρτων στους συνδέσμους και στους κόμβους ενός δικτύου, ο χρόνος μετακίνησης είναι μία αυξανόμενη συνάρτηση του φόρτου. Επομένως και επειδή ο χρόνος μετακίνησής στο δίκτυο δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από τους φόρτους του δικτύου, για κάθε σύνδεσμο του δικτύου, θα πρέπει να προσδιοριστεί μία καμπύλη απόδοσης ή διαφορετικά καμπύλη φόρτου - χρόνου του συνδέσμου, η οποία θα συσχετίζει το χρόνο μετακίνησης που χρειάζεται για να διασχίσει ο μετακινούμενος ένα σύνδεσμο του δικτύου, με το φόρτο στο σύνδεσμο αυτό.

Στο σχήμα 3.6. αναπαρίσταται μία τυπική καμπύλη φόρτου – χρόνου ενός συνδέσμου. Ο χρόνος μετακίνησης στην κατάσταση όπου ο φόρτος είναι μηδενικός, είναι γνωστός ως χρόνος ελεύθερης ροής. Στην κατάσταση ελεύθερης ροής, οι μετακινούμενοι δε θα επιβαρυνθούν με επιπλέον καθυστερήσεις στο χρόνο μετακίνησής τους, εξ' αιτίας των υπόλοιπων οχημάτων που χρησιμοποιούν το σύνδεσμο. Οι μόνες καθυστερήσεις που θα βιώσουν οι μετακινούμενοι στην κατάσταση αυτή οφείλονται στα χαρακτηριστικά του συνδέσμου, όπως ο χρόνος που χρειάζεται για να διασχίσει κάποιος τον εν λόγω σύνδεσμο ή οι καθυστερήσεις λόγω φωτεινής σηματοδότησης. Καθώς ο φόρτος του συνδέσμου αυξάνει, ο χρόνος μετακίνησης αυξάνει εκθετικά. Χαρακτηριστικό της καμπύλης φόρτου – χρόνου, είναι ότι είναι ασύμπτωτη σε μία συγκεκριμένη τιμή του φόρτου, που είναι γνωστή ως χωρητικότητά του συνδέσμου. Η χωρητικότητα, είναι η μέγιστη τιμή φόρτου που μπορεί να διασχίσει ένα σύνδεσμο. Η καμπύλη φόρτου – χρόνου, δε μπορεί να οριστεί για μεγαλύτερες τιμές φόρτου από αυτή της χωρητικότητας. Καθώς η τιμή του φόρτου πλησιάζει αυτή της χωρητικότητας, η καθυστερήσεις των οχημάτων θα αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό και τελικά η κίνηση των οχημάτων θα είναι αδύνατη.



**Σχήμα 3. 6:** Τυπική καμπύλη φόρτου – χρόνου συνδέσμου.  
Πηγή: Sheffi (1985)

Η μορφή της καμπύλης φόρτου – χρόνου, είναι παρόμοια για όλους τους συνδέσμους που αντιπροσωπεύουν δρόμους αστικών δικτύων. Ωστόσο οι ακριβείς παράμετροι της καμπύλης φόρτου – χρόνου, προσδιορίζονται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του κάθε δρόμου, όπως για παράδειγμα μήκος, πλάτος και διάρκεια φωτεινής σηματοδότησης.

Οι σύνδεσμοι κεντροειδούς, μοντελοποιούνται με σταθερό χρόνο μετακίνησης. Δηλαδή, ο χρόνος μετακίνησης στους συνδέσμους κεντροειδούς, δε μεταβάλλεται με την αύξηση της τιμής του φόρτου, εφόσον οι σύνδεσμοι αυτοί αντιπροσωπεύουν ένα εσωτερικό πλασματικό δίκτυο της ζώνης και όχι κάποια συγκεκριμένη δομή του υπό μελέτη δικτύου.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μαθηματική έκφραση της καμπύλης φόρτου – χρόνου, που να μπορεί να καλύψει όλους τους τύπους συγκοινωνιακών δικτύων. Ανάλογα με το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του κάθε δικτύου που εξετάζεται, θα πρέπει να γίνει επιλογή της καταλληλότερης καμπύλης φόρτου – χρόνου.

Μία από τις πιο γνωστές και ευρέως διαδεδομένες καμπύλες φόρτου – χρόνου που έχουν αναπτυχθεί είναι η καμπύλη BPR (Bureau of Public Roads) ή διαφορετικά, καμπύλη FHWA (Federal Highway Administration). Στη γενική της μορφή η καμπύλη αυτή μπορεί να εκφραστεί ως :

$$tt(q) = tt_0 \left[ 1 + a(q/c)^b \right] \quad (3.1)$$

όπου :

$q$	ο φόρτος που εφαρμόζεται
$tt(q)$	ο μέσος χρόνος μετακίνησης
$tt_0$	ο χρόνος μετακίνησης στην κατάσταση ελεύθερης ροής
$c$	η πρακτική χωρητικότητα <sup>1</sup>
$a, b$	σταθερές, με προτεινόμενες τιμές 0.15 και 4 αντίστοιχα <sup>2</sup>

Αν και η παραπάνω μαθηματική έκφραση έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες συγκοινωνιακού σχεδιασμού και έχει ενσωματωθεί σε αρκετά μοντέλα σχεδιασμού δικτύων, στερείται θεωρητικού υποβάθρου, ενώ ο ορισμός της χωρητικότητας της καμπύλης αυτής είναι αμφιλεγόμενος.

Μία διαφορετική μαθηματική έκφραση της καμπύλης φόρτου – χρόνου που προτάθηκε από τον Davidson (1966) η οποία συσχετίζει το χρόνο μετακίνησης στην κατάσταση ελεύθερης ροής με το φόρτο και το χρόνο μετακίνησης στην κατάσταση κορεσμού, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

---

1 : Η πρακτική χωρητικότητα στο Highway Capacity Manual (BRP 1950) ορίζεται ως “ ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορούν να διέλθουν από ένα συγκεκριμένο σημείο ενός δρόμου ή μιας λωρίδας κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια μιας ώρας, χωρίς η κυκλοφοριακή συμφόρηση να είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλέσει μεγάλη καθυστέρηση, κίνδυνο ή να περιορίσει την ελευθερία των μετακινούμενων κατά την παραμονή τους μέσα στο δίκτυο ”. Η πρακτική χωρητικότητα παίρνει συνήθως τιμή ¾ του φόρτου κορεσμού.

2 : Οι τιμές των  $a = 0.15$  και  $b = 4$  ορίζουν ότι η πρακτική χωρητικότητα είναι ο φόρτος κατά τον οποίο ο χρόνος μετακίνησης είναι 15% υψηλότερος από το χρόνο μετακίνησης στην κατάσταση ελεύθερης ροής.

$$tt(q) = tt_0 [1 + Jq/(s - q)] \quad (3.2)$$

όπου :

$s$  ο φόρτος στην κατάσταση κορεσμού  
 $J$  μία παράμετρος καθυστέρησης

Στην καμπύλη φόρτου – χρόνου που προτάθηκε από τον Davidson, παρέχεται η δυνατότητα έκφρασης της επίδρασης που έχουν στο μοντέλο, τα φυσικά χαρακτηριστικά των δικτύων, μέσω των παραμέτρων  $s$  και  $tt_0$ , ενώ θεωρητικά μπορεί να στηριχθεί στη Θεωρία Ουρών (Davidson, 1978). Ωστόσο η χρήση της μπορεί να οδηγήσει σε υψηλούς υπολογιστικούς χρόνους, όταν εφαρμόζεται σε συνδυασμό με μία επαναληπτική διαδικασία καταμερισμού στο δίκτυο, όπως ο αλγόριθμος των Frank και Wolfe που παρουσιάζεται στη συνέχεια, σε καταστάσεις υψηλού κορεσμού, οι οποίες στην πραγματικότητα είναι πολύ πιθανό να προκύψουν σε οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας, ακόμα και αν οι τελικές καταστάσεις φόρτου δεν είναι υπερκορεσμένες.

Μία διαφορετική έκφραση της καμπύλης του Davidson, προτάθηκε από τον Akcelik (1978) η οποία παράγει πεπερασμένους χρόνους μετακίνησης, για όλους τους πεπερασμένους φόρτους, επιτρέποντας έτσι την προσωρινή υπερφόρτωση των συνδέσμων, αποφεύγοντας τους υψηλούς υπολογιστικούς χρόνους. Η καμπύλη αυτή μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής :

$$tt(q) = tt_0 [1 + Jq/(s - q)] \quad q \leq rs \quad (3.3.α)$$

$$tt(q) = tt_r + K_r(q - rs) \quad q > rs \quad (3.3.β)$$

όπου :

$$0 < r < 1 \quad (3.4)$$



$$tt_r = tt(rs) = tt_0 [1 + Jr / (1 - r)] \quad (3.5)$$

$$K_r = \left[ \frac{dtt}{dq} \right]_{q=rs} = Jtt_0 / (s(1 - r)^2) \quad (3.6)$$

Η κρίσιμη τιμή του φόρτου  $rs$  μπορεί να θεωρηθεί ως η τιμή του φόρτου πάνω από την οποία παρουσιάζεται κατάσταση υπερκορεσμού στο σύνδεσμο. Ο τέταρτος παράγοντας του μοντέλου είναι ο παράγοντας  $r$  ο οποίος παίρνει τιμές από 0.85 έως 0.90 και χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ποιότητα της εξυπηρέτησης του συνδέσμου.

### 3.4 Ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή ενός μοντέλου καταμερισμού στο δίκτυο, είναι η ύπαρξη ενός πίνακα προέλευσης – προορισμού. Ο πίνακας προέλευσης – προορισμού, δηλαδή ο κανόνας σύμφωνα με τον οποίο κατανέμονται οι μετακινήσεις για κάθε ζεύγος προέλευσης – προορισμού του δικτύου, μπορεί να προσδιοριστεί είτε έμμεσα από προηγούμενα στάδια της διαδικασίας του συγκοινωνιακού σχεδιασμού είτε άμεσα από έρευνες πεδίου.

Ο πίνακας προέλευσης – προορισμού είναι ένας δυσδιάστατος πίνακας οι γραμμές και οι στήλες του οποίου αναπαριστούν κάθε μία από τις ζώνες της υπό μελέτη περιοχής. Τα κελιά κάθε γραμμής περιλαμβάνουν της μετακινήσεις που έχουν ως προέλευση τη συγκεκριμένη ζώνη  $i$  και ως προορισμούς τις ζώνες  $j$  στις αντίστοιχες στήλες. Τα διαγώνια κελιά αναπαριστούν τις ενδοζωνικές μετακινήσεις.

Σε ένα πίνακα προέλευσης – προορισμού, το άθροισμα όλων των μετακινήσεων  $T_{ij}$  μεταξύ των ζωνών  $i$  και  $j$  για όλες τις ζώνες προέλευσης μετακινήσεων, είναι ίσο με το συνολικό αριθμό μετακινήσεων  $D_j$  που έλκονται στη ζώνη  $j$ .

$$\sum_i T_{ij} = D_j.$$

Το άθροισμα όλων των μετακινήσεων  $T_{ij}$  μεταξύ της ζώνης  $i$  και όλων των προορισμών  $j$ , είναι ίσο με το συνολικό αριθμό των μετακινήσεων που παράγονται από τη ζώνη  $i$ .

$$\sum_j T_{ij} = O_j$$

Ενώ, το άθροισμα όλων των μετακινήσεων  $T_{ij}$  από όλες τις ζώνες προέλευσης  $i$  προς όλες τις ζώνες προορισμού  $j$ , είναι ίσο με το σύνολο όλων των παραγόμενων μετακινήσεων και με το σύνολο όλων των προελκυσμένων μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης.

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = \sum_i O_i = \sum_j D_j$$

Ένας πίνακας προέλευσης – προορισμού, μπορεί να χωριστεί σε επιμέρους πίνακες, όπως για παράδειγμα σε πίνακες με μετακινήσεις ανά σκοπό ή μετακινήσεις ανά μέσο. Οι πίνακες προέλευσης προορισμού μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν το χρόνο ή το κόστος μετακίνησης ανά ζεύγος προέλευσης – προορισμού. Το κόστος αυτό συνήθως εκφράζεται ως γενικευμένο κόστος το οποίο είναι ένα μέγεθος που συνδυάζει όλα τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την επιβάρυνση που δέχεται ο μετακινούμενος κατά τη μετακίνησή του. Στον πίνακα 3.1 παρατίθεται ένας τυπικός πίνακας προέλευσης – προορισμού.

Από Ζώνη / Προς Ζώνη	1	2	3	...	J	...	Z	$\sum_j T_{ij}$
1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	...	$T_{1j}$	...	$T_{1z}$	$O_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	...	$T_{2j}$	...	$T_{2z}$	$O_2$
3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	...	$T_{3j}$	...	$T_{3z}$	$O_3$
•				...		...		
i	$T_{i1}$	$T_{i2}$	$T_{i3}$	...	$T_{ij}$	...	$T_{iz}$	$O_i$
•				...		...		
z	$T_{z1}$	$T_{z2}$	$T_{z3}$	...	$T_{zj}$	...	$T_{zz}$	$O_z$
$\sum_i T_{ij}$	$T_{z1}$	$T_{z1}$	$T_{z1}$		$T_{z1}$		$T_{z1}$	$\sum_{i,j} T_{ij} = T$

Πίνακας 3. 1: Τυπικός πίνακας προέλευσης – προορισμού.

### 3.5 Κανόνες Επιλογής Διαδρομής: Ντετερμινιστική και Στοχαστική Κατάσταση Ισορροπίας

Για την εύρεση της λύσης του προβλήματος του καταμερισμού στο δίκτυο, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του κανόνα, σύμφωνα με τον οποίο γίνεται η επιλογή των διαδρομών από τους μετακινούμενους. Είναι προφανές ότι ο κάθε μετακινούμενος θα επιλέξει τη διαδρομή που θα ελαχιστοποιήσει το χρόνο και επομένως το κόστος, κατά τη μετακίνησή του από και προς ένα προορισμό. Έχοντας ως δεδομένο τη ζήτηση για μετακίνηση μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού, η λύση του προβλήματος του καταμερισμού στο δίκτυο, είναι η εύρεση του τρόπου με τον οποίο θα κατανεμηθούν οι μετακινούμενοι στις πιθανές διαδρομές που συνδέουν το συγκεκριμένο ζεύγος προέλευσης – προορισμού. Εάν όλοι οι μετακινούμενοι επρόκειτο να επιλέξουν τη συντομότερη διαδρομή, δηλαδή τη διαδρομή με το μικρότερο κόστος, θα αναπτύσσονταν σε αυτή τη διαδρομή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ως αποτέλεσμα αυτού, το κόστος μετακίνησης σε αυτή τη διαδρομή, μπορεί να αυξηθεί τόσο, ώστε να μην είναι πλέον η συντομότερη διαδρομή και επομένως μέρος των μετακινούμενων, θα επιλέξουν μία νέα εναλλακτική διαδρομή. Ωστόσο, στη νέα αυτή εναλλακτική διαδρομή, μπορεί να αναπτυχθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση σε τέτοια επίπεδα ώστε να μην αποτελεί

πλέον τη συντομότερη διαδρομή και ούτω καθ' εξής. Η επιλογή των εναλλακτικών διαδρομών από τους μετακινούμενους θα συνεχιστεί έως ότου το σύστημα των εναλλακτικών διαδρομών μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού, καταλήξει σε μία κατάσταση ισορροπίας.

Εφόσον οι μετακινούμενοι που επιλέγουν κάποια εναλλακτική διαδρομή μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού μειώνονται όσο αυξάνει το κόστος μετακίνησής στη συγκεκριμένη διαδρομή, είναι εφικτό να μοντελοποιηθεί η διαδικασία, κατά την οποία ένα σύστημα καταλήγει σε ισορροπία μεταξύ του κόστους μετακίνησης στις εναλλακτικές διαδρομές και των επιλογών των μετακινούμενων. Ο ορισμός της ισορροπίας σε ένα δίκτυο, διατυπώθηκε για πρώτη φορά στα πλαίσια του συγκοινωνιακού σχεδιασμού από τον Wardrop (1952), σύμφωνα με τον οποίο:

*“Οι μετακινούμενοι επιλέγουν τέτοιες διαδρομές, ώστε στην κατάσταση ισορροπίας, το κόστος μετακίνησης να είναι ίσο σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται και όχι μεγαλύτερο από τις διαδρομές που δε χρησιμοποιούνται.”*

Εναλλακτικά, θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής:

*“Οι μετακινούμενοι, επιλέγουν τέτοιες διαδρομές, ώστε στην κατάσταση ισορροπίας, κανένας μετακινούμενος να μη μπορεί να μειώσει το κόστος της μετακίνησής του, επιλέγοντας κάποια εναλλακτική διαδρομή.”*

Η κατάσταση αυτή είναι γνωστή ως *Ντετερμινιστική Κατάσταση Ισορροπίας, User Equilibrium (UE)*, ή *πρώτη Αρχή του Wardrop*.

Για τη λύση της κατάστασης ισορροπίας του Wardrop, γίνονται κάποιες παραδοχές οι οποίες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ρεαλιστικές. Για παράδειγμα γίνεται η υπόθεση ότι οι μετακινούμενοι έχουν πλήρη γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών του δικτύου και του κόστους μετακίνησης στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού. Ωστόσο στην πραγματικότητα κάθε μετακινούμενος, αντιλαμβάνεται το κόστος μετακίνησης κάθε διαδρομής διαφορετικά. Επομένως για την εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας, θα μπορούσε να εφαρμοστεί ο κανόνας, ότι ο κάθε μετακινούμενος θα προσπαθήσει να

ελαχιστοποιήσει το κόστος της μετακίνησής του, επιλέγοντας διαδρομές τις οποίες εκείνος αντιλαμβάνεται ότι έχουν το μικρότερο κόστος. Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, διατυπώθηκε από τους Daganzo and Seffi (1977) η *Στοχαστική Κατάσταση Ισορροπίας, Stochastic User Equilibrium (SUE)*, η οποία μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

*“Οι διαδρομές που επιλέγονται από τους μετακινούμενους για κάθε ζεύγος προέλευσης-προορισμού στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, δηλαδή σε μία μακροπρόθεσμη κατάσταση, είναι αυτές που ο κάθε μετακινούμενος αντιλαμβάνεται ότι έχουν το μικρότερο κόστος”*

Για τον προσδιορισμό του κόστους που ο κάθε χρήστης αντιλαμβάνεται για την κάθε διαδρομή του δικτύου, επιλέγονται τιμές με συγκεκριμένη κάθε φορά απόκλιση από μία μέση τιμή κόστους, η οποία στην πραγματικότητα είναι το πραγματικό κόστος μετακίνησης. Στην περίπτωση που οι μετακινούμενοι στην *SUE* έχουν πλήρη γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών, δηλαδή αν το κόστος μετακίνησής που αντιλαμβάνονται είναι το πραγματικό κόστος, η λύση της *SUE* θα συμπίπτει με τη λύση της *UE*, εφόσον η απόκλιση γύρω από τη μέση τιμή θα είναι μηδέν (0).

Για τη μελέτη και λύση της κατάστασης ισορροπίας σε ένα δίκτυο, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη αλγορίθμων που υπολογίζουν ή δίνουν μία εκτίμηση των φόρτων στην κατάσταση ισορροπίας.

Πριν την παρουσίαση της μεθοδολογίας σχηματισμού και επίλυσης της ισορροπίας στο δίκτυο, θεωρείται σκόπιμη η παράθεση των συμβολισμών που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση ενός δικτύου και των χαρακτηριστικών του. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα συγκοινωνιακό δίκτυο, αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων  $N$  και ένα σύνολο συνδέσμων  $L$ . Ένας σύνδεσμος μπορεί επίσης να αναπαρασταθεί σε συνάρτηση με τους κόμβους που συνδέει. Για παράδειγμα ο σύνδεσμος  $j \rightarrow m$  είναι ο σύνδεσμος με κατεύθυνση από τον κόμβο  $j$  προς τον κόμβο  $m$ . Το σύνολο των κόμβων προέλευσης συμβολίζεται με  $R$ , ενώ το σύνολο των κόμβων προορισμού με  $S$ . Είναι προφανές, ότι κάθε κόμβος προέλευσης μπορεί να είναι και κόμβος προορισμού και το αντίστροφο. Δηλαδή,  $R \cap S \neq \emptyset$ . Κάθε ζεύγος προέλευσης –

προορισμού  $(r-s)$  συνδέεται με ένα σύνολο διαδρομών που συμβολίζονται με  $K_{rs}$ , όπου  $r \in R$  και  $s \in S$ . Ο πίνακας προέλευσης – προορισμού συμβολίζεται με  $Q$ , με στοιχεία  $Q_{rs}$ , τα οποία αναπαριστούν των ρυθμό των μετακινήσεων μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού  $(r-s)$ . Ο φόρτος και ο χρόνος μετακίνησης σε ένα σύνδεσμο  $a$  αναπαρίσταται από διανύσματα που συμβολίζονται ως  $q = (\dots, q_a, \dots)$  και  $tt = (\dots, tt_a, \dots)$  αντίστοιχα, όπου το  $q_a$  αναπαριστά τον φόρτο σε ένα σύνδεσμο  $a$ , ενώ το  $tt_a = tt_a(q_a)$  το χρόνο που χρειάζεται ένας μετακινούμενος για να διασχίσει το σύνδεσμο  $a$  όταν ο σύνδεσμος έχει φορτιστεί με φόρτο  $q_a$ . Όμοια, τα  $f_k^{rs}$  και  $c_k^{rs}$  αναπαριστούν το φόρτο και το χρόνο μετακίνησης, αντίστοιχα, σε μία διαδρομή  $k$  με  $k \in K_{rs}$  ενώ σε διανυσματική μορφή μπορούν να εκφραστούν ως  $f = (\dots, f^{rs}, \dots)$ ,  $f^{rs} = (\dots, f_k^{rs}, \dots)$  και  $c = (\dots, c_k^{rs}, \dots)$ ,  $c^{rs} = (\dots, c_k^{rs}, \dots)$ . Τα  $c_k^{rs}$  και  $q_a$  μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά με τις παρακάτω εξισώσεις οι οποίες είναι γνωστές ως σχέσεις φόρτου συνδέσμου και φόρτου διαδρομής:

$$c_k^{rs} = \sum_a tt_a \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall k \in K_{rs}, \quad \forall r \in R, \quad \forall s \in S \quad (3.7)$$

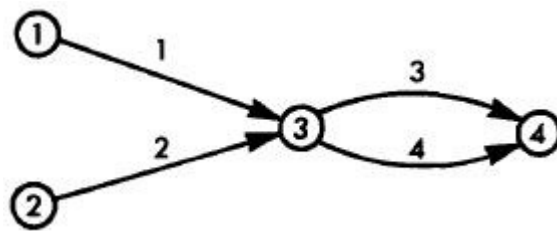
$$q_a = \sum_r \sum_s \sum_k \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall a \in A \quad (3.8)$$

Όπου,

$$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1, & \text{εάν ο σύνδεσμος } a \text{ ανήκει στη διαδρομή } k \in K_{rs} \\ \text{ή} \\ 0, & \text{σε διαφορετική περίπτωση} \end{cases} \quad (3.9)$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (3.8), ο συνολικός φόρτος σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου, είναι το άθροισμα όλων των φόρτων των διαδρομών που περιλαμβάνουν αυτό το σύνδεσμο του δικτύου. Για την κατανόηση των παραπάνω σχέσεων φόρτου συνδέσμου και φόρτου διαδρομής, έστω το δίκτυο του σχήματος 3.7 το οποίο αποτελείται από τέσσερις συνδέσμους και δύο ζεύγη προέλευσης – προορισμού : 1 – 4 και 2 – 4. Ακόμα έστω ότι οι μετακινούμενοι για το ζεύγος προέλευσης –

προορισμού 1 – 4 μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη διαδρομή που αποτελείται από τους συνδέσμους 1 και 3 (διαδρομή 1 του ζεύγους 1 – 4) ή τη διαδρομή που αποτελείται από τους συνδέσμους 1 και 4 (διαδρομή 2 του ζεύγους 1 - 4). Ομοίως για το ζεύγος προέλευσης – προορισμού 2 – 4 οι μετακινούμενοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη διαδρομή που αποτελείται από τους συνδέσμους 2 και 3 (διαδρομή 1 του ζεύγους 2 – 4) ή τη διαδρομή που αποτελείται από τους συνδέσμους 2 και 4 (διαδρομή 2 του ζεύγους 2 – 4).



**Σχήμα 3. 7:** Δίκτυο με τέσσερις συνδέσμους και δύο ζεύγη προέλευσης – προορισμού.  
Πηγή: Sheffi (1985)

Σύμφωνα με τις σχέσεις φόρτου συνδέσμου και φόρτου διαδρομής στο πιο πάνω παράδειγμα ο χρόνος διαδρομής  $c_1^{1,4}$  για το σύνδεσμο 1 τους ζεύγους προέλευσης – προορισμού 1 – 4 θα είναι :

$$c_1^{1,4} = t_1 \delta_{1,1}^{14} + t_2 \delta_{2,1}^{14} + t_3 \delta_{3,1}^{14} + t_4 \delta_{4,1}^{14} = t_1 + t_3, \text{ αφού } \delta_{1,1}^{14} = 1, \delta_{2,1}^{14} = 0, \delta_{3,1}^{14} = 1 \text{ και } \delta_{4,1}^{14} = 0.$$

Ομοίως για το φόρτο ενός συνδέσμου του δικτύου, για παράδειγμα του συνδέσμου 3 θα είναι :

$$q_3 = f_1^{14} \delta_{3,1}^{14} + f_2^{14} \delta_{3,2}^{14} + f_1^{24} \delta_{3,1}^{24} + f_2^{24} \delta_{3,2}^{24} = f_1^{14} + f_1^{24}$$

### 3.6 Εμπειρικές Μέθοδοι Επίλυσης της Κατάστασης Ισορροπίας

Μία σημαντική διαδικασία που χρησιμοποιείται στις εμπειρικές καθώς επίσης και στις μεθόδους εύρεσης της λύσης της κατάστασης ισορροπίας, είναι ο μηχανισμός φόρτισης του δικτύου. Η φόρτιση του δικτύου, είναι μία διαδικασία κατά την οποία κατανέμονται οι φόρτοι σε ένα δίκτυο, στο οποίο οι χρόνοι μετακίνησης στους συνδέσμους, θεωρούνται σταθεροί. Η διαδικασία αυτή εκτελείται με την προϋπόθεση ότι οι μετακινούμενοι κατά τη μετακίνησή τους μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού πρόκειται να επιλέξουν τη διαδρομή με το μικρότερο χρόνο μετακίνησης. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως καταμερισμός του όλα ή τίποτα, εξ' αιτίας του ότι δεν υπάρχουν φόρτοι στις υπόλοιπες διαδρομές του δικτύου που δε χρησιμοποιούνται.

Στον καταμερισμό του όλα ή τίποτα, κάθε ζεύγος προέλευσης – προορισμού εξετάζεται χωριστά και οι μετακινήσεις πραγματοποιούνται μέσω των συνδέσμων που ανήκουν στη συντομότερη διαδρομή που ενώνει το εκάστοτε ζεύγος προέλευσης – προορισμού. Στη συνέχεια αθροίζονται οι φόρτοι σε κάθε σύνδεσμο, ενώ ο συνολικός φόρτος σε κάθε διαδρομή προκύπτει από το συνολικό φόρτο σε όλους τους συνδέσμους που την απαρτίζουν. Στη διαδικασία του καταμερισμού του όλα ή τίποτα, δε λαμβάνεται υπ' όψιν η επίδραση των φόρτων των συνδέσμων στο χρόνο μετακίνησης. Επομένως στον καταμερισμό του όλα ή τίποτα, η έννοια της κατάστασης ισορροπίας δεν υφίσταται.

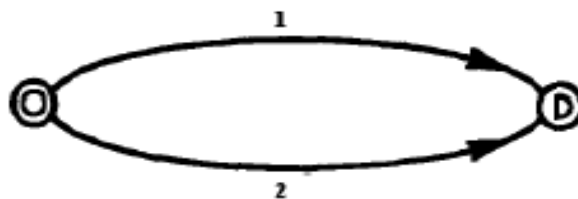
#### 3.6.1 Ένα Απλό Παράδειγμα Ισορροπίας Στο Δίκτυο

Στο σημείο αυτό, θεωρείται σκόπιμη η παράθεση ενός απλού παραδείγματος, για την περαιτέρω κατανόηση της έννοιας της κατάστασης ισορροπίας σε ένα δίκτυο. Έστω το δίκτυο του σχήματος 3.8. που αποτελείται από δύο συνδέσμους. Το δίκτυο αυτό, αντιπροσωπεύει ένα ζεύγος προέλευσης – προορισμού με τις δύο εναλλακτικές διαδρομές του. Ακόμα, έστω  $t_1$ ,  $t_2$  οι χρόνοι μετακίνησης στους συνδέσμους 1 και 2 αντίστοιχα και  $x_1$ ,  $x_2$  οι φόρτοι στους συνδέσμους 1 και 2. Ο συνολικός φόρτος  $q$  μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού θα είναι :



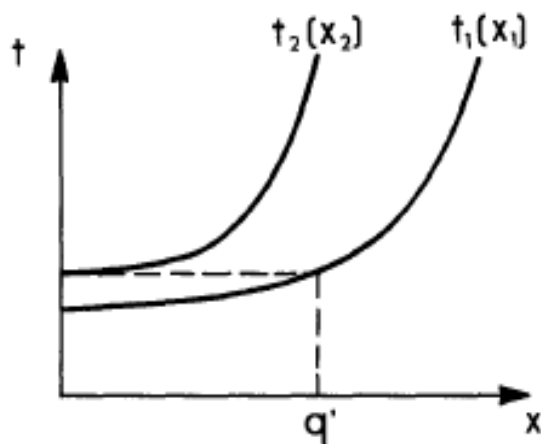
$$q = x_1 + x_2$$

(3.10)

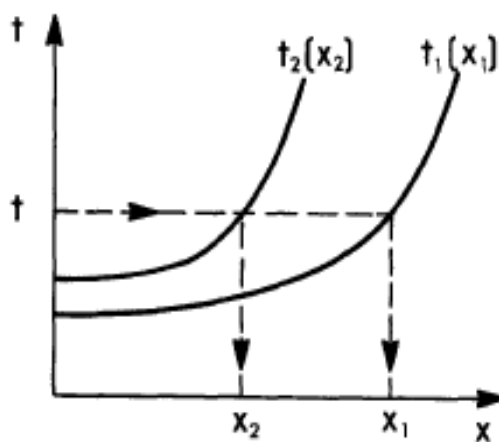


**Σχήμα 3. 8:** Δίκτυο που αποτελείται από δύο εναλλακτικές διαδρομές.  
Πηγή: Sheffi (1985)

Στο σχήμα 3.9 αναπαρίστανται οι καμπύλες φόρτου – χρόνου  $t_1(x_1)$  και  $t_2(x_2)$  των συνδέσμων του δικτύου. Σε κάθε σύνδεσμο η καμπύλη φόρτου – χρόνου, αναπαριστά το χρόνο μετακίνησης στον σύνδεσμο, ως συνάρτηση του φόρτου  $q$ .



**Σχήμα 3. 9:** Οι καμπύλες φόρτου – χρόνου των δύο συνδέσμων του δικτύου.  
Πηγή: Sheffi (1985)



**Σχήμα 3. 10:** Οι χρόνοι μετακίνησης στους δύο συνδέσμους είναι ίσοι εάν ο φόρτος είναι μεγαλύτερος από  $q'$ .  
Πηγή: Sheffi (1985)

Εάν η ζήτηση για μετακίνηση  $q$  μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού είναι πολύ μικρή, σύμφωνα με τις καμπύλες φόρτου – χρόνου του σχήματος 3.9. οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν τη διαδρομή μέσω του συνδέσμου 1. Όσο η ζήτηση για μετακίνηση είναι μικρή, οι καθυστερήσεις λόγω του φόρτου στο σύνδεσμο 1 δεν είναι επαρκείς για να αυξήσουν το χρόνο μετακίνησης στο σύνδεσμο 1 περισσότερο από το χρόνο της κατάστασης ελεύθερης ροής του συνδέσμου 2. Επομένως όλοι οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν το σύνδεσμο 1. Η κατάσταση αυτή αποτελεί μία κατάσταση ισορροπίας, εφόσον κανένας μετακινούμενος δε μπορεί να μειώσει το χρόνο μετακίνησης του στο δίκτυο, επιλέγοντας μία άλλη εναλλακτική διαδρομή. Η ισορροπία αυτή θα διαρκεί όσο  $q < q'$ , όπου  $q'$  η τιμή του φόρτου για την οποία ο χρόνος μετακίνησης στο σύνδεσμο 1 είναι ίσος με το χρόνο μετακίνησης στην κατάσταση ελεύθερης ροής του συνδέσμου 2. Στην κατάσταση όπου  $q > q'$ , εάν ο επόμενος μετακινούμενος επιλέξει τη διαδρομή μέσω του συνδέσμου 1, ο χρόνος μετακίνησης στο σύνδεσμο 1 θα είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο χρόνο στο σύνδεσμο 2, με αποτέλεσμα ο επόμενος μετακινούμενος να επιλέξει τη διαδρομή μέσω του συνδέσμου 2 και ούτω καθ' εξής.

Από το παραπάνω παράδειγμα, είναι προφανές ότι πέρα από την κατάσταση όπου  $q = q'$ , κατάσταση ισορροπίας μπορεί να υπάρξει μόνο εάν οι χρόνοι μετακίνησης στις δύο εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου είναι ίσοι, εφόσον οι χρόνοι μετακίνησης δεν είναι ίσοι οι μετακινούμενοι μπορούν να μειώσουν το χρόνο μετακίνησης τους επιλέγοντας μία άλλη εναλλακτική διαδρομή. Οι δύο διαφορετικές καταστάσεις ισορροπίας, για  $q < q'$  και  $q > q'$ , που μπορεί να προκύψουν στο παράδειγμα του δικτύου που αποτελείται από δύο συνδέσμους, αναδεικνύουν την ανάγκη για ανάπτυξη και χρήση μεθόδων για την εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας σε ένα δίκτυο.

### 3.6.2 Μέθοδος Περιορισμού Χωρητικότητας

Πρόκειται για μία επαναληπτική μέθοδο, κατά την εκτέλεση της οποίας, πραγματοποιούνται διαδοχικές επαναλήψεις του καταμερισμού όλα ή τίποτα. Οι χρόνοι μετακίνησης που χρησιμοποιούνται σε κάθε επανάληψη του καταμερισμού όλα ή τίποτα, προκύπτουν από την αμέσως προηγούμενη επανάληψη του

καταμερισμού. Οι διαδικασίες των επαναλήψεων συνεχίζετε να εκτελείται, έως ότου οι φόρτοι που προκύπτουν από την επανάληψη που εκτελείται να είναι παρόμοιοι με τους φόρτους της προηγούμενης επανάληψης. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή, είναι πολύ πιθανό να καταλήξει σε μία κατάσταση, όπου οι μετακινήσεις του πίνακα προέλευσης – προορισμού, να κατανέμονται συνεχώς μεταξύ δύο διαδρομών του δικτύου. Αποτέλεσμα αυτού, είναι το σύστημα να μην καταλήγει σε κάποια κατάσταση ισορροπίας. Για την αποφυγή της κατάστασης που περιγράφηκε πιο πάνω, σε κάθε επανάληψη της μεθόδου, οι χρόνοι μετακίνησης που χρησιμοποιούνται, αποτελούν συνδυασμό των χρόνων μετακίνησης που προέκυψαν από τις δύο προηγούμενες επαναλήψεις της μεθόδου. Με αυτή τη διαδικασία εξομάλυνσης της μεθόδου, είναι πιθανότερο να προκύψει μία κατάσταση ισορροπίας. Η διαδικασία τερματίζεται όταν ικανοποιηθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων και τα βήματά της είναι τα εξής:

**Βήμα 0 :** *Εναρξη.*

Εκτέλεσε τον καταμερισμό του όλα ή τίποτα με  $tt_0 = tt_a(0)$ ,  $\forall a$ .  
 Δημιούργησε ένα σύνολο φόρτων για τους συνδέσμους του δικτύου ( $q_a^0$ ). Όρισε το μετρητή της επανάληψης σε  $n = 1$ .

**Βήμα 1:** *Ενημέρωση Διαδικασίας.*

$$\text{Όρισε } r_a^n = tt_a(q_a^{n-1}), \forall a$$

**Βήμα 2 :** *Εξομάλυνση Διαδικασίας.*

$$\text{Όρισε } tt_a^n = 0.75tt_a^{n-1} + 0.25r_a^n, \forall a$$

**Βήμα 3 :** *Φόρτιση Δικτύου.*

Εκτέλεσε τον καταμερισμό του όλα ή τίποτα βασισμένο στους χρόνους μετακίνησης ( $tt_a^n$ ) και δημιούργησε ένα σύνολο φόρτων στους συνδέσμους ( $q_a^n$ ).

**Βήμα 4 :** *Κανόνας Τερματισμού.*

Εάν  $n = N$ , πήγαινε στο βήμα 5. Διαφορετικά, όρισε  $n = n + 1$  και πήγαινε στο βήμα 1.

**Βήμα 5 :** Υπολογισμός Μέσων Όρων.

Όρισε  $q_a = (1/4) \sum q_a^{n-i}$ ,  $\forall a$  και σταμάτα. Το σύνολο των  $(q_a)$  παρέχει τους φόρτους των συνδέσμων στην κατάσταση ισορροπίας.

Η μέθοδος περιορισμού χωρητικότητας δεν εγγυάται των υπολογισμό των φόρτων που αντιστοιχούν στη λύση της κατάστασης ισορροπίας, εφόσον πρόκειται να τερματιστεί, ύστερα από ένα προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων.

### 3.6.3 Μέθοδος Καταμερισμού με Τμηματική Φόρτιση

Μία άλλη εμπειρική μέθοδος για την εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας είναι ο καταμερισμός με τμηματική φόρτιση. Σε αυτή τη μέθοδο, μόνο ένα μέρος των μετακινήσεων του πίνακα προέλευσης – προορισμού, κατανέμεται κάθε φορά σε κάθε επανάληψη. Στη συνέχεια ενημερώνονται οι χρόνοι μετακίνησης, ενώ ένα επιπλέον μέρος των μετακινήσεων του πίνακα προέλευσης – προορισμού κατανέμεται στις διαδρομές του δικτύου. Τα βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής :

**Βήμα 0 :** Εναρξη.

Διάρρησε τις μετακινήσεις των ζευγών του πίνακα προέλευσης – προορισμού σε  $N$  ίσα μέρη (δηλαδή όρισε  $Q_{rs}^n = Q_{rs} / N$ ). Όρισε το μετρητή της επανάληψης σε  $n = 1$  και  $q_a^0 = 0$ ,  $\forall a$ .

**Βήμα 1 :** Ενημέρωση.

Όρισε  $tt_a^n = tt_a(q_a^{n-1})$ ,  $\forall a$

**Βήμα 2 :** Τμηματικός καταμερισμός.

Εκτέλεσε τον καταμερισμό του όλα ή τίποτα βασισμένο στους χρόνους μετακίνησης  $(tt_a^n)$ , χρησιμοποιώντας τους ρυθμούς μετακίνησης  $Q_{rs}^n$ . Στο βήμα αυτό παράγεται ένα σύνολο φόρτων για τους συνδέσμους  $(x_a^n)$ .

**Βήμα 3 :** *Άθροιση Φόρτων.*

$$\text{Όρισε } q_a^n = q_a^{n-1} + x_a^n, \forall a.$$

**Βήμα 4 :** *Κανόνας Τερματισμού.*

Εάν  $n = N$  σταμάτα, εφόσον οι υπολογισμένοι φόρτοι, είναι η λύση της κατάστασης ισορροπίας. Διαφορετικά, όρισε  $n = n + 1$  και πήγαινε στο βήμα 1.

Η μέθοδος του τμηματικού καταμερισμού δεν εγγυάται των υπολογισμό των φόρτων που αντιστοιχούν στη λύση της κατάστασης ισορροπίας, εφόσον πρόκειται να τερματιστεί, ύστερα από ένα προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων.

### **3.7 Καταμερισμός στην Ντετερμινιστική Κατάσταση Ισορροπίας**

Το πρόβλημα του καταμερισμού στην κατάσταση ισορροπίας, είναι ο υπολογισμός των φόρτων  $q_a$  των συνδέσμων, που ικανοποιούν τους περιορισμούς της κατάστασης ισορροπίας, όταν όλες οι εγγραφές του πίνακα προέλευσης – προορισμού  $Q$  έχουν κατανεμηθεί. Με τη χρήση των εμπειρικών μεθόδων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, δεν είναι βέβαιη η εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας. Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζεται η διαμόρφωση και η λύση του προβλήματος του UE καταμερισμού, ως ένας ισοδύναμο πρόβλημα ελαχιστοποίησης.

#### **3.7.1 Διαμόρφωση του Ισοδύναμου Προβλήματος Ελαχιστοποίησης**

Ο Beckman (1956) ήταν ο πρώτος που διαμόρφωσε το πρόβλημα της κατάστασης της ισορροπίας με ελαστικούς φόρτους, ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης. Απέδειξε επίσης ότι η λύση του αλγόριθμου ελαχιστοποίησης και επομένως της κατάστασης ισορροπίας, είναι μία μεταβλητή που σχετίζεται άμεσα με τους φόρτους στους συνδέσμους του δικτύου, εφόσον ο χρόνος μετακίνησης σε ένα σύνδεσμο, αυξάνεται όσο αυξάνει και ο φόρτος στο συγκεκριμένο σύνδεσμο. Ο αλγόριθμος αυτός, που είναι γνωστός και ως πρόβλημα βελτιστοποίησης του Beckman και μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$${}_{min}^q z(q) = \sum_a \int_0^q t t_a(\omega) d\omega \quad (3.11)$$

Με περιορισμούς :

$$\sum_k f_k^{rs} = Q_{rs} \quad \forall r, s \quad (3.12.α)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (3.12.β)$$

$$q_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (3.12.γ)$$

Το ζητούμενο του προβλήματος του Beckman, δηλαδή το  ${}_{min}^q z(q)$  της σχέσης (3.11), είναι το άθροισμα όλων των ολοκληρωμάτων των καμπυλών φόρτου – χρόνου των συνδέσμων του δικτύου. Πρόκειται για μία μαθηματική εξίσωση που χρησιμοποιείται για την εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας και δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ερμηνεία καταστάσεων όπως οι συμπεριφορά των μετακινούμενων σε ένα δίκτυο.

Οι περιορισμοί της σχέσης (3.12.α) δηλώνουν ότι οι φόρτοι σε όλες τις διαδρομές που ενώνουν τα ζεύγη προέλευσης – προορισμού, θα πρέπει να είναι ίσοι με το ρυθμό γένεσης των μετακινήσεων μεταξύ των ζευγών προέλευσης – προορισμού ( $Q_{rs}$ ). Δηλαδή, ότι όλες οι μετακινήσεις θα πρέπει να κατανεμηθούν στο δίκτυο. Οι περιορισμοί της σχέσης (3.12.β) είναι αναγκαίοι, και εξασφαλίζουν ότι η λύση του προβλήματος θα έχει φυσική σημασία. Στη συνέχεια εφαρμόζεται το πρόβλημα του Beckman σε ένα απλό δίκτυο, για την περαιτέρω κατανόηση του αλγορίθμου και της λύσης της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας.

Έστω το δίκτυο του σχήματος 3.7 που αποτελείται από δύο συνδέσμους και ένα ζεύγος προέλευσης – προορισμού, με  $t_1, t_2$  οι χρόνοι μετακίνησης στους συνδέσμους 1 και 2 και  $q_1, q_2$  οι φόρτοι στους συνδέσμους 1 και 2 αντίστοιχα. Ακόμη έστω ότι οι καμπύλες φόρτου – χρόνου για τους συνδέσμους 1 και 2 είναι :

$$t_1 = 2 + q_1 \quad (3.13.α)$$

$$t_2 = 1 + 2q_2 \quad (3.13.β)$$

Ο συνολικός φόρτος μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού είναι 5 μονάδες φόρτου, δηλαδή :

$$q_1 + q_2 = 5 \quad (3.13.γ)$$

Οι καταστάσεις ισορροπίας που θα εξελιχθούν στο δίκτυο αυτό μπορούν να εκφραστούν ως :

$$t_1 \leq t_2 \text{ με } q_1 > 0 \quad (3.13.δ)$$

και

$$t_1 \geq t_2 \text{ με } q_2 > 0 \quad (3.13.ε)$$

Εάν ωστόσο στην κατάσταση ισορροπίας χρησιμοποιούνται και οι δύο σύνδεσμοι του δικτύου, θα είναι :

$$t_1 = t_2 \text{ με } q_1 > 0 \text{ και } q_2 > 0 \quad (3.13.στ)$$

Η λύση της κατάστασης ισορροπίας λοιπόν, είναι η λύση ενός συστήματος τεσσάρων εξισώσεων (3.13.α, 3.13.β), με τέσσερις αγνώστους :  $q_1$  ,  $q_2$  ,  $t_1$  ,  $t_2$  , η οποία τελικά είναι :

$$q_1 = 3 \quad \text{Μονάδες φόρτου}$$

$$q_2 = 2 \quad \text{Μονάδες φόρτου}$$

$$t_1 = t_2 = 5 \quad \text{Μονάδες χρόνου}$$

Όταν το παραπάνω πρόβλημα διατυπωθεί ως ένα ισοδύναμο πρόβλημα ελαχιστοποίησης θα έχει την ακόλουθη μορφή :

$$\min_q z(q) = \int_0^{q_1} (2 + \omega) d\omega + \int_0^{q_2} (1 + 2\omega) d\omega$$

με περιορισμούς :

$$q_1 + q_2 = 5 \text{ και } q_1, q_2 \geq 0$$

Για την απλοποίηση του προβλήματος ο φόρτος στο σύνδεσμο 2 μπορεί να αντικατασταθεί, εφόσον  $q_2 = 5 - q_1$  . Οπότε το πρόβλημα ελαχιστοποίησης θα είναι :

$$\min_q z(q) = \int_0^{q_1} (2 + \omega) d\omega + \int_0^{5-q_1} (1 + 2\omega) d\omega \quad (3.14)$$

με περιορισμούς :

$$q_1 \geq 0 \text{ και } 5 - q_1 \geq 0. \quad (3.15)$$

Τελικά το ζητούμενο αντικείμενο της συνάρτησης εφαρμόζεται ως :

$$z(q_1) = 1.5q_1^2 - 9q_1 + 30 \quad (3.16)$$

Η συνάρτηση (3.16) παρουσιάζει ελάχιστο για  $q_1 = 3$  , όπου  $dz(q_1)/dq_1 = 0$  . Η λύση αυτή ικανοποιεί τους περιορισμούς των εξισώσεων (3.15) και επομένως αποτελεί και λύση της κατάστασης ισορροπίας.



### 3.7.2 Ο Αλγόριθμος των Frank και Wolfe

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη για την εύρεση της λύσης της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, είναι η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Frank και Wolfe (1956) και είναι γνωστή ως ο αλγόριθμος των Frank και Wolfe. Πρόκειται για μία επαναληπτική διαδικασία που βασίζεται στην μετάβαση από την εκάστοτε λύση  $q^n$  προς την επόμενη λύση  $q^{n+1}$ , ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός  $z(q^{n+1}) < z(q^n)$ . Το βήμα μετάβασης του αλγόριθμου προς την επόμενη λύση, μπορεί να εκφραστεί ως :

$$q^{n+1} = q^n + \alpha_n d^n \quad (3.17)$$

όπου  $d^n$  είναι το διάνυσμα κατεύθυνσης της μετάβασης και  $\alpha_n$  είναι το μέγεθος του βήματος της μετάβασης.

Η κατεύθυνση της μετάβασης ορίζεται ως  $d^n = y^n - q^n$ , όπου το  $y^n$  προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση ελαχιστοποίησης :

$$\min z^n(y^n) = \nabla z(q^n) y^{nT} = \sum_a \frac{\partial z(q^n)}{\partial q_a} y_a = \sum_a t_a y_a^n \quad (3.18)$$

με περιορισμούς :

$$\sum_k f_k^{rs} = Q_{rs} \quad \forall r, s \quad \text{και} \quad f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s \quad (3.19)$$

όπου  $q_a = \sum_k \sum_s f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a$ ,  $t_a = t_a(q_a^n)$  και  $y_a$  είναι μία βοηθητική παράμετρος που αντιπροσωπεύει τον φόρτο στον σύνδεσμο  $a$ . Το παραπάνω πρόβλημα, ελαχιστοποιείται όταν το  $y^n$  είναι οι φόρτοι που προκύπτουν από τον καταμερισμό του όλα ή τίποτα.

Επίσης, η νέα λύση  $q^{n+1}$  που θα προκύψει, θα πρέπει να είναι μεταξύ των  $q^n$  και  $y^n$ , δηλαδή να βρίσκεται στα όρια που υλοποιούνται από τους περιορισμούς. Επομένως, το βήμα μετάβασης προσδιορίζεται από την ελαχιστοποίηση του ζητούμενου της λύσης προς την κατεύθυνση της μετάβασης της λύσης και ορίζεται ως :

$$\min_{0 < \lambda < 1} z[q^n + \lambda(y^n - q^n)] \quad (3. 20)$$

Ένα πιθανό κριτήριο για τη σύγκλιση του αλγορίθμου προς τη λύση της κατάστασης ισορροπίας, βασίζεται στην ομοιότητα των χρόνων μετακίνησης ή των φόρτων στους συνδέσμους, μεταξύ των επαναλήψεων της εφαρμογής του αλγορίθμου.

Η εφαρμογή του αλγορίθμου των Frank και Wolfe έχει σαν αποτέλεσμα το πολύπλοκο πρόβλημα ελαχιστοποίησης που περιγράφεται από τις σχέσεις (3.11), (3.12.α), (3.12.β) και (3.12.γ) να μπορεί εύκολα να επιλυθεί, ακολουθώντας την παρακάτω επαναληπτική διαδικασία:

**Βήμα 0 :** *Εναρξη.*

Εκτέλεσε ένα καταμερισμό του όλα ή τίποτα βασισμένο στο  $tt_a^0 = tt_a(0), \forall a$ . Προσδιόρισε τους φόρτους στους συνδέσμους  $(q_a^1)$ . Όρισε την τιμή του μετρητή σε  $n = 1$ .

**Βήμα 1 :** *Ενημέρωση.*

$$\text{Όρισε } t_a^n = tt_a(q_a^n), \forall a$$

**Βήμα 2 :** *Εύρεση κατεύθυνσης της λύσης.*

Εκτέλεσε ένα καταμερισμό όλα ή τίποτα βασισμένο στο  $(t_a^n)$ . Αυτό το βήμα παράγει βοηθητικούς τους φόρτους  $(y_a^n)$  στους συνδέσμους .

**Βήμα 3 :** Υπολογισμός βήματος προσέγγισης κατά τη βέλτιστη κατεύθυνση.

Προσδιόρισε την τιμή του  $\lambda$  που επιλύει το πρόβλημα:

$$\min_{0 \leq \lambda \leq 1} \sum_a \int_0^{q_a^n + \lambda_n (y_a^n - q_a^n)} t_a(\omega) d(\omega)$$

**Βήμα 4 :** Μετάβαση.

$$\text{Όρισε } q_a^{n+1} = q_a^n + \lambda_n (y_a^n - q_a^n) \forall a$$

**Βήμα 5 :** Έλεγχος σύγκλισης.

Εάν κάποιο κριτήριο σύγκλισης έχει ικανοποιηθεί σταμάτα. Η παρούσα λύση  $q_a^{n+1}$  είναι οι φόρτοι των συνδέσμων στην κατάσταση ισορροπίας. Διαφορετικά όρισε την τιμή του μετρητή σε  $n = n + 1$  και πήγαινε στο βήμα 1.

Ο αλγόριθμος των Frank και Wolfe εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην περιοχή συγκοινωνιακής μελέτης του Σικάγο. Έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές συγκοινωνιακές μελέτες.

Ο Dow (1979) απέδειξε ότι ο χρόνος σύγκλισης του αλγόριθμου μπορεί να μειωθεί αν η αρχική λύση είναι κοντά στην πραγματική. Επιπλέον μελέτες από τους Fukushima (1984), Weintraub (1985) και Lupi (1986) οδήγησαν στη βελτίωση του χρόνου σύγκλισης του αλγόριθμου.

### 3.8 Στοχαστική Κατάσταση ισορροπίας

Μία βασική υπόθεση που γίνεται στη ντετερμινιστική προσέγγιση της κατάστασης ισορροπίας, είναι ότι οι μετακινούμενοι έχουν πλήρη γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών του δικτύου και επιλέγουν τις συντομότερες διαδρομές του δικτύου κατά την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους. Κατά την στοχαστική προσέγγιση της κατάστασης ισορροπίας, οι χρόνοι μετακίνησης μοντελοποιούνται ως τυχαίες μεταβλητές με συγκεκριμένη διασπορά από μία μέση τιμή του χρόνου μετακίνησης.

### 3.8.1 Στοχαστική Φόρτιση Δικτύων

Τα στοχαστικά μοντέλα φόρτισης δικτύων, αποτελούν ειδικές περιπτώσεις των μοντέλων διακριτών επιλογών. Ο υπολογισμός των φόρτων στα στοχαστικά μοντέλα φόρτισης, προϋποθέτει τον προηγούμενο υπολογισμό της πιθανότητας επιλογής κάποιας διαδρομής του δικτύου και στη συνέχεια την εφαρμογή των σχέσεων φόρτου συνδέσμου και φόρτου διαδρομής. Οι περισσότερο γνωστοί αλγόριθμοι στοχαστικής φόρτισης δικτύων, είναι αυτοί του Burrell (1968) και του Dial (1971).

Κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell, κάθε σημείο προέλευσης των μετακινήσεων του δικτύου, εξετάζεται με τη σειρά. Για κάθε προορισμό του δικτύου, υπολογίζεται ο αντιλαμβανόμενος χρόνος μετακίνησης στους συνδέσμους με την πραγματοποίηση δειγματοληψίας από μία κατανομή πιθανότητας του χρόνου μετακίνησης στον κάθε σύνδεσμο. Η κατανομή έχει μέσο όρο τον χρόνο που έχει υπολογιστεί από τις συναρτήσεις φόρτου – χρόνου, λαμβάνοντας υπ όψη τους φόρτους που έχουν κατανεμηθεί στο δίκτυο μέχρι τη συγκεκριμένη επανάληψη. Στη συνέχεια δημιουργείται το αντίστοιχο δέντρο διαδρομών και το δίκτυο φορτίζεται με όλες τις μετακινήσεις που πηγάζουν από το εκάστοτε σημείο γένεσης των μετακινήσεων που εξετάζεται. Το δέντρο των διαδρομών, δημιουργείται κάθε φορά με τη χρήση των συνδέσμων που έχουν το μικρότερο αντιλαμβανόμενο κόστος μετακίνησης μεταξύ του κάθε ζεύγους προέλευσης – προορισμού που εξετάζεται.

Ωστόσο, το πιο διαδεδομένο μοντέλο στοχαστικής φόρτισης δικτύων είναι ο αλγόριθμος του Dial (1971). Ο αλγόριθμος του Dial είναι μία διαδικασία, κατά την οποία κατανέμεται η ζήτηση για μετακίνηση στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου χρησιμοποιώντας τους κανόνες επιλογής ενός μοντέλου logit. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου, δεν ανατίθεται σε όλες τις εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού πιθανότητα επιλογής τους από τους μετακινούμενους. Οι διαδρομές που λαμβάνονται υπ' όψιν, είναι αυτές που θεωρούνται ως “λογικές”. Μία διαδρομή θεωρείται ως “λογική” μόνο όταν αποτελείται από συνδέσμους οι οποίοι προωθούν τους μετακινούμενους προς τον προορισμό τους και όχι προς κατεύθυνση αντίθετα από αυτόν, δηλαδή ο χρόνος μετακίνησης της διαδρομής από τη ζώνη προέλευσης προς

τον κόμβο  $i$ , να είναι μικρότερος από το χρόνο μετακίνησης από τη ζώνη προέλευσης προς τον κόμβο  $j$ .

### 3.8.2 Καταμερισμός στη Στοχαστική Κατάσταση Ισορροπίας

Στον καταμερισμό της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, οι αντιλαμβανόμενοι χρόνοι μετακίνησης, μοντελοποιούνται σαν τυχαίες μεταβλητές. Ακόμα, οι χρόνοι μετακίνησης εξαρτώνται άμεσα από τους φόρτους των συνδέσμων, εφόσον γίνεται η υπόθεση ότι ο μέσος χρόνος μετακίνησης στους συνδέσμους, είναι συνάρτηση του φόρτου του κάθε συνδέσμου. Επομένως θα είναι  $tt_a = tt_a(q_a)$  και  $tt_a = E[T_a]$ , όπου  $T_a$  είναι ο αντιλαμβανόμενος χρόνος μετακίνησης σε ένα σύνδεσμο  $a$ .

Με δεδομένους τους ρυθμούς μετακινήσεων ( $Q_{rs}$ ), μεταξύ των ζευγών προέλευσης – προορισμού, οι καταστάσεις της στοχαστικής ισορροπίας μπορούν να εκφραστούν με τι παρακάτω σχέσεις :

$$f_k^{rs} = Q_{rs} P_k^{rs} \quad (3.21)$$

το οποίο υποδηλώνει ότι :

$$q_a = \sum \sum Q_{rs} P_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \quad (3.22)$$

Όπου:

$$P_k^{rs} = P_k^{rs}(tt) = Pr(C_k^{rs} \leq C_m^{rs}, \forall m \neq k \in K_{rs} | tt) \quad (3.23)$$

και εκφράζει την πιθανότητα ένας μετακινούμενος να επιλέξει τη διαδρομή  $k \in K_{rs}$ , μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού  $(r-s)$ . Με  $C_k^{rs}$  να είναι μία τυχαία μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τον αντιλαμβανόμενο χρόνο μετακίνησης στη διαδρομή μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού  $(r-s)$  και ορίζεται ως :

$$C_k^{rs} = \sum_a T_a \delta_{a,k}^{rs}, \forall k, r, s \quad (3.24)$$

Ενώ από τους συνήθεις περιορισμούς του δικτύου θα πρέπει :

$$t_a = t_a(q_a) \forall a \text{ και } \sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad (3.25)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, κανένας μετακινούμενος δε μπορεί να μειώσει τον αβτιλαμβανόμενο χρόνο μετακίνησης του με την αλλαγή διαδρομής. Οι χρόνοι μετακίνησης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, στις διαδρομές που χρησιμοποιούνται, δεν πρόκειται να είναι ίσοι. Αντίθετα πρέπει να είναι τέτοιοι ώστε να ικανοποιείται η εξίσωση (3.21) για τους φόρτους που χρησιμοποιούνται στις διαδρομές της κατάστασης ισορροπίας. Στη συνέχεια, οι φόρτοι αυτοί θα εκφραστούν σε φόρτους στους συνδέσμους των διαδρομών που χρησιμοποιούνται, οι οποίοι θα πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς (3.25).

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι η στοχαστική κατάσταση ισορροπίας είναι μία γενικευμένη έκφραση ισορροπίας. Η ντετερμινιστική κατάσταση ισορροπίας που εξετάστηκε στην ενότητα 3.6 αποτελεί ειδική περίπτωση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας. Στην περίπτωση όπου η διασπορά στον αντιλαμβανόμενο χρόνο μετακίνησης είναι μηδενική οι συνθήκες στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας και στην ντετερμινιστική κατάσταση ισορροπίας θα είναι πανομοιότυπες.

### 3.8.3 Διαμόρφωση του Ισοδύναμου Προβλήματος Ελαχιστοποίησης

Η διαμόρφωση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας ως ένα ισοδύναμο πρόβλημα ελαχιστοποίησης, έγινε από τους Sheffi and Powell (1988), οι οποίοι επίσης απέδειξαν και τη μοναδικότητα της λύσης του. Το πρόβλημα ελαχιστοποίησης που αντιστοιχεί στη λύση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως :

$${}_{q}^{min} z(q) = - \sum_{rs} Q_{rs} E \left[ \min_{k \in K_{rs}} (C_k^{rs}) | c^{rs}(q) \right] + \sum_a q_a t_a(q_a) - \sum_a \int t_a(\omega) d\omega \quad (3.26)$$

Το οποίο ισοδυναμεί με :

$${}_{q}^{min} z(q) = - \sum_{rs} Q_{rs} S_{rs} [c^{rs}(q)] + \sum_a q_a t_a(q_a) - \sum_a \int t_a(\omega) d\omega \quad (3.27)$$

όπου :

$$S_{rs} [c^{rs}(q)] = E \left[ \min_{k \in K_{rs}} (C_k^{rs}) | c^{rs}(q) \right] \quad (3.29)$$

### 3.8.4 Ο Αλγόριθμος Επίλυσης της Στοχαστική Κατάστασης Ισορροπίας

Ο πιο διαδεδομένος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης είναι η μέθοδος των Επαναλαμβανόμενων Μέσων Όρων (Method of Successive Averages – M.S.A.). Ο αλγόριθμος αυτός, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο συγκοινωνιακό καταμερισμό, από τους Sheffi και Powel (1981) για την εμπειρική λύση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας. Αργότερα (1982) η μέθοδος αυτή προτάθηκε από τους ίδιους ως αλγόριθμος επίλυσης τους προβλήματος ελαχιστοποίησης.

Ο μέθοδος των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων είναι ένας αλγόριθμος χρήσης λογικών κατευθύνσεων, όπου το βήμα κίνησης  $a_n$  δεν καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε λύσης, αλλά είναι μία προκαθορισμένη ακολουθία που πρέπει να ικανοποιεί τους δύο παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum \alpha_k = \infty \text{ και } \sum \alpha_k^2 < \infty \quad (3.30)$$

Το μέγεθος βήματος που ικανοποιεί τους παραπάνω περιορισμούς είναι  $\alpha_n = 1/n$ , ενώ η λογική κατεύθυνση ορίζεται ως:

$$d^n = \sum_{rs} Q_{rs} P^{rs^n} \Delta^{rs^T} - q^n \quad (3.31)$$

με την κάθε κατεύθυνση του λογικού διανύσματος να δίνεται από τη σχέση:

$$d_a^n = \sum_{rs} Q_{rs} \sum_k P_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} - q_a^n = y_a^n - q_a^n \quad (3.32)$$

όπου  $y_a^n$  είναι ένας βοηθητικός φόρτος που προσδιορίζεται κατά τη διαδικασία της στοχαστικής φόρτισης και βασίζεται στους χρόνους μετακίνησης  $[tt^n(q^n)]$ .

Τα βήματα του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων για τη λύση του προβλήματος της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

**Βήμα 0:** Έναρξη.

Εκτέλεσε μία στοχαστική φόρτιση δικτύου βασισμένη σε ένα σύνολο αρχικών χρόνων  $[tt^0]$  και υπολόγισε τους φόρτους στους συνδέσμους  $[q_a^1]$ . Ορίσε την τιμή του μετρητή σε  $n = 1$ .

**Βήμα 1:** Ενημέρωση.

$$\text{Ορίσε } tt_a^n = tt_a(q_a^n), \forall a$$

**Βήμα 2:** Ορισμός κατεύθυνσης.

Εκτέλεσε μία στοχαστική φόρτιση δικτύου, βασισμένη στους εκάστοτε χρόνους μετακίνησης στους των συνδέσμων  $[tt_a^n]$  και υπολόγισε ένα σύνολο βοηθητικών φόρτων  $[y_a^n]$ .

**Βήμα 3:** Μετακίνηση.

Βρες τους νέους φόρτους αφού ορίσεις

$$q_a^{n+1} = q_a^n + (1/n)(y_a^n - q_a^n) \forall a$$



**Βήμα 4:** Κριτήριο Σύγκλισης.

Εάν έχει επιτευχθεί σύγκλιση σταμάτα. Διαφορετικά θέσε  $n = n + 1$  και πήγαινε στο βήμα 1.

Ο αλγόριθμος επίλυσης μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με οποιοδήποτε μοντέλο στοχαστικής φόρτισης δικτύου. Οι βοηθητικοί φόρτοι των συνδέσμων στο βήμα 2, μπορούν να υπολογιστούν από την πιθανότητα επιλογής διαδρομής:

$$y_a^n = \sum_{rs} \sum_k q_{rs} P_k^{rs} (c^{rsn}) \delta_{a,k}^{rs} \quad (3.33)$$

Το στοχαστικό μοντέλο φόρτισης που θα εφαρμοστεί στην εκάστοτε περίπτωση, μπορεί να διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από το είδος της κατανομής που ακολουθεί ο αντιλαμβανόμενος χρόνος μετακίνησης. Στην πραγματικότητα, ο αλγόριθμος των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και σε περιπτώσεις ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι βοηθητικοί φόρτοι  $[y^a]$ , υπολογίζονται από την εφαρμογή του καταμερισμού του όλα ή τίποτα. Ωστόσο, αν και ο αλγόριθμος τελικά θα καταλήξει στη λύση της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, αυτό θα επιτευχθεί με πολύ πιο αργούς ρυθμούς σε σχέση με τους αλγόριθμους επίλυσης της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, όπως για παράδειγμα ο αλγόριθμος των Frank και Wolfe.

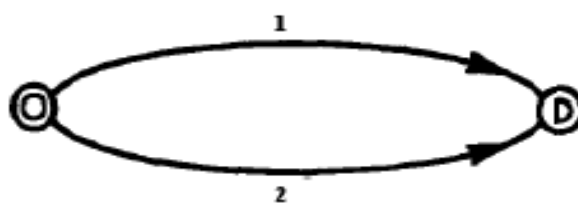
Το κριτήριο σύγκλισης του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων, εμπεριέχει κάποιες δυσκολίες. Λόγω της φύσης της ακολουθίας  $\{a_n\}$ , μπορεί να θεωρηθεί ότι η ακολουθία  $\{q^n\}$ , ουσιαστικά “εξαναγκάζεται” σε σύγκλιση. Επομένως τα κριτήρια σύγκλισης που βασίζονται στη μεταβολή των φόρτων των συνδέσμων, μπορεί να θεωρηθούν επισφαλής. Ωστόσο το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να παρακαμφθεί, εάν έχει οριστεί κάποιος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων. Εναλλακτικά ως κριτήριο σύγκλισης μπορεί να οριστεί ο ρυθμός ελαχιστοποίησης του ζητούμενου του προβλήματος ελαχιστοποίησης μεταξύ των επαναλήψεων του αλγόριθμου.

Τέλος η ακολουθία  $\alpha_n = 1/n$  του μεγέθους του βήματος μετακίνησης, δεν είναι η μόνη που μπορεί να εφαρμοστεί. Γενικώς όλες οι ακολουθίες της μορφής:

$$\alpha_n = \frac{k_1}{k_2 + n} \quad (3.34)$$

όπου  $k_1$  είναι μία θετική μεταβλητή και  $k_2$  είναι μία μη αρνητική μεταβλητή, μπορούν να εφαρμοστούν. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα για την περαιτέρω κατανόηση του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων.

Έστω το δίκτυο του σχήματος 3.11 που αποτελείται από ένα ζεύγος προέλευσης – προορισμού και τους συνδέσμους (διαδρομές) 1 και 2.



**Σχήμα 3. 11:** Δίκτυο που αποτελείται από δύο εναλλακτικές διαδρομές.  
Πηγή: Sheffi (1985)

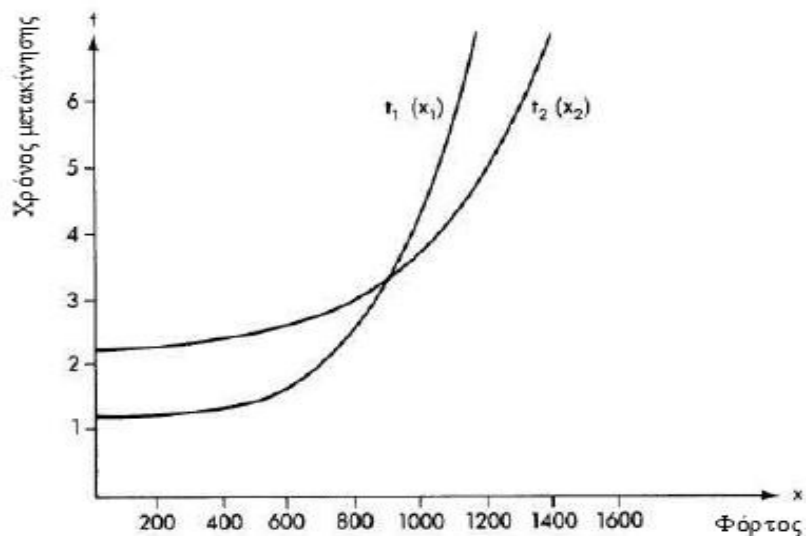
Οι καμπύλες φόρτου – χρόνου, όπως φαίνονται και στο σχήμα 3.12, για τους συνδέσμους 1 και 2 αντίστοιχα είναι:

$$t_1 = 1.25 \left[ 1 + \left( \frac{x_1}{800} \right)^4 \right] \quad (3.35)$$

και

$$t_2 = 2.50 \left[ 1 + \left( \frac{x_2}{1200} \right)^4 \right] \quad (3.36)$$

Όπου το  $x_a$  είναι σε μονάδες οχημάτων ανά ώρα και οι χρόνοι  $t_a$  σε λεπτά. Ο συνολικός φόρτος μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού είναι  $q$  οχήματα ανά ώρα.



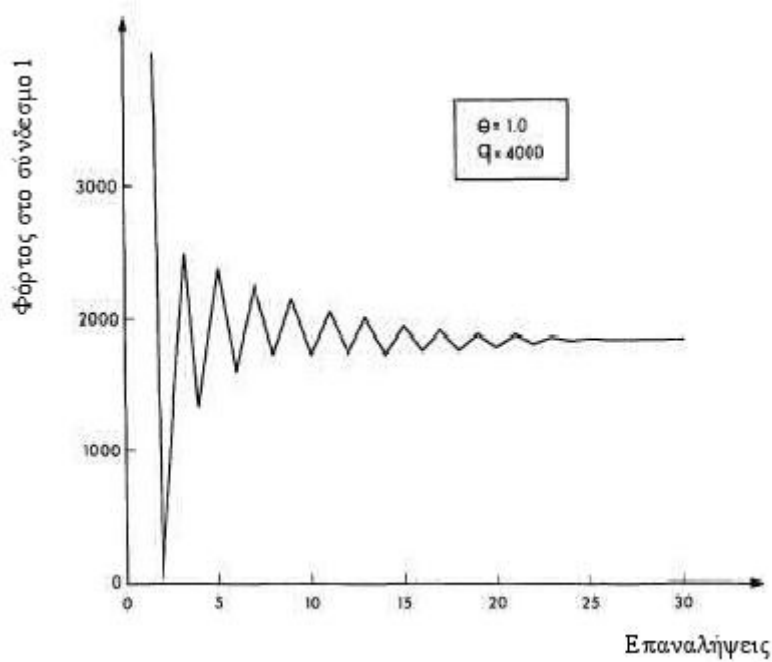
**Σχήμα 3. 12:** Καμπύλες φόρτου – χρόνου των συνδέσμων 1 και 2.  
Πηγή: Sheffi (1985)

Το συγκεκριμένο μοντέλο στοχαστικής ισορροπίας, βασίζεται σε ένα μοντέλο επιλογής διαδρομών τύπου logit, οπότε στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας θα είναι:

$$\frac{x_1}{q} = \frac{1}{1 + e^{\theta(t_1 - t_2)}} \quad (3.37)$$

Εάν για παράδειγμα  $q = 400$  οχήματα ανά ώρα και η διασπορά του αντιλαμβανόμενου χρόνου μετακίνησης είναι  $\theta = 1.0$  με επίλυση των (3.35), (3.36) και (3.37) θα είναι  $x_1 = 1845$  οχήματα ανά ώρα.

Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί τώρα να επιλυθεί με τη μέθοδο των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πρόβλημα ελαχιστοποίησης της λύσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας δεν είναι απαραίτητο να διατυπωθεί, εφόσον δεν χρησιμοποιείται στη διαδικασία εύρεσης της λύσης. Στο παράδειγμα αυτό για τον προσδιορισμό του μεγέθους του βήματος της κίνησης χρησιμοποιήθηκε η ακολουθία  $\alpha_n = 3/n$ .



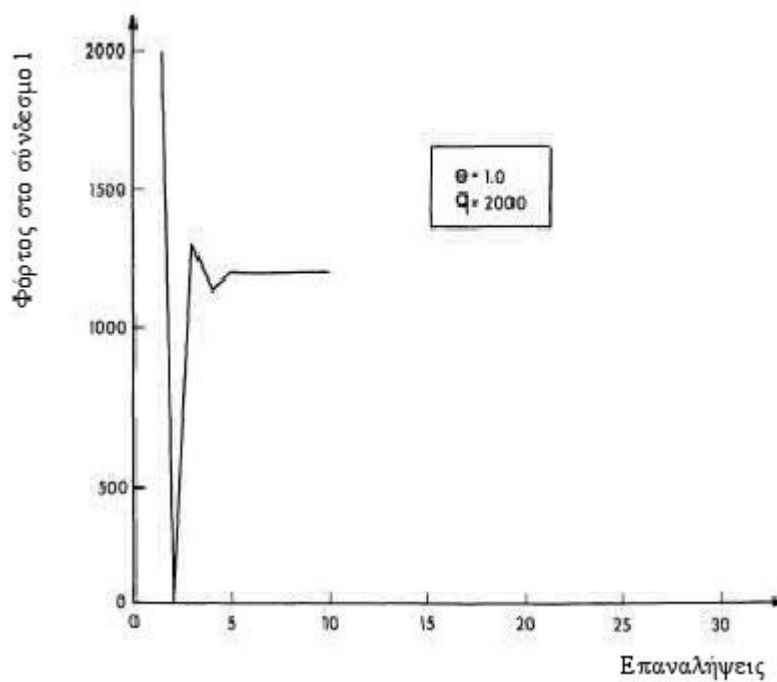
**Σχήμα 3. 13:** Αναπαράσταση σύγκλισης της M.S.A. για  $\Theta = 1.0$  και  $q = 4000$ .  
Πηγή: Sheffi (1985)

Στο σχήμα 3.13, αναπαρίστανται οι τιμές του  $x_1^n$  για τριάντα επαναλήψεις του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων. Από το σχήμα συμπεραίνεται ότι ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται άριστα για τις συνθήκες του παραδείγματος, εφόσον η σύγκλιση επιτυγχάνεται εντός του ορίου των επαναλήψεων. Ακόμη, μία δεύτερη παρατήρηση που μπορεί να γίνει σχετικά με το σχήμα 3.13, είναι ότι η πρώτη επανάληψη βρίσκεται εκτός των περιορισμών του δικτύου. Στην πρώτη επανάληψη είναι  $x_1^2 = 4400$  οχήματα ανά ώρα, τιμή που είναι μεγαλύτερη από το συνολικό φόρτο  $q$  μεταξύ του ζεύγους προέλευσης – προορισμού. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν εμποδίζει τη σύγκλιση του αλγορίθμου, καθώς στις επόμενες επαναλήψεις, ο φόρτος  $x_1$  είναι εντός των περιορισμών του δικτύου.

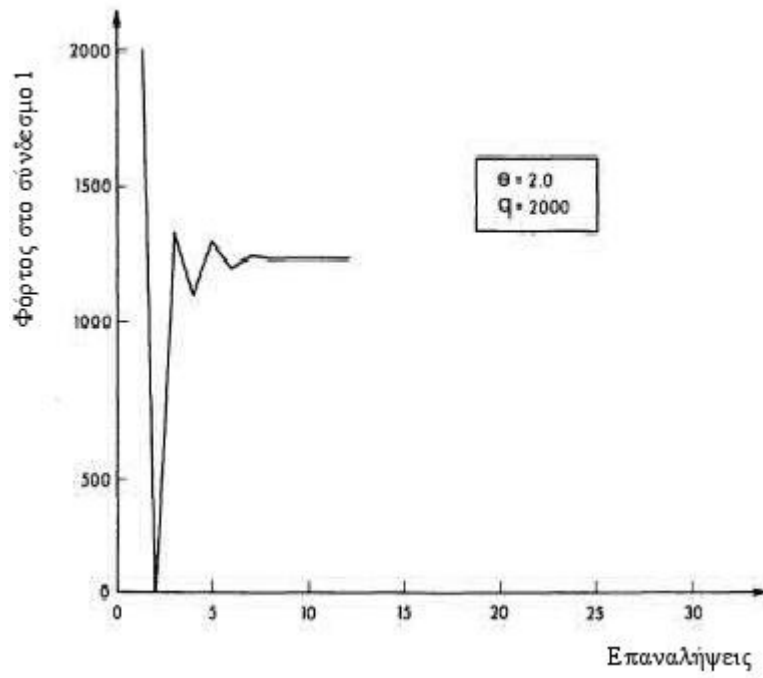
Η σύγκλιση του αλγορίθμου προς τη λύση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, αναμένεται να επιτυγχάνεται με γρηγορότερους ρυθμούς για χαμηλότερες τιμές των  $q$  και  $\theta$ . Χαμηλότερες τιμές του  $q$  μεταφράζονται σε χαμηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν υψηλές διακυμάνσεις στην τιμή του μέσου χρόνου μετακίνησης στους συνδέσμους μεταξύ των επαναλήψεων.

Χαμηλότερες τιμές του  $\theta$  υποδηλώνουν μεγαλύτερη διασπορά στους αντιλαμβανόμενους χρόνους μετακίνησης.

Στο σχήμα 3.14 αναπαρίσταται η σύγκλιση του αλγόριθμου για  $q = 2000$  οχήματα ανά ώρα. Όπως είναι αναμενόμενο ο αλγόριθμος συγκλίνει πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με την πρώτη περίπτωση όπου  $q = 4000$  οχήματα ανά ώρα, εφόσον απαιτούνται μόλις τέσσερις επαναλήψεις. Ωστόσο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.15 ο ρυθμός σύγκλισης θα ήταν μικρότερος για υψηλότερες τιμές του  $\theta$ , δηλαδή για χαμηλότερη διασπορά στις τιμές του αντιλαμβανόμενου χρόνου. Έτσι για την περίπτωση του σχήματος 3.15 όπου  $q = 2000$  οχήματα ανά ώρα και  $\theta = 2.0$ , απαιτούνται εφτά επαναλήψεις για τη σύγκλιση του αλγορίθμου.



**Σχήμα 3. 14:** Αναπαράσταση σύγκλισης της M.S.A. για  $\Theta = 1.0$  και  $q = 2000$ .  
Πηγή: Sheffi (1985)



**Σχήμα 3. 15:** Αναπαράσταση σύγκλισης της Μ.Σ.Α. για  $\Theta = 2.0$  και  $q = 200$ .  
 Πηγή: Sheffi (1985)

## **4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

Έχοντας παρουσιάσει τη θεωρία του καταμερισμού στο δίκτυο, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αρχές εφαρμογής της θεωρίας αυτής στα εργαλεία ανάλυσης συγκοινωνιακών δικτύων. Αρχικά γίνεται μία σύντομη παρουσίαση των εργαλείων ανάλυσης, έχοντας ως κριτήριο κατηγοριοποίησης το επίπεδο λεπτομέρειας και το μέγεθος του δικτύου που είναι ικανά να κωδικοποιήσουν, ενώ στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής αναφορά στο λογισμικό του SATURN και στις θεωρητικές αρχές που το διέπουν, όπως αυτές αναφέρονται στο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού SATURN.

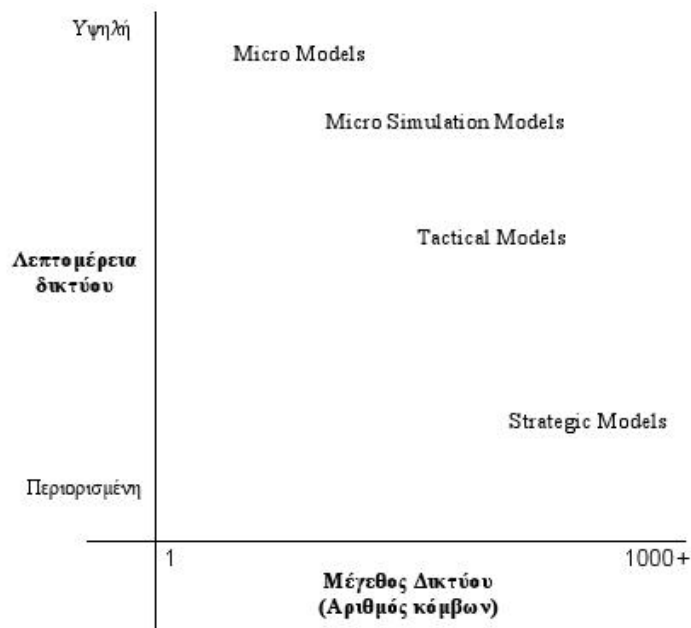
### **4.1 Εισαγωγή**

Κύριο αντικείμενο του συγκοινωνιακού σχεδιασμού είναι η μελέτη των επιπτώσεων που θα επιφέρει μια ενδεχόμενη αλλαγή στην προσφορά και ζήτηση των μετακινήσεων σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, τον τρόπο με τον οποίο θα επηρεάσει το χρόνο μετακίνησης και τους φόρτους στο δίκτυο μια ενδεχόμενη αλλαγή στα στοιχεία του συγκοινωνιακού δικτύου ή στον αριθμό των μετακινήσεων από και προς διάφορους προορισμούς. Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορα συγκοινωνιακά μοντέλα.

Ο όρος μοντέλα, χρησιμοποιείται για την περιγραφή μιας εφαρμογής ή ενός συνόλου εφαρμογών που επιχειρούν να αναπαραστήσουν ή να μοντελοποιήσουν πτυχές του πραγματικού κόσμου. Ο όρος συγκοινωνιακά μοντέλα, χρησιμοποιείται για την περιγραφή μιας εφαρμογής ή ενός συνόλου εφαρμογών, που επιχειρούν να αναπαραστήσουν τα διάφορα συγκοινωνιακά δίκτυα και τα οχήματα που τα χρησιμοποιούν. Χωρίς τη χρήση των συγκοινωνιακών μοντέλων θα ήταν πολύ δύσκολο έως αδύνατο για τον μελετητή να κατανοήσει και να αναλύσει τις πιθανές αλλαγές που θα μπορούσαν να συμβούν ακόμα και στο πιο απλό συγκοινωνιακό δίκτυο.

Το ιδανικό συγκοινωνιακό μοντέλο, θα ήταν αυτό που θα μπορούσε να καλύψει οποιαδήποτε περιοχή μελέτης, σαν ένα ενιαίο συγκοινωνιακό σύστημα. Στην πραγματικότητα όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Υπάρχει επομένως η ανάγκη για περισσότερα από ένα μοντέλα. Τα μοντέλα που υπάρχουν, κατηγοριοποιούνται έχοντας ως κριτήριο τον τύπο των συγκοινωνιακών συστημάτων που είναι ικανά να αξιολογήσουν ικανοποιητικά, το επίπεδο λεπτομέρειας της κωδικοποίησης, καθώς επίσης και το μέγεθος του δικτύου που μπορεί να κωδικοποιηθεί. Σύμφωνα λοιπόν με το επίπεδο λεπτομέρειας και το μέγεθος του δικτύου που μπορεί να κωδικοποιηθεί, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1, γίνεται η διάκριση των συγκοινωνιακών μοντέλων στις παρακάτω κατηγορίες :

- i. *Strategic Models (Στρατηγικά Μοντέλα)*
- ii. *Tactical Models (Μακροσκοπικά Μοντέλα)*
- iii. *Micro Simulation Models (Μοντέλα Μικροσκοπικής Προσομοίωσης Δικτύων)*
- iv. *Micro Models (Μοντέλα Μικροσκοπικής Προσομοίωσης κόμβων)*



**Σχήμα 4. 1:** Κατηγοριοποίηση μοντέλων σύμφωνα με το επίπεδο λεπτομέρειας και το μέγεθος του δικτύου



## 4.2 Χρήση Μοντέλων στο Συγκοινωνιακό Σχεδιασμό

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται οι κατηγορίες των συγκοινωνιακών μοντέλων που προαναφέρθηκαν, έχοντας ως κριτήριο κατηγοριοποίησης το επίπεδο λεπτομέρειας και το μέγεθος των δικτύων που είναι ικανά να κωδικοποιήσουν.

### 4.2.1 Strategic Models<sup>3</sup>

Η εφαρμογή των strategic models, τα οποία αναφέρονται και ως “δίκτυα συνδέσμων”, επικεντρώνεται κυρίως στην αξιολόγηση καταστάσεων που περιλαμβάνουν καταμερισμό μεγάλης κλίμακας και διασποράς, όπως συμβαίνει για παράδειγμα, στους αυτοκινητόδρομους. Τυπικά τα strategic models χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση δικτύων, το μέγεθος των οποίων είναι της τάξης των μερικών χιλιάδων κόμβων. Κύριο χαρακτηριστικό των μοντέλων αυτών, αποτελεί η περιορισμένη απαίτηση δεδομένων για την κωδικοποίηση του δικτύου. Αποτέλεσμα αυτού, είναι να μην είναι δυνατή η περιγραφή της συμπεριφοράς των μετακινούμενων, δηλαδή η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων σε επίπεδο λεπτομέρειας μεμονωμένων οχημάτων, όπως επίσης δεν είναι δυνατή, σε ικανοποιητικό βαθμό, η λεπτομερής περιγραφή χαρακτηριστικών του δικτύου, όπως στρέφουσες κινήσεις και κόμβοι που ελέγχονται από φωτεινή σηματοδότηση. Στόχος των μοντέλων αυτών είναι η περιγραφή της macro συμπεριφοράς των οχημάτων, κατά την επιλογή των βέλτιστων διαδρομών σε ένα δίκτυο σε καταστάσεις που περιλαμβάνουν καταμερισμό μεγάλης κλίμακας και διασποράς.

Εξ' αιτίας των χαρακτηριστικών των strategic models, ενδεχόμενες μικρές αλλαγές στον τρόπο συμπεριφοράς των μετακινούμενων, μπορεί να επιφέρουν αλλαγές σε μεγάλο βαθμό, στη μορφή του πίνακα προέλευσης – προορισμού, καθώς επίσης και στο ρυθμό γένεσης των μετακινήσεων. Για την αντιμετώπιση των αλλαγών αυτών, στα strategic models, εμπεριέχονται υπομοντέλα, η εφαρμογή των οποίων παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης των μελλοντικών αλλαγών και δημιουργίας νέων πινάκων προέλευσης – προορισμού που ανταποκρίνονται στις εκάστοτε συνθήκες.

---

<sup>3</sup> Δεδομένου ότι η διεθνής βιβλιογραφία έχει επικρατήσει στα τεχνικά κείμενα, στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα χρησιμοποιείται η διεθνής ορολογία αντί της ελληνικής.

Στα μοντέλα αυτά, εμπεριέχονται και υπομοντέλα τα οποία είναι ικανά να προβλέπουν αλλαγές στη ζήτηση για μετακίνηση που απορρέουν για παράδειγμα από την αλλαγή της ιδιοκτησίας των οχημάτων ή από τη μακροπρόθεσμη αλλαγή του εισοδήματος των μετακινούμενων. Η χρήση των υπομοντέλων αυτών είναι πολύ σημαντική, δεδομένου ότι τα strategic models χρησιμοποιούνται για μακροχρόνιες προβλέψεις, της τάξης των μερικών δεκαετιών.

Οι καθυστερήσεις που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στα υπομοντέλα καταμερισμού στο δίκτυο, των strategic models, υπολογίζονται λαμβάνοντας υπ όψιν, μόνο τις καμπύλες φόρτου – χρόνου των συνδέσμων του δικτύου. Οι καθυστερήσεις που απορρέουν από τις στρέφουσες κινήσεις των οχημάτων στους κόμβους, δεν λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την εφαρμογή του μοντέλου ή αν λαμβάνονται δεν αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές καμπύλες φόρτου – χρόνου, αλλά αποτελούν μέρος των καμπυλών φόρτου – χρόνου των συνδέσμων. Επιπλέον, για κάθε σύνδεσμο του δικτύου, η καμπύλη φόρτου – χρόνου είναι προκαθορισμένη.

Η βασική παραδοχή που γίνεται από τα strategic models, είναι ότι οι κυκλοφοριακές συνθήκες παραμένουν αμετάβλητες κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του μοντέλου. Επομένως δε λαμβάνεται υπ' όψιν και δεν αντιμετωπίζεται η επίδραση στον υπολογισμό των καθυστερήσεων, που απορρέει από φαινόμενα όπως η φωτεινή σηματοδότηση στους κόμβους του δικτύου, ενδεχόμενες ουρές οχημάτων στην είσοδο και έξοδο των κόμβων ή οποιεσδήποτε αλλαγές στο κόστος μετακίνησης κατά την περίοδο εφαρμογής του μοντέλου, που οδηγούν σε αλλαγή των διαδρομών που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους. Όσον αφορά στους φόρτους του δικτύου, γίνεται η παραδοχή ότι τα οχήματα εισέρχονται στο δίκτυο με σταθερό ρυθμό, ο οποίος παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της εφαρμογής του μοντέλου, αγνοώντας οποιαδήποτε δυναμικά φαινόμενα.

Το κύριο μειονέκτημα των μοντέλων αυτών, εκτός από το γεγονός ότι αγνοούν τα δυναμικά φαινόμενα, είναι ότι για μελλοντικές προβλέψεις, απαιτείται ένας μεγάλος όγκος δεδομένων, όπως μελλοντική χρήση γης, επίπεδα πληθυσμού, επίπεδα ανεργίας, εισόδημα μετακινούμενων.

Αποτέλεσμα αυτού, είναι για μελλοντικές προβλέψεις με τη χρήση των strategic models, να γίνεται μόνο εφαρμογή του μοντέλου καταμερισμού στο δίκτυο, ενώ ο πίνακας προέλευσης – προορισμού που πρόκειται να εφαρμοστεί, να αποτελεί μελλοντική πρόβλεψη με επεξεργασία στοιχείων που είναι διαθέσιμα, δηλαδή πίνακες προέλευσης – προορισμού που είναι διαθέσιμοι.

#### **4.2.2 Tactical Models**

Τα tactical models χρησιμοποιούνται κυρίως για την κωδικοποίηση δικτύων μικρότερου μεγέθους από αυτά των strategic models. Το μέγεθος ενός τυπικού δικτύου των tactical models κυμαίνεται μεταξύ 50 και 300 κόμβων. Κύριο χαρακτηριστικό των μοντέλων αυτών, είναι ότι για την κωδικοποίηση ενός δικτύου, απαιτείται μεγάλος όγκος δεδομένων, κυρίως λόγω της λεπτομερούς κωδικοποίησης των κόμβων του δικτύου. Άλλο χαρακτηριστικό των tactical models είναι η λεπτομέρεια στην κωδικοποίηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων, αφού δίνεται μεγάλη έμφαση στις καθυστερήσεις που προκύπτουν στους κόμβους του δικτύου. Στα tactical models, σε αντίθεση με τα strategic models οι καθυστερήσεις που προκύπτουν λόγω στρεφουσών κινήσεων στους κόμβους του δικτύου, υπολογίζονται λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις υπόλοιπες κινήσεις που λαμβάνουν χώρα στον κάθε κόμβο. Ο διαχωρισμός των tactical models γίνεται με βάση το βαθμό που λαμβάνονται υπ' όψιν τα δυναμικά φαινόμενα σε ένα δίκτυο και πως αυτά τελικά κωδικοποιούνται.

Η χρήση των tactical models αναλώνεται κυρίως στη αξιολόγηση καταστάσεων στις οποίες, κατά την εφαρμογή του μοντέλου, αναμένεται να υπάρχουν αλλαγές στις διαδρομές που χρησιμοποιούν οι χρήστες του δικτύου, για τη μετακίνηση τους μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης – προορισμού. Επομένως, ο πίνακας προέλευσης – προορισμού που εφαρμόζεται είναι ανεξάρτητος από τα στοιχεία του δικτύου και από την εκάστοτε κατάσταση που πρόκειται να αξιολογηθεί. Επιπροσθέτως, οι πίνακες προέλευσης – προορισμού είναι μεταβαλλόμενοι ώστε να μπορούν να ενσωματώσουν και να αξιολογήσουν μελλοντικές καταστάσεις που προκύπτουν για παράδειγμα από την αλλαγή στην ιδιοκτησία των οχημάτων ή από την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων που πρόκειται να προσελκύσουν νέες μετακινήσεις.

Ακόμα, στα tactical models υπάρχει η δυνατότητα της ενσωμάτωσης εικονικών περιοχών έλξης μετακινήσεων ώστε να μπορούν να αναπαρασταθούν ικανοποιητικά αλλαγές στη ζήτηση για μετακίνηση που προκύπτουν από αλλαγές στα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός βελτιωμένου εναλλακτικού δικτύου, ενδέχεται να αυξήσει τη ζήτηση για μετακίνηση, που θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στο δίκτυο και τη μείωση της ζήτησης για μετακίνηση.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί, ότι τα υπομοντέλα “γέννησης της μετακίνησης” που είναι διαθέσιμα στα tactical models, είναι λιγότερο αποτελεσματικά από αυτά των strategic models. Για το λόγο αυτό, τα tactical models, συχνά ενσωματώνονται σε ευρύτερα strategic models.

Αντιπροσωπευτικά εμπορικά πακέτα των tactical models αποτελούν τα SATURN και CONTRAM.

#### **4.2.3 Micro Simulation Models**

Στα micro simulation models, γίνεται κωδικοποίηση του δικτύου σε επίπεδο λεπτομέρειας μεμονωμένων οχημάτων, δηλαδή το κάθε όχημα μοντελοποιείται ξεχωριστά καθώς αυτό κινείται στο υπό μελέτη δίκτυο. Σε μία τυπική εφαρμογή του μοντέλου προσομοιώνεται η κίνηση των οχημάτων ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα διάρκειας ενός έως μερικών δευτερολέπτων. Ακόμα κωδικοποιούνται διάφορα χαρακτηριστικά των χρηστών του δικτύου, όπως η συμπεριφορά τους κατά την οδήγηση, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά των οχημάτων των χρηστών, όπως για παράδειγμα η επιτάχυνση των βαρέων οχημάτων. Σε περίπτωση που τα στοιχεία σχετικά με τη συμπεριφορά των χρηστών και των χαρακτηριστικών των οχημάτων τους δεν είναι διαθέσιμα, κατανέμονται αυτόματα από τα micro simulation models με δειγματοληψία από μία υπάρχουσα βάση δεδομένων.

Η δυνατότητα αναπαράστασης της κίνησης των οχημάτων σε γραφικό περιβάλλον και δεδομένου του ότι η αναπαράσταση αυτή μπορεί να γίνει και σε πραγματικό

χρόνο, καθιστούν τα micro simulation models πολύ δυνατά εργαλεία για την μελέτη και το σχεδιασμό των κόμβων ενός δικτύου.

Για την εφαρμογή των micro simulation models, απαιτείται μεγαλύτερος όγκος δεδομένων σε σχέση με τα tactical models, εφόσον θα πρέπει να κωδικοποιηθούν και επιπλέον χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως τα χαρακτηριστικά των χρηστών του δικτύου και των οχημάτων που εισέρχονται σε αυτό.

Τέλος δεδομένου του ότι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των μοντέλων αυτών ελαττώνεται όσο μεγαλύτερο είναι και το μέγεθος του δικτύου που πρόκειται να κωδικοποιηθεί, τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση δικτύων, το μέγεθος των οποίων κυμαίνεται μεταξύ ενός και μερικών δεκάδων κόμβων. Όσον αφορά τον πίνακα προέλευσης – προορισμού που πρόκειται να εφαρμοστεί, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι προκαθορισμένος..

Αντιπροσωπευτικά εμπορικά πακέτα των micro simulation models αποτελούν τα PARAMICS, VISSIM, DRACULA, και AIMSUN/2.

#### **4.2.4 Micro Models**

Κύριο χαρακτηριστικό των micro models, είναι η μεγάλη απαίτησή τους για λεπτομερή και μεγάλης ακρίβειας δεδομένα του δικτύου, ενώ επικεντρώνονται αποκλειστικά στη συμπεριφορά των μετακινούμενων μέσα στο δίκτυο. Τα δίκτυα που πρόκειται να κωδικοποιηθούν και να αξιολογηθούν από τα μοντέλα αυτά αποτελούνται αποκλειστικά από ένα κόμβο. Η χρήση των micro models αναλώνεται κυρίως στο σχεδιασμό και στην αξιολόγηση των κόμβων. Κατά την εφαρμογή τους, γίνεται η υπόθεση ότι δεν υπάρχει επανακαταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο και ότι ο πίνακας προέλευσης – προορισμού είναι αμετάβλητος.

Αντιπροσωπευτικά εμπορικά πακέτα των micro models αποτελούν τα ARCADY, PICADY, OSCADY και MIDAS.

Το μοντέλο του SATURN, στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής του, σχεδιάστηκε ως tactical model, ενώ η εφαρμογή του επικεντρώνονταν κυρίως στην κωδικοποίηση μικρής έκτασης δικτύων, όπως για παράδειγμα δίκτυα της τάξης μεγέθους του κέντρου μιας πόλης. Ωστόσο με την περαιτέρω ανάπτυξη του SATURN, έχουν ενσωματωθεί σε αυτό χαρακτηριστικά ώστε να μπορούν να κωδικοποιηθούν και να αξιολογηθούν μεγαλύτερα σε μέγεθος δίκτυα ή δίκτυα που απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων και πιο λεπτομερή κωδικοποίηση.

Η ενσωμάτωση του “buffer networ”(ευρύτερων δικτύων), στο μοντέλο του SATURN, δίνει τη δυνατότητα κωδικοποίησης μεγάλου μεγέθους δικτύων, της τάξης των μερικών χιλιάδων κόμβων, αντίστοιχα με αυτά των strategic models. Η χρήση του “simulation network” (δικτύων υψηλής λεπτομέρειας), ως μέρος του μοντέλου του SATURN, επιτρέπει τη λεπτομερέστατη κωδικοποίηση κόμβων που αποτελούν μέρος μικρών σε έκταση δικτύων, όπως για παράδειγμα του κέντρου μιας πόλης. Επιπροσθέτως, με την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση εργαλείων γραφικού σχεδιασμού των κόμβων ενός δικτύου, δίνεται η δυνατότητα χρήσης του SATURN και ως micro model.

Στην ενότητα που ακολουθεί, γίνεται μία εκτενέστερη ανάλυση του μοντέλου του SATURN καθώς επίσης και των θεωρητικών αρχών που εφαρμόζονται.

### **4.3 Οι Δύο Τύποι Δικτύου του SATURN**

Στα μακροσκοπικά μοντέλα καταμερισμού, η περιγραφή του δικτύου, επικεντρώνεται κυρίως στην περιγραφή των χαρακτηριστικών των συνδέσμων μεταξύ των κόμβων, ενώ δίνεται πολύ λίγο βάρος στην περιγραφή των χαρακτηριστικών των κόμβων. Επομένως, στα μοντέλα αυτά, ο χρόνος μετακίνησης μεταξύ ενός ζεύγους προέλευσης-προορισμού, είναι ο χρόνος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου, δηλαδή ο χρόνος που απορρέει από τους φόρτους μόνο στους συνδέσμους, χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου, όπως αριστερές στροφές ή απαγορευμένες στρέφουσες κινήσεις. Αποτέλεσμα αυτού, είναι δίκτυα όπως αυτοκινητόδρομοι και δρόμοι ταχείας κυκλοφορίας να αναπαρίστανται αρκετά ικανοποιητικά από τα μακροσκοπικά μοντέλα, ενώ δίκτυα στα οποία θα πρέπει να

περιγραφούν πιο λεπτομερή χαρακτηριστικά, όπως απαγορευμένες στρέφουσες κινήσεις ή λωρίδες κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από μία συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων, να μην μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά.

Πιο συγκεκριμένα τα δύο βασικά μειονεκτήματα των μακροσκοπικών μοντέλων, που αναπαριστούν το δίκτυο αποκλειστικά με χαρακτηριστικά των συνδέσμων, είναι:

- Πρέπει να είναι γνωστή εκ των προτέρων, η καμπύλη φόρτου-χρόνου για κάθε σύνδεσμο του δικτύου. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι πάντα εφικτό.
- Δεν είναι δυνατή η αναπαράσταση, μέσω της καμπύλης φόρτου-χρόνου των συνδέσμων, καταστάσεων που δημιουργούνται, λόγω της επίδρασης άλλων χαρακτηριστικών του δικτύου, όπως απαγορευμένες στρέφουσες κινήσεις.

Με τη χρήση του SATURN παρακάμπτονται τα παραπάνω προβλήματα, αφού δίνεται έμφαση τόσο στους κόμβους, όσο και στους συνδέσμους του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα στο μοντέλο του SATURN, εκτελείται αρχικά το υπομοντέλο προσομοίωσης για τον προσδιορισμό των καθυστερήσεων που προκύπτουν από την κίνηση των οχημάτων στο δίκτυο και στη συνέχεια εκτελείται το υπομοντέλο καταμερισμού για να τον προσδιορισμό της επιλογής των διαδρομών. Οι φόρτοι που υπολογίζονται, αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για την επανεκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης.

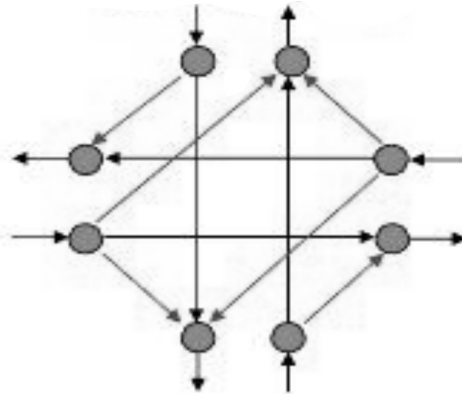
Σύμφωνα με το βαθμό λεπτομέρειας της κωδικοποίησης των δικτύων, υπάρχουν δύο κατηγορίες δικτύων στο SATURN. Τα Δίκτυα Υψηλής Λεπτομέρειας (Simulation Networks) και τα Ευρύτερα Δίκτυα (Buffer Networks).

Στα buffer networks, τα οποία συνήθως περιβάλλουν τα simulation networks, οι καθυστερήσεις λόγω στρεφουσών κινήσεων καθώς επίσης και η λεπτομερής περιγραφή των καταστάσεων στους κόμβους που απαρτίζουν το δίκτυο, είναι δευτερεύουσας σημασίας. Στα buffer networks χρησιμοποιούνται δεδομένα που σχετίζονται κυρίως με τους συνδέσμους του δικτύου, όπως στα μακροσκοπικά μοντέλα. Στα simulation networks οι στρέφουσες κινήσεις των οχημάτων, καθώς επίσης και οι κόμβοι του δικτύου, αναπαρίστανται με μεγάλη λεπτομέρεια.

Για να εκτελεστεί από το SATURN ένας σωστά εφαρμοσμένος καταμερισμός, χρησιμοποιείται μία ιδιαίτερη τεχνική κωδικοποίησης του simulation network. Σε κάθε κόμβο του simulation network τοποθετείται ένας κόμβος στο σημείο εισόδου και στο σημείο εξόδου, με αντίστοιχους συνδέσμους να χρησιμοποιούνται, ώστε να αναπαρασταθούν ικανοποιητικά οι στρέφουσες κινήσεις. Επομένως, σε έναν τυπικό κόμβο τύπου “Σταυρού” (τεσσάρων κλάδων), που επιτρέπονται όλες οι κινήσεις, εκτός από τις αναστροφές, θα έπρεπε απαραίτητα να χρησιμοποιηθούν οχτώ κόμβοι καταμερισμού, ώστε να αναπαρασταθούν κατάλληλα οι οχτώ κατευθύνσεις των δρόμων του κόμβου, ένας κόμβος καταμερισμού σε κάθε γραμμή αναμονής για τα οχήματα που πρόκειται να εξέλθουν από τον κόμβο και ένας κόμβος καταμερισμού σε κάθε γραμμή αναμονής για τα οχήματα που πρόκειται να εισέλθουν στον κόμβο. Αποτέλεσμα αυτού, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2, είναι να χρειάζονται συνολικά δώδεκα σύνδεσμοι, για να είναι δυνατόν να αναπαρασταθούν όλες οι στρέφουσες κινήσεις. Ακόμα, σε κάθε έναν από τους συνδέσμους αυτούς θα αντιστοιχεί και μία διαφορετική καμπύλη φόρτου-χρόνου. Η καμπύλη φόρτου-χρόνου, σε αντίθεση με τα μακροσκοπικά μοντέλα κατανομής του φόρτων, δεν καθορίζεται από το χρήστη, αλλά από το μοντέλο του SATURN, με την προσομοίωση διαφορετικών καταστάσεων φόρτου σε κάθε κόμβο. Ωστόσο χαρακτηριστικά των κόμβων, όπως διάρκεια της ένδειξης της φωτεινής σηματοδότησης ή απαγορευμένες κινήσεις, καθορίζονται από το χρήστη.

Τελικά, κατά την εφαρμογή του υπομοντέλου καταμερισμού στο SATURN, χρησιμοποιείται τόσο το simulation network όσο και buffer network. Διάκριση μεταξύ του simulation network και του buffer network, δεν υπάρχει από το υπομοντέλο καταμερισμού των φόρτων, αφού και τα δύο είδη δικτύων, τελικά αντιμετωπίζονται ως σύνδεσμοι με ξεχωριστή καμπύλη φόρτου-χρόνου για κάθε περίπτωση. Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ αυτών των συνδέσμων έγκειται στο τι αναπαριστούν στην πραγματικότητα, που μπορεί να είναι είτε πραγματικοί δρόμοι για τα buffer networks, είτε απαγορευμένες στρέφουσες κινήσεις, κόμβοι ή δρόμοι για τα simulation networks.





Σχήμα 4. 2: Λεπτομερής αναπαράσταση κόμβου τύπου “Σταυρού”

#### 4.4 Το πρόβλημα του Μακροσκοπικού Καταμερισμού στο SATURN

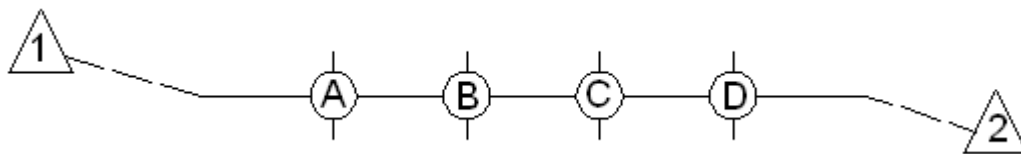
Με τη χρήση των μακροσκοπικών μοντέλων για τον προσδιορισμό των καθυστερήσεων των οχημάτων σε υπερφορτωμένους κόμβους, που προκύπτουν από τον καταμερισμό των φόρτων στο δίκτυο, προκύπτουν δύο βασικά προβλήματα:

- Δεν είναι δυνατός ο ρεαλιστικός προσδιορισμός των καθυστερήσεων που προκύπτουν από την αναμονή των οχημάτων σε υπερφορτωμένους κόμβους, χωρίς να υπολογίζονται οι εν λόγω καθυστερήσεις περισσότερες από μία φορές.
- Δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός των καθυστερήσεων των οχημάτων που βρίσκονται σε αναμονή, για περιόδους μεγαλύτερες από αυτές που ορίζονται από τον πίνακα προέλευσης -προορισμού.

Για να γίνουν κατανοητά τα δύο προβλήματα που προαναφέρθηκαν, παρατίθεται το παρακάτω παράδειγμα:

Έστω το πολύ απλό δίκτυο του σχήματος 4.3, που αποτελείται από τις ζώνες 1 και 2, καθώς επίσης και από τους κόμβους A, B, C και D. Στο εν λόγω δίκτυο, γίνεται η υπόθεση ότι οι κόμβοι A, B, C και D έχουν χωρητικότητα 1000 οχήματα ανά ώρα,

ενώ ο πίνακας προέλευσης - προορισμού που πρόκειται να εφαρμοστεί, αποτελείται από μετακινήσεις της τάξης των 2000 οχημάτων ανά ώρα από τη ζώνη 1 προς τη ζώνη 2, ενώ δεν υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές από τη ζώνη 1 προς της ζώνη 2, ούτε επιπλέον μετακινήσεις.



**Σχήμα 4. 3:** Δίκτυο που αποτελείται από ένα ζεύγος προέλευσης – προορισμού

Ακόμα η διάρκεια εφαρμογής των μετακινήσεων είναι της τάξης της μιας ώρας. Σύμφωνα με τον πίνακα προέλευσης - προορισμού που πρόκειται να εφαρμοστεί στο δίκτυο, 2000 οχήματα θα φτάσουν στον κόμβο A. Από αυτά τα 2000 οχήματα, είναι φανερό ότι μόλις τα μισά θα καταφέρουν να ολοκληρώσουν τη μετακίνησή τους στη μία ώρα που γίνεται η εφαρμογή του μοντέλου. Υπό αυτές τις συνθήκες, αυτό που θα συμβεί στην πραγματικότητα, είναι ότι στον κόμβο A θα αναπτυχθεί, από τα οχήματα που καταφθάνουν, ουρά οχημάτων, που για να απορροφηθεί, θα χρειαστούν δύο ώρες. Η μέση καθυστέρηση στον κόμβο A θα είναι της τάξης των τριάντα λεπτών, αφού το πρώτο όχημα που θα φθάσει στον κόμβο θα αντιμετωπίσει μία πολύ μικρή καθυστέρηση, η οποία στη συνέχεια αυξανόμενη θα καταλήξει στη μία ώρα για το τελευταίο όχημα που θα φθάσει στον κόμβο. Ωστόσο, είναι φανερό ότι οι καθυστερήσεις των οχημάτων στους κόμβους B, C και D θα είναι πολύ μικρές σε σχέση με αυτές στον κόμβο A, και δε θα ξεπερνούν τα τριάντα λεπτά.

Στο παραπάνω παράδειγμα, με τη χρήση των μακροσκοπικών μοντέλων, θα υπήρχε ένας ωριαίος καταμερισμός φόρτων της τάξης των 2000 οχημάτων ανά ώρα σε όλους τους κόμβους A, B, C και D του δικτύου και επομένως οι καθυστερήσεις, θα υπολογίζονταν λανθασμένα για τους κόμβους B, C και D.

Στο μοντέλο του SATURN προσεγγίζεται εντελώς διαφορετικά ο υπολογισμός των καθυστερήσεων σε υπερφορτωμένους κόμβους, σε σχέση με τα μακροσκοπικά μοντέλα, με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν τα πιο πάνω προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα στο παραπάνω παράδειγμα με τη χρήση του SATURN, θα προβλεπόταν σωστά, μία ωριαία άφιξη οχημάτων στον κόμβο A, της τάξης των 2000

οχημάτων ανά ώρα, ενώ θα προβλεπόταν και μία ωριαία αναχώρηση 1000 οχημάτων ανά ώρα, από τον κόμβο A. Συνεπώς, η ουρά των οχημάτων που θα αναπτύσσονταν στον κόμβο A θα ήταν 1000 οχήματα, ενώ στους κόμβους B, C και D θα υπήρχαν καθυστερήσεις λιγότερες των τριάντα λεπτών. Ακόμα, για την αντιμετώπιση του προβλήματος του υπολογισμού των καθυστερήσεων σε υπερφορτωμένους κόμβους, κατά την εφαρμογή του υπομοντέλου καταμερισμού στο δίκτυο, υπάρχει ένας παράγοντας μείωσης της ουράς των οχημάτων (Queue Reduction Factor – QRF), ο υπολογισμός του οποίου γίνεται κατά την εφαρμογή του υπομοντέλου προσομοίωσης. Έτσι, εάν για ένα σύνδεσμο ο παράγοντας QRF υπολογιστεί σε 0.9 από το υπομοντέλο προσομοίωσης, μόλις το 90% των μετακινούμενων που χρησιμοποιούν τον εν λόγω σύνδεσμο θα ολοκληρώσουν τη μετακίνησή τους, για την περίοδο εφαρμογής της προσομοίωσης και επομένως οι καθυστερήσεις που θα υπολογιστούν, θα ανταποκρίνονται στο 90% των πραγματικών φόρτων. Επομένως, στο SATURN οι φόρτοι θα πρέπει να οριστούν με δύο τρόπους:

1. Ο καταμεριζόμενος φόρτος ο οποίος υπολογίζεται κατά το στάδιο της εφαρμογής του υπομοντέλου καταμερισμού στο δίκτυο και ανταποκρίνεται στις συνολικές μετακινήσεις όπως ορίζονται από τον πίνακα προέλευσης - προορισμού, ανεξάρτητα από την διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης. Στο παραπάνω παράδειγμα ο καταμεριζόμενος φόρτος θα είναι 2000 οχήματα ανά ώρα.
2. Ο πραγματικός φόρτος ή φόρτος προσομοίωσης, ο οποίος ανταποκρίνεται στον πραγματικό φόρτο κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Έτσι, αν γίνει η υπόθεση ότι η περίοδος προσομοίωσης είναι 30 λεπτά (ο καθορισμός της οποίας γίνεται από την παράμετρο LTP στο μοντέλο του SATURN), στο παραπάνω παράδειγμα, θα υπήρχε άφιξη 1000 οχημάτων στον κόμβο A και αναχώρηση 500 οχημάτων από τον κόμβο A για την περίοδο εφαρμογής του μοντέλου.

Όσον αφορά τις στρέφουσες κινήσεις των οχημάτων στο simulation network μπορεί να γίνει ένας επιπλέον διαχωρισμός των πραγματικών φόρτων σε πραγματικούς φόρτους άφιξης και πραγματικούς φόρτους αναχώρησης. Ο διαχωρισμός αυτός, υλοποιείται, ώστε να μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά οι ουρές των οχημάτων

που έχουν απομείνει με τη λήξη της περιόδου εφαρμογής του υπομοντέλου προσομοίωσης σε υπερφορτωμένους κόμβους. Για την καλύτερη κατανόηση των όσων προαναφέρθηκαν, παρατίθεται ένας πίνακας, στον οποίο περιέχονται τα αποτελέσματα, μιας τυπικής εφαρμογής του προγράμματος ανάλυσης SATLOOK , που περιέχεται στο μοντέλο του SATURN:

From	To	Average Delay	Fixed flow	Assgnd flow	Qued up	Arrive flow	Qued here	Actual flow	Capacity	V/C %
21	71	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1321.4	0.0
21	23	0.0	0.0	500.1	0.1	500	0.0	500.0	5087.8	9.8
21	48	7.4	0.0	258.7	0.1	258.6	0.0	258.6	963.8	26.8
Totals From 21		2.5	0.0	758.8	0.2	758.6	0.0	758.6	5163.8	14.7
23	48	0.0	0.0	180.0	0.0	180.0	0.0	180.0	1200.0	15.0
23	21	0.0	0.0	338.0	0.0	338.0	0.0	338.0	5390.0	6.3
23	71	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	556.8	0.0
Totals From 23		0.0	0.0	517.9	0.0	517.9	0.0	517.9	5400.0	9.6
48	21	5.7	0.0	442.3	183.2	259.1	0.0	259.1	998.7	25.9
48	71	10.5	30.0	30.0	12.4	17.6	0.0	17.6	466.6	3.8
48	23	319.4	0.0	725.9	300.7	425.2	93.9	331.3	331.3	128.3
Totals From 48		195.9	30.0	1198.2	496.4	701.8	93.9	607.9	1595.0	44.0
OVERALL		70.4	30.0	2474.9	496.6	1978.4	93.9	1884.5	12159.0	16.3

**Πίνακας 4. 1:** Αποτελέσματα εφαρμογής του SATLOOK

Για την ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων του SATLOOK, που παρατίθενται μέσω του παραπάνω πίνακα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι:

- Η AVERAGE DELAY είναι η μέση καθυστέρηση, σε δευτερόλεπτα, των οχημάτων κατά τη χρονική περίοδο εφαρμογής του μοντέλου.
- Ο ASGND FLOW είναι ο καταμεριζόμενος φόρτος, όπως υπολογίζεται κατά τη διαδικασία του καταμερισμού. Ο QUED UP FLOW, είναι ο φόρτος των οχημάτων που δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν τη μετακίνησή τους, λόγω της ουράς που αναπτύσσεται ανάντι του κόμβου που εξετάζεται. Η διαφορά των ASGND FLOW και QUED UP FLOW δίνει τον φόρτο των οχημάτων που εισέρχεται στον κόμβο που εξετάζεται και αποτελεί τον ARRIVE FLOW.
- Το QUED HERE αναπαριστά το ρυθμό με τον οποίο αναπτύσσεται η μόνιμη ουρά στον κόμβο. Το αποτέλεσμα της διαφοράς του QUED HERE από του ARRIVE FLOW, είναι ο ACTUAL FLOW που εξέρχεται από τον κόμβο.
- Το άθροισμα των καθυστερήσεων για κάθε σύνδεσμο και για κάθε στρέφουσα κίνηση του κόμβου που εξετάζεται είναι στην πραγματικότητα μέσοι όροι, με μονάδα βάρους για κάθε στρέφουσα κίνηση να είναι ο ARRIVE FLOW. Η συνολική χωρητικότητα που δίνεται για κάθε σύνδεσμο, είναι το άθροισμα της χωρητικότητας των συνδέσμων που αναπαριστούν στρέφουσες κινήσεις, όταν υπάρχουν αποκλειστικές λωρίδες κυκλοφορίας για την πραγματοποίηση των στρεφουσών κινήσεων και λιγότερο από το πραγματικό τους άθροισμα, όταν δεν υπάρχουν αποκλειστικές λωρίδες κυκλοφορίας, ώστε να αποφεύγεται ο υπολογισμός της χωρητικότητας των συνδέσμων περισσότερες από μία φορές.

#### **4.5 Ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού στο SATURN**

Για την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN θα πρέπει να υπάρχει ως δεδομένο εισόδου ένας πίνακας προέλευσης - προορισμού σε μορφή απλού κειμένου με επέκταση .DAT. Ένα σωστά δομημένο αρχείο πίνακα προέλευσης – προορισμού, προς εισαγωγή στο μοντέλο του SATURN, έχει την παρακάτω μορφή:

- i. Τον τίτλο του πίνακα Προέλευσης-Προορισμού
- ii. Μία σειρά από λογικές και αριθμητικές παραμέτρους και
- iii. Τα δεδομένα του πίνακα Προέλευσης-Προορισμού.

Ένα τέτοιο αρχείο που περιγράφηκε πιο πάνω για ένα δίκτυο με τρεις ζώνες θα έχει την παρακάτω μορφή:

```

RUN O-D MATRIX      (Τίτλος πίνακα Προέλευσης-Προορισμού)
&PARAM             (Λογικές και αριθμητικές Παράμετροι)
NROWS=3
NCOLS=3
MPNEXT=T,
&END
TRIPS   PCUH       (Δεδομένα του πίνακα προέλευσης-Προορισμού)
O-DMATRIX
1   0   22   30
2  50   0   0
3  10   22   0

```

Μερικά σημεία που πρέπει να επισημανθούν, αναφορικά με τους πίνακες προέλευσης - προορισμού στο SATURN είναι:

1. Εκ των προτέρων σταθεροί φόρτοι, δηλαδή συγκεκριμένες μετακινήσεις που ακολουθούν μία συγκεκριμένη διαδρομή ανεξάρτητα από το μέγεθος του κορεσμού που υπάρχει στο δίκτυο, όπως για παράδειγμα μετακινήσεις με μέσα μαζικής μεταφοράς σε αποκλειστικές λωρίδες κυκλοφορίας, θα πρέπει να μην συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα προέλευσης - προορισμού.
2. Τα στοιχεία του πίνακα προέλευσης - προορισμού αναπαριστούν ρυθμούς μετακίνησης ανά ώρα αντί για τον απόλυτο αριθμό των μετακινήσεων, από και προς ένα προορισμό. Επομένως ο πίνακας προέλευσης - προορισμού παραμένει αμετάβλητος αν αλλάξει η περίοδος εφαρμογής του μοντέλου.

3. Σε ένα αρχείο πίνακα προέλευσης - προορισμού περιέχονται συνήθως δεδομένα ενός πίνακα προέλευσης - προορισμού.

#### **4.6 Το Υπομοντέλο Καταμερισμού του SATURN**

Δεδομένα εισόδου για το υπομοντέλο καταμερισμού του SATURN, αποτελούν ο πίνακας προέλευσης - προορισμού και τα στοιχεία του συγκοινωνιακού δικτύου. Στη συνέχεια και με την εφαρμογή του υπομοντέλου του καταμερισμού, πραγματοποιείται ο καταμερισμός των μετακινούμενων στις πιθανές διαδρομές του δικτύου, σύμφωνα με τις εκάστοτε σχέσεις φόρτου – χρόνου που απορρέουν από την προηγούμενη εφαρμογή του υπομοντέλου προσομοίωσης.

Στη συνέχεια, παρατίθεται μία αναλυτικότερη προσέγγιση των αρχών που χρησιμοποιούνται από το υπομοντέλο καταμερισμού του SATURN, στη ντετερμινιστική και στοχαστική κατάσταση ισορροπίας.

##### **4.6.1 Ντετερμινιστική Κατάσταση Ισορροπίας**

Η διαδικασία καταμερισμού στο SATURN της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, βασίζεται στην αρχή της ισορροπίας του Wardrop, όπου γίνεται η υπόθεση ότι το κόστος της μετακίνησης ή πιο συγκεκριμένα ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μία μετακίνηση, εξαρτάται από τους φόρτους στο δίκτυο. Η αρχή της ισορροπίας του Wardrop, η οποία αναλύθηκε εκτενέστερα στο κεφάλαιο 3 μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

*“Οι μετακινούμενοι διαλέγουν τέτοιες διαδρομές, ώστε στην κατάσταση ισορροπίας, το κόστος μετακίνησης να είναι ίσο σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται και όχι μεγαλύτερο από τις διαδρομές που δε χρησιμοποιούνται.”*

Για την εφαρμογή της αρχής της ισορροπίας του Wardrop, είναι αναγκαίο να γίνουν ορισμένες υποθέσεις όπως:

- i. Να μην υπάρχει διαφοροποίηση στις συνθήκες μετακίνησης στο δίκτυο, καθώς επίσης και στη ζήτηση για μετακίνηση με την πάροδο του χρόνου,
- ii. Οι μετακινούμενοι να έχουν πλήρη γνώση των συνθηκών του δικτύου και να έχουν σωστή αντίληψη του κόστους μετακίνησης
- iii. Τέλος, όλοι οι μετακινούμενοι να αντιλαμβάνονται το κόστος με τον ίδιο τρόπο.

#### **4.6.2 Ο αλγόριθμος Επίλυσης της Ντετερμινιστικής Κατάστασης Ισορροπίας**

Σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της κατάστασης ισορροπίας σε ένα δίκτυο, όπου εφαρμόζεται η αρχή της ισορροπίας του Wardrop, διαδραματίζει το γεγονός, ότι οι φόρτοι που ικανοποιούν την αρχή της ισορροπίας του Wardrop, μπορούν να προσδιοριστούν από μία ομάδα φόρτων που ελαχιστοποιούν μία συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση. Η πρόταση αυτή, είναι πολύ σημαντική, αφού επιτρέπει τη δημιουργία συστηματικών αλγόριθμων, οι οποίοι ελαχιστοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση καταλήγουν στη λύση του συστήματος όταν αυτό βρίσκεται σε ισορροπία. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η αντικειμενική συνάρτηση δεν έχει κάποια φυσική έννοια, αλλά χρησιμοποιείται για να περιγράψει ότι έχει επιτευχθεί κατάσταση ισορροπίας στο δίκτυο.

Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται εξ' ορισμού από το SATURN για τον καθορισμό της λύσης της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας σε ένα δίκτυο, είναι ο αλγόριθμος των Frank και Wolfe, ο οποίος αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.

Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγόριθμου των Frank και Wolfe, για την εύρεση της λύσης της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας σε ένα δίκτυο, σε κάθε στάδιο εφαρμογής του αλγόριθμου, υπολογίζεται μία νέα διαδρομή για κάθε ζεύγος προέλευσης-προορισμού, με επακόλουθο την αλλαγή των διαδρομών όλων των προηγούμενων μετακινήσεων που είχαν κατανεμηθεί, σύμφωνα με τις νέες διαδρομές που έχουν υπολογιστεί. Επομένως, μετά την πραγματοποίηση για παράδειγμα πέντε επαναλήψεων του αλγόριθμου, θα μπορεί να υπάρξουν μέχρι και πέντε διαφορετικές



διαδρομές για κάθε ζεύγος προέλευσης-προορισμού (στην πραγματικότητα, είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν λιγότερες από πέντε διαδρομές, αφού μία διαδρομή μπορεί να επιλεγεί περισσότερες από μία φορές). Αυτό που κάνει τον αλγόριθμο των Frank και Wolfe να είναι πιο αποτελεσματικός σε σχέση με άλλους, περισσότερο εμπειρικούς αλγόριθμους, είναι ότι επιλογή των παραγόντων σε κάθε βήμα του αλγόριθμου είναι τέτοια, ώστε να υπάρχει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Στο σημείο αυτό θεωρείται σκόπιμη η παράθεση ενός απλού αριθμητικού παραδείγματος για την περαιτέρω κατανόηση της αντιμετώπισης από το SATURN της αρχής της ισορροπίας του Wardrop καθώς επίσης και του αλγόριθμου των Frank και Wolfe.

Έστω μία περιοχή A εκτός του κέντρου μιας πόλης που αποτελεί αφετηρία μετακινήσεων, προς μία περιοχή B στο άλλο άκρο της πόλης, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4. Η συνολική (μέση) ζήτηση για μετακίνηση, κατά την περίοδο μελέτης θα είναι  $q$ , με

$q$  = Ο συνολικός αριθμός μετακινήσεων από την περιοχή A στη B, κατά την περίοδο μελέτης

Ακόμα, γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχουν μόνο δύο εναλλακτικές διαδρομές για την μετακίνηση από την περιοχή A στην περιοχή B. Η πρώτη διαδρομή είναι μέσω του κέντρου της πόλης, ενώ η δεύτερη διαδρομή περιφερειακά του κέντρου της πόλης. Η δεύτερη διαδρομή θεωρείται ότι έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα όπως επίσης και μεγαλύτερο κόστος μετακίνησης από την πρώτη διαδρομή.



**Σχήμα 4. 4:** Δύο εναλλακτικές διαδρομές περιφερειακά και μέσω του κέντρου μιας πόλης

Έστω,

$q_1$  = Ο φόρτος της διαδρομής από το Α στο Β, μέσω του κέντρου της πόλης.

$q_2$  = Ο φόρτος της διαδρομής από το Α στο Β, περιφερειακά του κέντρου της πόλης.

$t_1(q_1)$  = Το κόστος της μετακίνησης από το Α στο Β, μέσω του κέντρου της πόλης, ως συνάρτηση του  $q_1$ ).

$t_2(q_2)$  = Το κόστος της μετακίνησης από το Α στο Β, περιφερειακά του κέντρου της πόλης, ως συνάρτηση του  $q_2$ .

Σύμφωνα με την αρχή της ισορροπίας του Wardrop, αν η ζήτηση για μετακίνηση  $q$  είναι πολύ μικρή, η διαδρομή που θα επιλεγεί από τους μετακινούμενους θα είναι αυτή μέσω του κέντρου της πόλης, αφού είναι η διαδρομή με το μικρότερο κόστος μετακίνησης, όταν υπάρχει μικρή ή καθόλου συμφόρηση. Σε αυτή την περίπτωση, η μετακίνηση μέσω της διαδρομής περιφερειακά του κέντρου της πόλης, θα είχε μεγαλύτερο κόστος και εφόσον το δίκτυο θα πρέπει να βρίσκεται σε ισορροπία, δε θα επιλεγεί από τους μετακινούμενους.

Στην περίπτωση όμως που η ζήτηση για μετακίνηση  $q$  είναι μεγάλη, και τέτοια ώστε να υπάρχει συμφόρηση στη διαδρομή μέσω του κέντρου της πόλης, οι μετακινήσεις θα μοιραστούν στις δύο εναλλακτικές διαδρομές, έτσι ώστε να ισχύουν οι δύο παρακάτω εξισώσεις:

$$t_1(q_1) = t_2(q_2) \quad (4.1)$$

και

$$q_1 + q_2 = q \quad (4.2)$$

Από την πρώτη εξίσωση εξασφαλίζεται ότι ικανοποιείται η αρχή του της ισορροπίας του Wardrop, δηλαδή οι δύο διαδρομές που χρησιμοποιούνται να έχουν το ίδιο κόστος, ενώ από τη δεύτερη εξίσωση εξασφαλίζεται ότι η ζήτηση για μετακίνηση ικανοποιείται.

Έχοντας αναλύσει την αρχή της ισορροπίας του Wardrop, στο σημείο αυτό, θεωρείται σκόπιμο να παρουσιαστεί πώς προσδιορίζεται η λύση της ισορροπίας σε ένα δίκτυο από το SATURN.

Έστω η πολύ απλή περίπτωση που αναλύθηκε στο προηγούμενο παράδειγμα και έστω ότι:

$$t_1(q_1) = 1 + 2q_1, \quad (4.3)$$

$$t_2(q_2) = 2 + q_2 \text{ και} \quad (4.4)$$

$$q = 8 \quad (4.5)$$

Θα διερευνηθεί, ένας αριθμός διαφορετικών πιθανών μεθόδων, για την εύρεση μιας προσέγγισης της λύσης της ισορροπίας του Wardrop (στην πραγματικότητα, η λύση της ισορροπίας είναι πάντα προσεγγιστική, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται). Για τη σύγκριση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μεθόδων, ορίζεται ένας δείκτης  $D$ , τέτοιος ώστε:

$$D = \sum_{i=1}^{\infty} q_i [t_i(q_i) - t_{min}] \quad (4.6)$$

Έτσι στην κατάσταση της ντετερμινιστικής ισορροπίας θα είναι  $D = 0$ , αφού όλες οι διαδρομές που χρησιμοποιούνται θα έχουν το ίδιο κόστος, το οποίο θα είναι και το ελάχιστο κόστος. Αν δε συνέβαινε αυτό, οι μετακινούμενοι θα μπορούσαν να

ελαχιστοποιήσουν το κόστος μετακίνησής τους με την αλλαγή διαδρομής, κάτι που θα ήταν αντίθετο με την αρχή της ισορροπίας του Wardrop.

Για να γίνει ο δείκτης D ανεξάρτητος από τα στοιχεία του δικτύου, αντικαθίσταται από το δείκτη DELTA, ο οποίος ορίζεται ως:

$$DELTA = (D / D_0) \times 100\%,$$

όπου  $D_0$  το συνολικό κόστος, εάν όλες οι μετακινήσεις είχαν κατανεμηθεί στην εκάστοτε διαδρομή με το ελάχιστο κόστος. Είναι φανερό ότι στην κατάσταση της ισορροπίας του δικτύου, η τιμή του δείκτη DELTA θα είναι μηδέν,  $DELTA = 0$ .

Έστω ο παρακάτω πίνακας 4.2 των αποτελεσμάτων για τέσσερις διαφορετικές προσεγγίσεις της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας του δικτύου:

Approach	$V_1$	$V_2$	$t_1$	$t_2$	DELTA
All or Nothing (free flow)	8	0	17	2	750%
All or Nothing (congested)	0	8	1	10	900%
M.S.A	4	4	9	6	25%
Frank-Wolfe	3	5	7	7	0%

**Πίνακας 4. 2:** Αποτελέσματα διαφορετικών μεθόδων προσέγγισης της κατάστασης ισορροπίας

Στην πρώτη προσέγγιση (All or Nothing - free flow) οι μετακινήσεις κατανέμονται στο δίκτυο, με τον καταμερισμό του Όλα ή Τίποτα με το κόστος των διαδρομών να είναι το κόστος ελεύθερης ροής. Δηλαδή κόστος ίσο με 1 για τη διαδρομή μέσω το κέντρου της πόλης και κόστος ίσο με 2 για τη διαδρομή περιφερειακά του κέντρου της πόλης. Σε αυτή την περίπτωση, επιλέγεται από όλους τους μετακινούμενους η διαδρομή μέσω του κέντρου της πόλης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η υψηλή τιμή του δείκτη DELTA. Είναι φανερό ότι δεν υπάρχει κατάσταση ισορροπίας, εφόσον ένας μετακινούμενος, μπορεί να μειώσει το χρόνο της μετακίνησής του, με την επιλογή της εναλλακτικής διαδρομής.

Στην δεύτερη προσέγγιση (All or Nothing – Congested) οι μετακινήσεις κατανέμονται στο δίκτυο, με τον καταμερισμό του Όλα ή Τίποτα, με το κόστος των διαδρομών να είναι αυτό της πρώτης προσέγγισης, δηλαδή 17 για τη διαδρομή μέσω του κέντρου της πόλης και 2 για τη διαδρομή περιφερειακά του κέντρου της πόλης. Και σε αυτή την περίπτωση ο δείκτης DELTA είναι πολύ υψηλός, ενώ δεν υπάρχει κατάσταση ισορροπίας στο δίκτυο.

Στην τρίτη προσέγγιση, η οποία είναι μία επαναληπτική προσέγγιση, οι μετακινήσεις κατανέμονται στο δίκτυο, με τη χρήση των αποτελεσμάτων των δύο προηγούμενων Όλα ή Τίποτα προσεγγίσεων. Στην προσέγγιση αυτή, η οποία είναι η μέθοδος των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων (Method of successive averages – M.S.A.), υπολογίζεται και γίνεται χρήση του μέσου όρου, των τιμών που έχουν προκύψει από τις δύο προηγούμενες προσεγγίσεις. Με την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης, φαίνεται να υπάρχει μία λύση που πλησιάζει την κατάσταση ισορροπίας, αφού ο δείκτης DELTA είναι 25%.

Στην τέταρτη προσέγγιση, που είναι και η προσέγγιση που χρησιμοποιείται από το SATURN, γίνεται χρήση του αλγόριθμου των Frank και Wolfe. Στην περίπτωση αυτή οι λύσεις υπολογίζονται εφαρμόζοντας τον καταμερισμό του Όλα ή Τίποτα. Έτσι, αντί να γίνεται χρήση των μέσων όρων των αποτελεσμάτων του καταμερισμού του Όλα ή Τίποτα, όπως στην προσέγγιση M.S.A., με τον αλγόριθμο των Frank και Wolfe, καθορίζεται και γίνεται χρήση των καλύτερων αναλογιών (τιμή LAMBDA στο μοντέλο του SATURN) των πιο πρόσφατων μετακινήσεων που έχουν προκύψει από τον καταμερισμό του Όλα ή Τίποτα, οι οποίες στη συνέχεια συνδυάζονται με την αναλογία 1-LAMBDA των προηγούμενων φόρτων. Στο παραπάνω παράδειγμα η καλύτερη τιμή του LAMBDA είναι  $LAMBDA = 5/8$ . Με την προσέγγιση αυτή και με την χρήση αποτελεσμάτων, από μόλις δύο εφαρμογές της κατανομής του Όλα ή Τίποτα, υπάρχει κατάσταση απόλυτης ισορροπίας, με την τιμή του δείκτη DELTA να είναι 0%.

Στην πραγματικότητα ωστόσο, θα πρέπει να γίνει εφαρμογή του καταμερισμού του Όλα ή Τίποτα, πολύ περισσότερες από δύο φορές, για να υπάρξει μία κατάσταση, που να πλησιάζει την κατάσταση ισορροπίας. Το πλεονέκτημα της χρήσης του

αλγόριθμοι των Frank και Wolfe, έναντι των άλλων αλγορίθμων για την εύρεση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας, είναι ότι τελικά η εύρεση της λύσης είναι βέβαιη.

Τέλος, όπως έχει ήδη επισημανθεί στο κεφάλαιο 2 και με τη χρήση του αλγόριθμου M.S.A. θα προκύψει λύση της κατάστασης ισορροπίας του δικτύου, αλλά όπως έγινε φανερό και από το πιο πάνω παράδειγμα, με πολύ πιο αργούς ρυθμούς, σε σχέση με τον αλγόριθμο των Frank και Wolfe. Η εφαρμογή του αλγόριθμου M.S.A., επικεντρώνεται κυρίως στην εύρεση της λύσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, όπου η εφαρμογή του αλγορίθμου των Frank και Wolfe είναι αδύνατη.

#### **4.6.3 Καταμερισμός στη Στοχαστική Κατάσταση Ισορροπίας**

Ένας εναλλακτικός ορισμός, από αυτόν της αρχής του Wardrop, της κατάστασης της ισορροπίας στο δίκτυο, είναι και ο ορισμός της στοχαστικής κατάστασης της ισορροπίας, η οποία μπορεί να διατυπωθεί ως εξής (Sheffi, 1985) :

*“Οι διαδρομές που επιλέγονται από τους μετακινούμενους για κάθε ζεύγος προέλευσης-προορισμού στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, δηλαδή σε μία μακροπρόθεσμη κατάσταση, είναι αυτές που ο κάθε μετακινούμενος αντιλαμβάνεται ότι έχουν το μικρότερο κόστος”*

Η διαφορά της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας έναντι της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, έγκειται στο γεγονός ότι στη ντετερμινιστική κατάσταση ισορροπίας, γίνεται η υπόθεση ότι όλοι οι μετακινούμενοι αντιλαμβάνονται το κόστος μετακίνησης με τον ίδιο τρόπο. Αντίθετα, στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας, οι μετακινούμενοι έχουν διαφορετική αντίληψη του κόστους μετακίνησης.

#### **4.6.4 Ο αλγόριθμος Επίλυσης της Στοχαστικής Κατάστασης Ισορροπίας**

Τα στοχαστικά μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση ότι το μέσο κόστος, όπως αυτό καθορίζεται από το μοντέλο, είναι το “σωστό” κόστος. Ωστόσο, ανάλογα με το πως οι μετακινούμενοι αντιλαμβάνονται το μέσο κόστος, υπάρχει μια διακύμανση στην

τιμή του. Επομένως για τον προσδιορισμό του κόστους μιας διαδρομής, αρκεί η τυχαία επιλογή μιας τιμής του κόστους από αυτές που ο κάθε χρήστης ξεχωριστά αντιλαμβάνεται, για κάθε σύνδεσμο του δικτύου. Η πλέον καθιερωμένη μέθοδος εκτίμησης της λύσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, είναι η μέθοδος των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων.

Η μέθοδος της στοχαστικής φόρτωσης των δικτύων (stochastic network loading method – SNL) που χρησιμοποιείται από το SATURN, είναι βασισμένη στον αλγόριθμο του Burrell (1968). Κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell, κάθε σημείο προέλευσης των μετακινήσεων του δικτύου, εξετάζεται κατά σειρά. Για κάθε προορισμό του δικτύου, υπολογίζεται ο αντιλαμβανόμενος χρόνος μετακίνησης στους συνδέσμους με την πραγματοποίηση δειγματοληψίας, χρησιμοποιώντας γεννήτρια τυχαίων αριθμών και μία κατανομή κόστους, η μορφή της οποίας καθορίζεται από το χρήστη, έχοντας ως βάση το μέσο όρο του χρόνου μετακίνησης σε κάθε σύνδεσμο. Στη συνέχεια δημιουργείται το αντίστοιχο δέντρο διαδρομών και το δίκτυο φορτίζεται, μέσω του καταμερισμού του όλα ή τίποτα, με όλες τις μετακινήσεις που πηγάζουν από το εκάστοτε σημείο γένεσης των μετακινήσεων που εξετάζεται. Το δέντρο των διαδρομών, δημιουργείται κάθε φορά με τη χρήση των συνδέσμων που έχουν το μικρότερο αντιλαμβανόμενο κόστος μετακίνησης μεταξύ του κάθε ζεύγους προέλευσης – προορισμού που εξετάζεται. Για την εκτέλεση της  $n + 1$  επανάληψης της μεθόδου, πραγματοποιείται νέα δειγματοληψία, ενώ οι φόρτοι που χρησιμοποιούνται, είναι αυτοί που έχουν υπολογιστεί από την προηγούμενη επανάληψη της μεθόδου. Η διαδικασία αυτή εκτελείται τόσες φορές όσο και το μέγεθος του δείγματος και υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων της. Τα βήματα του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων, όπως αυτά εφαρμόζονται από το υπομοντέλο καταμερισμού του SATURN, μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

**Βήμα 1:** Θέσε το κόστος στους συνδέσμους του δικτύου, ίσο με το κόστος στην κατάσταση ελεύθερης ροής και την τιμή του μετρητή της επανάληψης σε  $n = 0$ .

**Βήμα 2:** Εκτέλεσε μία στοχαστική φόρτιση δικτύου βασισμένη στον αλγόριθμο του Burrell. Παρήγαγε τα τυχαία κόστη στους συνδέσμους του δικτύου και κατένειμε όλες

τις μετακινήσεις στις συντομότερες διαδρομές του δικτύου με τον καταμερισμό του όλα ή τίποτα.

**Βήμα 3:** Υπολόγισε το μέσο όρο των φόρτων  $F_a^{(n)}$  που έχουν παραχθεί στο βήμα 2 με τους προηγούμενους φόρτους, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$V_a^{(n+1)} = (1 - 1/n) V_a^{(n)} + F_a^{(n)} / n$$

Όπου  $V_a^{(n)}$  είναι οι φόρτοι που έχουν υπολογιστεί μετά από  $n$  επαναλήψεις της μεθόδου. Στην πρώτη επανάληψη θα είναι  $V_a^{(1)} = F_a^{(0)}$ .

**Βήμα 4:** Προσάρμοσε το κόστος στους συνδέσμους του δικτύου σύμφωνα με τους φόρτους  $V_a^{(n+1)}$  που έχουν παραχθεί στο βήμα 3.

**Βήμα 5:** Εάν δεν έχει ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού, αύξησε την τιμή  $n$  του μετρητή κατά 1 και επέστρεψε στο βήμα 2.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία σύγκλισης προς τη λύση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας είναι αρκετά πιο χρονοβόρα από την αντίστοιχη διαδικασία σύγκλισης προς τη λύση της ισορροπίας του Wardrop. Επιπροσθέτως υπάρχει και μεγαλύτερη δυσκολία στην αξιολόγηση της εκτιμώμενης λύσης. Επομένως κατά την εκτέλεση της μεθόδου από το SATURN θα πρέπει να οριστεί από το χρήστη ένας σχετικά μεγάλος αριθμός εκτέλεσης των επαναλήψεων του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων., ώστε να διασφαλιστεί ένα υψηλό ποσοστό σύγκλισης της λύσης, προς την πραγματική τιμή της λύσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας.

#### 4.6.5 Επιλογή Κατανομής Κόστους Συνδέσμων

Η κατανομή του κόστους στους συνδέσμους του δικτύου, στο μοντέλο του SATURN, καθορίζεται από το χρήστη μέσω των παραμέτρων KOB και SUET. Ανάλογα με τις τιμές των παραμέτρων KOB και SUET, η κατανομή του κόστους στους συνδέσμους του δικτύου, μπορεί να έχει μία από τις ακόλουθες μορφές:



- i. Ορθογωνική κατανομή, για τιμή της παραμέτρου  $KOB = 0$ , τέτοια ώστε να υπάρχουν ίσες πιθανότητες το κόστος στους συνδέσμους του δικτύου, να βρίσκεται στο διάστημα  $C1$  έως  $C2$ , με το μέσο όρο  $(C1+C2)/2$  να ίσος με το κόστος  $C$  που υπολογίζεται στους συνδέσμους του δικτύου. Μέσω της παραμέτρου  $SUET$ , ορίζεται η μέγιστη διασπορά, έτσι ώστε  $(C2 - C) = (C - C1) = SUET * C$ .
- ii. Μία κανονική κατανομή, για τιμή της παραμέτρου  $KOB = 1$ , της οποίας ο μέσος όρος ισούται με  $C$  και η απόκλιση της με  $SUET * C$ . Δηλαδή η τιμή της παραμέτρου  $SUET$ , αποτελεί το συντελεστή διαφοράς αυτής της κατανομής.
- iii. Μία κανονική κατανομή, για τιμή της παραμέτρου  $KOB = 2$ , της οποίας ο μέσος όρος ισούται με  $C$  και η διαφορά της με  $SUET * C$ . Δηλαδή η τιμή της παραμέτρου  $SUET$ , αποτελεί το συντελεστή απόκλισης αυτής της κατανομής.

#### 4.6.6 Γεννήτρια Τυχαίων Αριθμών

Κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου των επαναλαμβανόμενων μέσων όρων, για την επίλυση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, πραγματοποιείται μία δειγματοληψία από μία κατανομή κόστους, για τον προσδιορισμό του κόστους στους συνδέσμους του δικτύου. Η διαδικασία της δειγματοληψίας, αντιστοιχεί σε μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Στην πραγματικότητα, οι αριθμοί αυτοί δεν είναι τυχαίοι, αλλά υπολογίζονται έχοντας ως βάση μία αρχική τιμή (seed value). Η εξίσωση που χρησιμοποιείται από το μοντέλο του SATURN για τον υπολογισμό του τυχαίου αριθμού  $X^{(n+1)}$  με γνωστή την τιμή του τυχαίου αριθμού  $X^{(n)}$  έχει τη μορφή:

$$X^{(n+1)} = (A + B * X^{(n)}) \text{ mod } C \quad (4.7)$$

Είναι φανερό, ότι η τιμή  $X^{(1)}$  υπολογίζεται από την αρχική τιμή  $X^{(0)}$  (seed value). Επομένως, η γεννήτρια τυχαίων αριθμών, παράγει τους ίδιους αριθμούς όταν έχει ως δεδομένο εισόδου την ίδια αρχική τιμή. Η αρχική τιμή της γεννήτριας τυχαίων αριθμών στο μοντέλο του SATURN, ορίζεται από την παράμετρο  $KORN$ .

#### 4.6.7 Ορισμός του Κόστος

Κατά την εκτέλεση του υπομοντέλου καταμερισμού του SATURN, γίνεται η υπόθεση ότι οι μετακινούμενοι επιλέγουν τέτοιες διαδρομές, ώστε να ελαχιστοποιήσουν το κόστος μετακίνησής τους. Το κόστος μετακίνησης στο μοντέλο του SATURN, εκφράζεται σε μονάδες γενικευμένου κόστους και είναι ένας γραμμικός συνδυασμός του χρόνου και της απόστασης. Επομένως, το γενικευμένο κόστος  $C$  έχει τη μορφή:

$$C = PPM * T + PPK * D \quad (4.8)$$

Όπου

$C$  είναι το γενικευμένο κόστος,

$T$  χρόνος σε λεπτά,

$D$  η απόσταση σε χιλιόμετρα,

$PPM$  η αξία του χρόνου που ορίζεται από το χρήστη και σε cents ανά λεπτό και

$PPK$  η αξία της απόστασης που ορίζεται από το χρήστη σε cents ανά χιλιόμετρο.

Το είδος του γενικευμένου κόστους, καθορίζεται από το χρήστη με τις τιμές των παραμέτρων  $PPM$  και  $PPK$ . Οι εξ' ορισμού τιμές των δύο αυτών παραμέτρων είναι  $PPM = 1.0$  και  $PPK = 0.0$ , το οποίο εξισώνει το γενικευμένο κόστος με το χρόνο.

#### 4.7 Δείκτες Σύγκλισης

Ο τερματισμός της διαδικασίας του καταμερισμού στο δίκτυο, ελέγχεται από διαφορετικούς κανόνες, όπως για παράδειγμα από το μέγιστο αριθμό των επιτρεπόμενων επαναλήψεων (NITA) του αλγόριθμου των Frank και Wolfe, κανόνας ο οποίος καθορίζεται από τον χρήστη.

Ακόμα, κατά την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN, παράγονται δείκτες, οι οποίοι εκφράζουν την επιτυχία της εφαρμογής του αλγόριθμου που χρησιμοποιείται και το κατά πόσο και αν το υπό μελέτη σύστημα συγκλίνει προς ισορροπία. Οι

δείκτες αυτοί αποτελούν, όπως και ο NITA, κανόνες για τον τερματισμό της διαδικασίας των επαναλήψεων του εκάστοτε αλγόριθμου.

Ένας τέτοιος δείκτης, που παράγεται κατά την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN, είναι ο δείκτης DELTA, που αναφέρθηκε στην ανάλυση του παραδείγματος της προηγούμενης ενότητας. Ο δείκτης DELTA, θα έπαιρνε την τιμή μηδέν,  $DELTA = 0$  σε μία κατάσταση όπου θα υπήρχε απόλυτη ισορροπία. Ενώ ο δείκτης DELTA χρησιμοποιήθηκε στο παραπάνω παράδειγμα για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής διαφορετικών αλγόριθμων, για την επίτευξη της κατάστασης ισορροπίας, στην πραγματικότητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του ίδιου αλγόριθμου, αλλά με διαφορετική παραμετροποίηση, όπως για παράδειγμα διαφορετικό αριθμό NITA.

Ένας άλλος δείκτης που παράγεται κατά την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN, είναι ο δείκτης ελαχιστοποίησης  $Z$  και σχετίζεται με το αντικείμενο της συνάρτησης ελαχιστοποίησης. Το ισοδύναμο της λύσης της κατάστασης ισορροπίας, είναι η εύρεση της μικρότερης τιμής του δείκτη  $Z$ , εφόσον ο δείκτης  $Z$  αποτελεί συνάρτηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου. Οι στατιστικές που υπολογίζονται και αναφέρονται στο δείκτη  $Z$ , αποτελούν εκτίμηση του κατά πόσο η εκάστοτε λύση της ισορροπίας συγκλίνει με την ελάχιστη τιμή του  $Z$ .

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί, ότι ο τερματισμός της διαδικασίας του καταμερισμού, επιτυγχάνεται με την ικανοποίηση οποιουδήποτε από τους κανόνες που προαναφέρθηκαν.

#### **4.8 Επιλογή μοντέλου Καταμερισμού**

Κατά την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN, θα πρέπει να καθοριστεί από τον χρήστη πιο μοντέλο καταμερισμού θα εφαρμοστεί και αν τελικά το σύστημα θα καταλήξει σε ντετερμινιστική ή στοχαστική κατάσταση ισορροπίας.

Η επιλογή του μοντέλου καταμερισμού στο δίκτυο, καθορίζεται κυρίως από το επίπεδο της κυκλοφοριακής συμφόρησης στο δίκτυο που πρόκειται να εφαρμοστεί.

Σε ένα δίκτυο χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση όπου το κόστος μετακίνησης είναι προκαθορισμένο, επιλέγεται η εφαρμογή ενός στοχαστικού μοντέλου. Ωστόσο, στην περίπτωση όπου η κυκλοφοριακή συμφόρηση του δικτύου αυξάνει, θα πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ της εφαρμογής ενός στοχαστικού ή ντετερμινιστικού μοντέλου. Σε δίκτυα με χαμηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, ενδείκνυται η εφαρμογή ενός στοχαστικού μοντέλου. Αντίθετα σε δίκτυα με υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι προτιμότερο να αγνοηθούν τα στοχαστικά φαινόμενα και να εφαρμοστεί ένα ντετερμινιστικό μοντέλο.

Επομένως για την εφαρμογή ενός κατάλληλου μοντέλου καταμερισμού, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του επιπέδου της κυκλοφοριακής συμφόρησης στο δίκτυο. Ένας δείκτης προσδιορισμού του επιπέδου της κυκλοφοριακής συμφόρησης, είναι η αναλογία του μέσου χρόνου μετακίνησης υπό τις συνθήκες της κυκλοφοριακής συμφόρησης, προς το χρόνο μετακίνησης στην κατάσταση ελεύθερης ροής. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται ως δείκτης EPSILON-2 στο μοντέλο του SATURN. Ισχύει ο γενικός κανόνας, ότι αν ο δείκτης έχει τιμή μεταξύ 0 και 25 % , ενδείκνυται η εφαρμογή ενός στοχαστικού μοντέλου. Αν ο δείκτης έχει τιμή μεγαλύτερη από 25 % η εφαρμογή ενός ντετερμινιστικού μοντέλου είναι καταλληλότερη. Ιδεατά σε περίπτωση όπου υπάρχει αμφιβολία, δύο ή περισσότερα μοντέλα θα πρέπει να εφαρμοστούν ώστε να προσδιοριστεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην υπόθεση που έχει γίνει.

#### **4.9 Το Υπομοντέλο Προσομοίωσης του SATURN**

Η βασική λειτουργία του υπομοντέλου προσομοίωσης είναι ο υπολογισμός των καθυστερήσεων, που προκύπτουν από τις διαδρομές που έχουν επιλεγεί από τους χρήστες του δικτύου για τις μετακινήσεις τους, δηλαδή από το αποτέλεσμα της εφαρμογής του υπομοντέλου καταμερισμού. Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφούν τα βήματα της διαδικασίας προσομοίωσης του SATURN.

#### 4.9.1 Προφίλ Κυκλοφοριακών Φόρτων

Κατά τη μοντελοποίηση της κίνησης των οχημάτων, θα πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ του επιπέδου της λεπτομέρειας και της διάρκειας εφαρμογής της μοντελοποίησης. Πιο συγκεκριμένα καθώς το υπομοντέλο προσομοίωσης θα πρέπει να εκτελεστεί σε μεγάλης διάρκειας χρονικά διαστήματα, για την πραγματοποίηση μιας πλήρους εφαρμογής του, η μοντελοποίηση των οχημάτων σε επίπεδο λεπτομέρειας μεμονωμένων οχημάτων, θα είχε ως αποτέλεσμα την απαγορευτική αύξηση του χρόνου εφαρμογής του μοντέλου. Ακόμα θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η πύκνωση και η αραιώση των οχημάτων που δημιουργείται στους κόμβους, αλλά και στους συνδέσμους μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

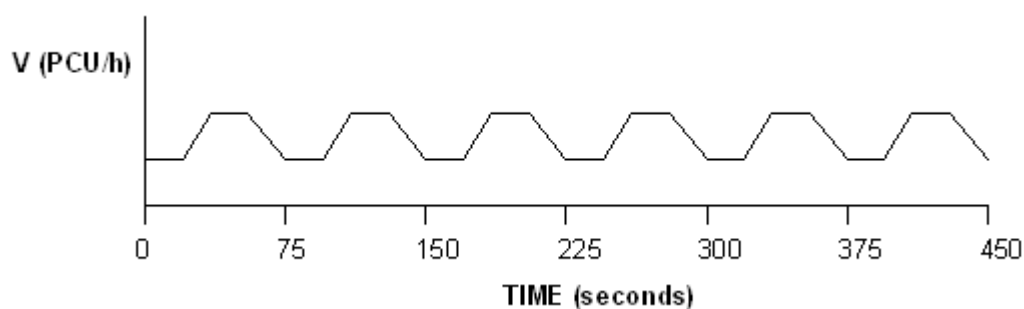
Θα πρέπει να επισημανθεί, ότι η μοντελοποίηση σε επίπεδο λεπτομέρειας μεμονωμένων οχημάτων, λόγω της αυξανόμενης υπολογιστικής ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων, δεν καταλήγει σε αύξηση του χρόνου εφαρμογής του μοντέλου και επομένως δεν αποτελεί πλέον πρόβλημα που θα πρέπει να απασχολεί τους χρήστες.

Για την αναπαράσταση της αραιώσης και πύκνωσης των οχημάτων, χωρίς τη χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης σε επίπεδο λεπτομέρειας μεμονωμένων οχημάτων, γίνεται από το SATURN χρήση των προφίλ κυκλοφοριακών φόρτων. Κύριο στοιχείο της μεθόδου αυτής, αποτελεί το προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων, δηλαδή ο φόρτος των μετακινήσεων κοντά σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου, ο οποίος εμφανίζει μία περιοδικότητα ως συνάρτηση του χρόνου.

Μία βασική υπόθεση που γίνεται στο SATURN, είναι ότι τα προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων είναι συνεχή κατά τη διάρκεια της περιόδου που μοντελοποιείται η οποία εξ' ορισμού είναι διάρκειας 30 λεπτών. Η διάρκεια της περιόδου εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης, μπορεί να ελεγχθεί μέσω της παραμέτρου LTP του μοντέλου του SATURN.

Στο σημείο αυτό, θεωρείται απαραίτητη η παράθεση ενός παραδείγματος για την περαιτέρω κατανόηση των προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων. Έστω ένας σύνδεσμος κίνησης των οχημάτων που καταλήγει σε κόμβο ο οποίος ελέγχεται από

φωτεινή σηματοδότηση. Επίσης, ο κύκλος της φωτεινής σηματοδότησης είναι της τάξης των 75 δευτερολέπτων. Σε αυτή την περίπτωση, στο συγκεκριμένο κόμβο, θα παρατηρηθεί ένα προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5:

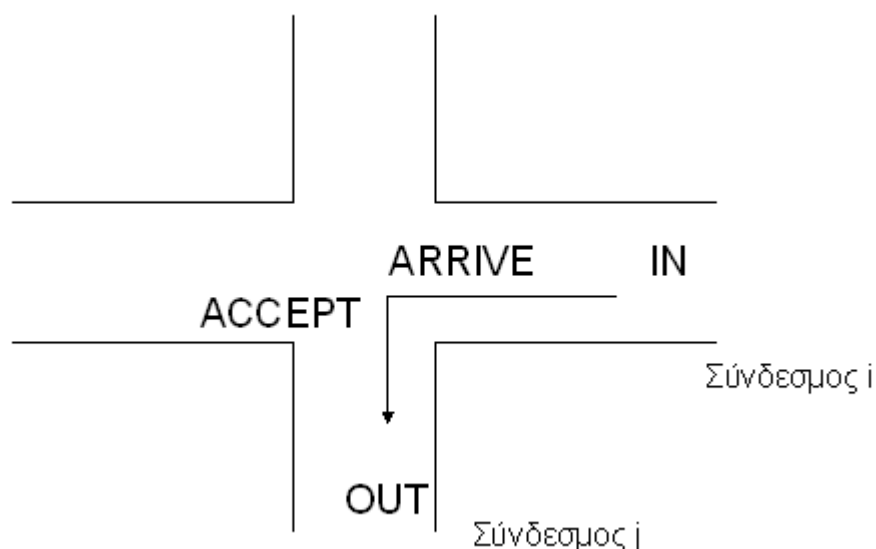


**Σχήμα 4. 5:** Προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων

Παρατηρείται, ότι το προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων του συγκεκριμένου παραδείγματος αποτελείται από επαναλαμβανόμενα μέρη κυματοειδούς μορφής, που αντιστοιχούν στην περίοδο της πράσινης φωτεινής ένδειξης του φωτεινού σηματοδότη. Επίσης παρατηρούνται και οι χρονικοί περίοδοι της κόκκινης φωτεινής ένδειξης, όπου η ροή των οχημάτων είναι η ελάχιστη. Κάθε προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων της τάξης των 75 δευτερολέπτων θα είναι πανομοιότυπο με όλα τα άλλα, καθ' όλη τη διάρκεια των 30 λεπτών της εφαρμογής του μοντέλου προσομοίωσης. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την εφαρμογή του υπομοντέλου προσομοίωσης για ένα μόνο κύκλο της τάξης των 75 δευτερολέπτων, αντί των 30 λεπτών που είχε οριστεί αρχικά, δίνοντας τα ίδια αποτελέσματα. Το μέγεθος της χρονικής διάρκειας του κάθε κύκλου, ελέγχεται στο μοντέλο του SATURN, από την παράμετρο LCY.

Για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων στο SATURN, κάθε κύκλος διαιρείται σε μονάδες χρόνου (το μέγεθος των οποίων ελέγχεται από την παράμετρο NUC στο SATURN), συνήθως σε 10 ή 20, έτσι ώστε ένα προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων να μπορεί να αναπαρασταθεί στον ηλεκτρονικό υπολογιστή σαν μία σειρά τα στοιχεία της οποίας αναπαριστούν την κίνηση των οχημάτων σε κάθε χρονική μονάδα.

Τα προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων στο SATURN είναι βασισμένα στις στρέφουσες κινήσεις των οχημάτων, επομένως καθίσταται δυνατή η αναπαράσταση απαγορευμένων κινήσεων ή και στρεφουσών κινήσεων σε κόμβους με φωτεινή σηματοδότηση. Κάθε στρέφουσα κίνηση από το σύνδεσμο  $i$  προς τον σύνδεσμο  $j$ , αναπαρίσταται από τέσσερα προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. 4.6:



**Σχήμα 4. 6:** Αναπαράσταση στρέφουσας κίνησης με χρήση προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων

Τα προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων που συνδέονται με το σχήμα 4.5 για τη στρέφουσα κίνηση από το σύνδεσμο  $i$  στο σύνδεσμο  $j$  είναι:

1. Προφίλ εισερχόμενων φόρτων (IN pattern), το προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων ανάντι του συνδέσμου  $i$ .
- Προφίλ αφικνυόμενων φόρτων (ARRIVE pattern), το προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων κατάντι του συνδέσμου  $i$ .
- Προφίλ αποδεκτών φόρτων (ACCEPT pattern), το προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων που πραγματοποιεί τη στρέφουσα κίνηση
- Προφίλ εξερχόμενων φόρτων (OUT pattern), το προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων ανάντι του συνδέσμου  $j$ .

Τα προφίλ φόρτων συνδέονται μεταξύ τους ως εξής:

- Το προφίλ αφικνυόμενων φόρτων προέρχεται από το προφίλ εισερχόμενων φόρτων.
- Το προφίλ αποδεκτών φόρτων δημιουργείται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα και εξαρτάται από τη χωρητικότητα των συνδέσμων και κόμβων, από τη διάρκεια της ένδειξης της φωτεινής σηματοδότησης στους κόμβους και από την επικαλυπτόμενη κίνηση των οχημάτων.
- Το προφίλ εξερχόμενων φόρτων, μιας στρέφουσας κίνησης βασίζεται στα προφίλ άφιξης και αποδοχής φόρτων, και συνεισφέρει στο συνολικό προφίλ εισερχόμενων φόρτων με το σύνολο των στρεφουσών κινήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί.

Στην πραγματικότητα δημιουργείται και ένα πέμπτο προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων το προφίλ φόρτων προς αναμονή, με το οποίο αναπαρίστανται τα οχήματα που βρίσκονται σε αναμονή σε οποιοδήποτε χρονικό σημείο του κύκλου.

Η συνέχεια των προφίλ κυκλικών κυκλοφοριακών φόρτων κατά την κίνηση των οχημάτων μέσα στο δίκτυο επιτυγχάνεται, καθώς τα προφίλ εξερχόμενων φόρτων ενός κόμβου αποτελούν τα προφίλ εισερχόμενων φόρτων του επόμενου κόμβου.

#### **4.9.2 Εσωτερική Σύγκλιση προσομοίωσης**

Κατά την εκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης, υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μετακινούμενων, όταν τα ρεύματα κίνησης τους συναντώνται. Για παράδειγμα σε έναν απλό κόμβο τύπου “σταυρού”, οι στρέφουσες προς τα αριστερά κινήσεις περιορίζονται από την κίνηση των οχημάτων του αντίθετου ρεύματος των οποίων η κίνηση μπορεί να περιορίζεται από την κίνηση των προπορευόμενων οχημάτων. Κατά την εκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης, δεν μοντελοποιείται λεπτομερώς η παραπάνω κατάσταση ή η οποιαδήποτε παρόμοια κατάσταση, αλλά ο



ίδιος κύκλος προσομοιώνεται συνεχώς, ώστε τα προφίλ αποδεκτών φόρτων του κόμβου ( $n$ ) να προκύπτουν από τις κινήσεις των οχημάτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους στον κόμβο ( $n - 1$ ). Η σύγκλιση, θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί, όταν όλα τα προφίλ εξερχόμενων φόρτων παραμένουν αμετάβλητα κατά την εκτέλεση περαιτέρω επαναλήψεων.

Η παράμετρος που χρησιμοποιείται από το υπομοντέλο προσομοίωσης για τον έλεγχο της σύγκλισης είναι η μέση μεταβολή σε επίπεδο λεπτομέρειας μεμονωμένων οχημάτων όλων των προφίλ εξερχόμενων φόρτων, η οποία εκφράζεται σε οχήματα ανά ώρα. Θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί σύγκλιση, όταν η παραπάνω τιμή είναι σχετικά μικρή ή όταν έχει ικανοποιηθεί ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων, που ελέγχεται από την παράμετρο NITS στο μοντέλο του SATURN.

Η σύγκλιση του υπομοντέλου προσομοίωσης, απορρέει από τις αλληλεπιδράσεις τόσο των οχημάτων μεταξύ των κόμβων, αλλά και εσωτερικά των κόμβων. Η σύγκλιση από τις αλληλεπιδράσεις των οχημάτων μεταξύ των κόμβων, απορρέει καθώς τα προφίλ εισερχόμενων φόρτων του κάθε κόμβου επηρεάζονται από τα προφίλ εξερχόμενων φόρτων του προηγούμενου κόμβου. Η σύγκλιση από τις αλληλεπιδράσεις των οχημάτων εσωτερικά των κόμβων απορρέει, καθώς τα προφίλ εξερχόμενων φόρτων μιας στρέφουσας κίνησης μπορούν να επηρεάσουν τα προφίλ αποδοχής φόρτων άλλων στρεφουσών κινήσεων του ίδιου κόμβου.

#### **4.10 Καθυστερήσεις κατά την προσομοίωση και καμπύλες φόρτου - χρόνου**

Με τον υπολογισμό των προφίλ φόρτων για κάθε στρέφουσα κίνηση, με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός του προφίλ φόρτων προς αναμονή, ώστε να προσδιοριστεί η μέση καθυστέρηση του κάθε οχήματος. Επιπροσθέτως, για κάθε στρέφουσα κίνηση υπολογίζεται και η καμπύλη φόρτου - χρόνου, με την οποία προσδιορίζεται η σχέση της καθυστέρησης της στρέφουσας κίνησης με τους φόρτους. Οι καμπύλες φόρτου - χρόνου αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την εκτέλεση του υπομοντέλου καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο, εφόσον στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή του.

Η εξίσωση για τη εκτίμηση της καμπύλης φόρτου – χρόνου στο μοντέλο του SATURN έχει την παρακάτω μορφή:

$$t = t_0 + av^n \quad (v \leq c) \quad (4.9.α)$$

$$t = t_0 + ac^n + b[(v/c) - 1] \quad (v \geq c) \quad (4.9.β)$$

Όπου,

$t_0$  είναι ο χρόνος μετακίνησης σε συνθήκες ελεύθερης ροής,

$c$  είναι η χωρητικότητα του συνδέσμου και τα

$b$  υπολογίζεται συνεχώς από το πρόγραμμα του SATURN. και είναι ίσο με το μισό της διάρκειας της περιόδου εφαρμογής του μοντέλου.

$a$  υπολογίζεται με βάση τους χρόνους ελεύθερης ροής και τους χρόνους στην κατάσταση κορεσμού.

Όσον αφορά τις στρέφουσες κινήσεις, ο υπολογισμός των  $a$  και  $n$  πραγματοποιείται με τη χρήση των καθυστερήσεων στις καταστάσεις

- μηδενικού φόρτου,
- πραγματικού φόρτου και
- του φόρτου στην κατάσταση κορεσμού.

#### **4.11 Επαναλήψεις Καταμερισμού - Προσομοίωσης**

Εκτός από τις επαναλήψεις που έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες ενότητες για το υπομοντέλο του καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο και του υπομοντέλου προσομοίωσης που θα μπορούσαν να περιγραφούν ως “εσωτερικές” επαναλήψεις, κατά τη εκτέλεση του μοντέλου του SATURN υπάρχουν και οι λεγόμενες

“εξωτερικές” επαναλήψεις, μεταξύ του υπομοντέλου καταμερισμού των φόρτων και του υπομοντέλου προσομοίωσης. Για την περιγραφή των επαναλήψεων αυτών, χρησιμοποιείται ο όρος επαναλήψεις καταμερισμού – προσομοίωσης. Οι επαναλήψεις καταμερισμού - προσομοίωσης είναι πολύ σημαντικές για την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN. Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την αναπαράσταση των στρεφουσών κινήσεων στο δίκτυο, χρησιμοποιείται από το μοντέλο καταμερισμού των φόρτων, μία αναλυτική απεικόνιση του δικτύου, ώστε κάθε στρέφουσα κίνηση να αναπαρίσταται με ένα σύνδεσμο με την αντίστοιχη καμπύλη φόρτου – χρόνου. Ωστόσο, για τον υπολογισμό της καμπύλης φόρτου – χρόνου σε κάθε σύνδεσμο, είναι απαραίτητη η προηγούμενη εκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης. Ενώ για την εκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης θα πρέπει να έχει υπολογιστεί μία προσεγγιστική τιμή των φόρτων στους κόμβους του δικτύου, δηλαδή να είναι γνωστές οι διαδρομές που θα επιλέξουν οι μετακινούμενοι, για την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους. Έτσι λοιπόν για την εκτέλεση του υπομοντέλου καταμερισμού των φόρτων είναι απαραίτητη η προηγούμενη εκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης και για την εκτέλεση του υπομοντέλου προσομοίωσης, είναι απαραίτητη η προηγούμενη εκτέλεση του υπομοντέλου καταμερισμού των φόρτων. Η πρακτική αντιμετώπισης από το SATURN του παραπάνω προβλήματος είναι εφαρμογή πρώτα του υπομοντέλου καταμερισμού των φόρτων και στη συνέχεια του υπομοντέλου προσομοίωσης, συνεχόμενα, μέχρι το σύστημα να καταλήξει σε μία σταθερή κατάσταση.

Η βαρύτητα αυτών των επαναλήψεων, οφείλεται στο γεγονός, ότι οι καμπύλες φόρτου – χρόνου που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου σε κάθε εφαρμογή του καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο, αποτελούν στην πραγματικότητα προσεγγίσεις, αφού αγνοούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συνδέσμων για τον προσδιορισμό των καθυστερήσεων. Για την περαιτέρω κατανόηση της προηγούμενης πρότασης, παρατίθεται ένα απλό παράδειγμα.

Έστω ένας κόμβος τύπου “T” (τριών κλάδων). Σε αυτόν τον κόμβο, οι καθυστερήσεις στους δευτερεύοντες συνδέσμους, θα εξαρτώνται τόσο από τους φόρτους στους δευτερεύοντες συνδέσμους όσο και σε αυτούς στον πρωτεύοντα σύνδεσμο. Ωστόσο κατά τον υπολογισμό της καμπύλης φόρτου – χρόνου από το υπομοντέλο προσομοίωσης, λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο η επίδραση των φόρτων στους

δευτερεύοντες συνδέσμους, με την υπόθεση ότι οι φόρτοι του πρωτεύοντα συνδέσμου είναι προκαθορισμένοι καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας καταμερισμού. Αν οι φόρτοι παραμείνουν σταθεροί για δύο επαναλήψεις της διαδικασίας του καταμερισμού, τότε η υπόθεση που έχει γίνει, θεωρείται σωστή. Σε αντίθετη περίπτωση, οι διαδρομές που έχουν παραχθεί από την εφαρμογή της διαδικασίας του καταμερισμού, θεωρούνται, σε μεγάλο ή μικρό βαθμό ασυνεπής με τις καθυστερήσεις που έχουν υπολογιστεί.

Επομένως, κατά την εκτέλεση του SATURN, υπάρχει μία συνεχής επανάληψη στην εφαρμογή των υπομοντέλων καταμερισμού και προσομοίωσης ώστε να εξασφαλιστεί η σταθεροποίηση των φόρτων στο δίκτυο. Η παράμετρος ελέγχου του ρυθμού της σύγκλισης, η οποία ονομάζεται ISTOP στο μοντέλο του SATURN, είναι η διακύμανση των φόρτων στους συνδέσμους του δικτύου, να μην ξεπερνά το 5% μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων. Όταν η παράμετρος ISTOP ικανοποιηθεί, κρίνεται ότι η διαδικασία έχει καταλήξει σε σύγκλιση, σε ικανοποιητικό βαθμό.

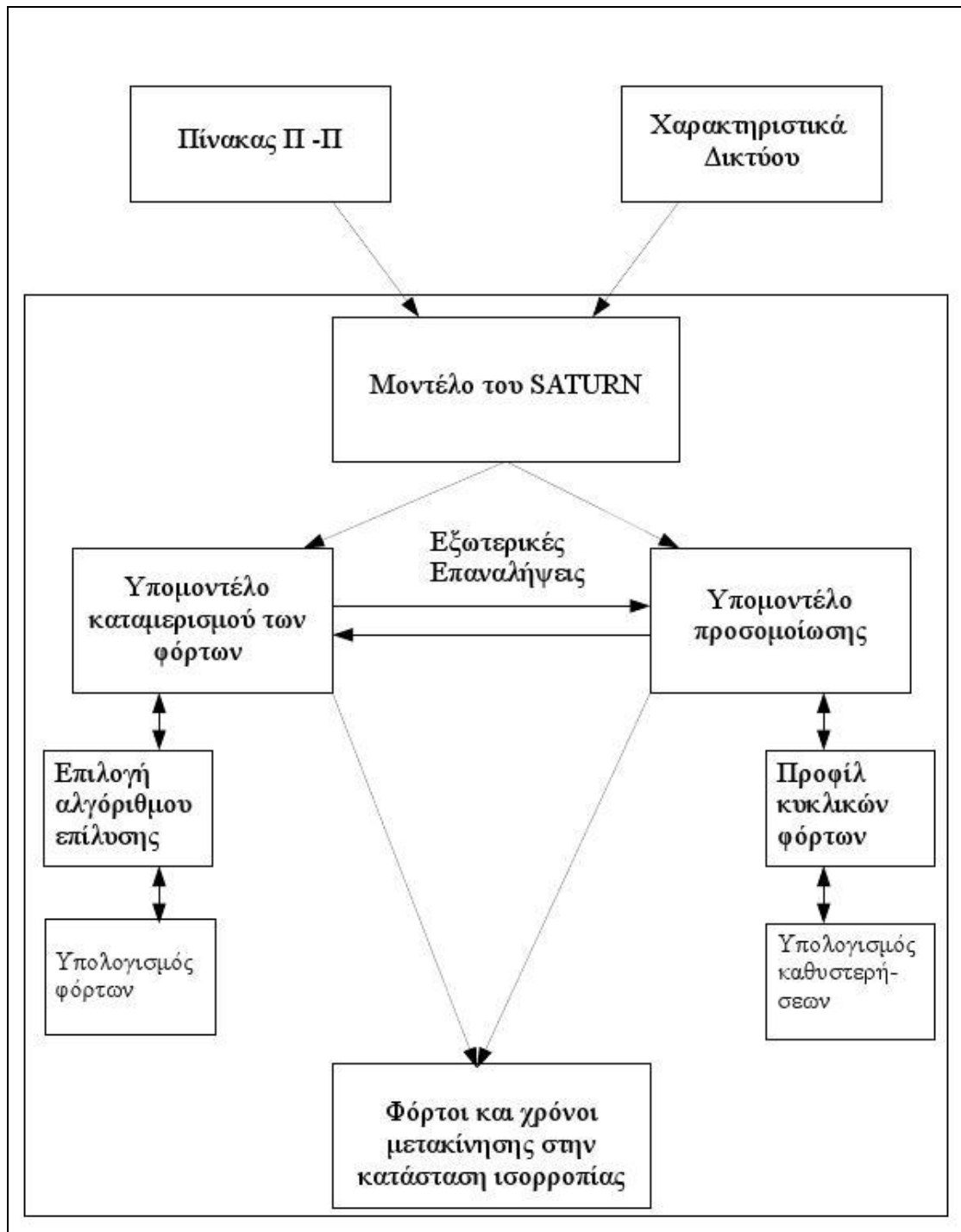
Θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί εκ των προτέρων αν η μέθοδος που περιγράφηκε θα καταλήξει σε σύγκλιση. Ωστόσο, στο μοντέλο του SATURN υπάρχουν παράμετροι, όπως οι DIDDLE και KOMBI που μπορούν να οδηγήσουν σε σύγκλιση της διαδικασίας

Τα στάδια της διαδικασίας υπολογισμού των φόρτων και των χρόνων μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου στην κατάσταση ισορροπίας, όπως περιγράφηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, κατά την εφαρμογή του μοντέλου του SATURN, είναι τα εξής:

- Αρχικά εισάγονται τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο του SATURN, τα οποία είναι ένας πίνακας προέλευσης – προορισμού, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά του δικτύου.
- Στη συνέχεια, εκτελείται το υπομοντέλο καταμερισμού των φόρτων του SATURN και υπολογίζονται οι φόρτοι στους συνδέσμους του δικτύου. Οι φόρτοι αυτοί, αποτελούν δεδομένο εισόδου για το υπομοντέλο προσομοίωσης.

- Έχοντας ως δεδομένα εισόδου τους φόρτους στους συνδέσμους του δικτύου, εκτελείται το υπομοντέλο προσομοίωσης ώστε να υπολογιστούν οι χρόνοι μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου.
- Η εκτέλεση των υπομοντέλων καταμερισμού των φόρτων και προσομοίωσης, συνεχίζεται έως ότου ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού της εφαρμογής του μοντέλου.
- Τα δεδομένα εξόδου της παραπάνω διαδικασίας, αποτελούν τους φόρτους και τους χρόνους μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου στην κατάσταση ισορροπίας.

Μια γραφική αναπαράσταση της παραπάνω διαδικασίας δίνεται στο σχήμα 4.7



Σχήμα 4. 7: Γραφική αναπαράσταση της λύσης της κατάστασης ισορροπίας από το μοντέλο του SATURN

## 5.ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ SATURN

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των εφαρμογών που συνθέτουν το μοντέλο του SATURN. Αρχικά γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των εφαρμογών και των λειτουργιών τους, ενώ στη συνέχεια εφαρμόζεται το μοντέλο του SATURN σε απλά κοινωνιακά δίκτυα για την περαιτέρω κατανόηση των εφαρμογών του SATURN και των λειτουργιών τους.

### 5.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο του SATURN (Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks) αποτελείται από ένα πακέτο προγραμμάτων ανάλυσης κοινωνιακών δικτύων. Αναπτύσσεται από το Ινστιτούτο Κοινωνιακών Σπουδών του πανεπιστημίου του Leeds, ενώ διατίθεται για εμπορική χρήση από το 1981. Έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να καλύψει έξι βασικές λειτουργίες. Επομένως παρέχεται η δυνατότητα χρήσης του SATURN ως:

1. Συνδυαστικό μοντέλο προσομοίωσης και καταμερισμού στο δίκτυο, για την ανάλυση κοινωνιακών δικτύων που αποτελούνται από 100 έως 1000 κόμβους.
2. Μακροσκοπικό μοντέλο καταμερισμού δίκτυο για την ανάλυση μεγάλων σε μέγεθος δικτύων. Το ανώτατο όριο του μεγέθους αυτών των δικτύων περιορίζεται στους 37500 κόμβους.
3. Μοντέλο προσομοίωσης και ανάλυσης μεμονωμένων κόμβων.
4. Σύστημα επεξεργασίας και ανάλυσης δικτύων
5. Σύστημα δημιουργίας, επεξεργασίας και ανάλυσης πινάκων προέλευσης – προορισμού.

6. Μοντέλο διαχείρισης της ζήτησης για μετακίνηση.

## 5.2 Παρουσίαση των Προγραμμάτων του Μοντέλου του SATURN

Τα βασικά προγράμματα του μοντέλου του SATURN είναι οχτώ. Από τα οχτώ αυτά προγράμματα, τρία σχετίζονται με τη φόρτιση του δικτύου, ενώ τα υπόλοιπα πέντε αποτελούν κυρίως εργαλεία για την ανάλυση του δικτύου και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Τα προγράμματα που σχετίζονται με τη φόρτιση του δικτύου είναι τα *MXM1*, *SATNET* και *SATALL*. Τα προγράμματα που σχετίζονται με την ανάλυση του δικτύου είναι τα *MX*, *SATED*, *SATLOOK*, *SATDB* και *PIX*. Στη συνέχεια ακολουθεί μία πιο λεπτομερής ανάλυση των προγραμμάτων και των λειτουργιών τους:

### Προγράμματα Φόρτισης Δικτύου

- **MXM1:** Πρόγραμμα επεξεργασίας του πίνακα προέλευσης - προορισμού. Τα στοιχεία του πίνακα προέλευσης - προορισμού που εισάγονται από το χρήστη, ελέγχονται από το *MXM1* και στη συνέχεια μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή, ώστε να είναι προσπελάσιμα από το *SATALL*.
- **SATNET:** Πρόγραμμα επεξεργασίας του δικτύου. Τα στοιχεία του δικτύου που εισάγονται από το χρήστη, ελέγχονται από το *SATNET* και στη συνέχεια μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή, ώστε να είναι προσπελάσιμα από το *SATALL*.
- **SATALL:** Αποτελεί ένα συνδυασμό προσομοίωσης του δικτύου, καθώς επίσης και καταμερισμού στο δίκτυο. Δεδομένα εισόδου του *SATALL* αποτελούν τα επεξεργασμένα από το *MXM1* στοιχεία του πίνακα προέλευσης - προορισμού, όπως και τα επεξεργασμένα από το *SATNET* στοιχεία του δικτύου. Κατά την εκτέλεση του *SATALL* κατανέμονται οι φόρτοι στις πιθανές διαδρομές του δικτύου, ενώ παράλληλα προσομοιώνονται οι παραγόμενες καθυστερήσεις.



## Προγράμματα Ανάλυσης

- **MX:** Πρόκειται για το πρόγραμμα ανάλυσης των δεδομένων του πίνακα προέλευσης - προορισμού. Η χρήση του MX επιτρέπει τη διαχείριση και την επεξεργασία τόσο των προς εισαγωγή δεδομένων, όσο και των δεδομένων που προκύπτουν κατά την εκτέλεση του προγράμματος MXM1.
- **SATED:** Πρόγραμμα ανάλυσης και επεξεργασίας του δικτύου. Η χρήση του SATED επιτρέπει την προσομοίωση συγκεκριμένων περιοχών του δικτύου, που έχουν απομονωθεί για περαιτέρω ανάλυση, διόρθωση σφαλμάτων και εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.
- **SATLOOK:** Πρόκειται για ένα αριθμητικό πρόγραμμα ανάλυσης. Δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς αριθμητικής περιγραφής των συνθηκών του δικτύου και των μετακινήσεων μέσα στο δίκτυο. Μέσω του SATLOOK παράγονται επίσης και μία σειρά αριθμητικών δεδομένων που μπορούν να αποθηκευτούν για περαιτέρω ανάλυση ή εκτύπωση.
- **SATDB:** Πρόκειται για πρόγραμμα ανάλυσης των δεδομένων του δικτύου. Με τη χρήση του SATDB δίνεται η δυνατότητα λεπτομερούς διαχείρισης των προς εισαγωγή δεδομένων στο SATNET, όπως επίσης και η διαχείριση των δεδομένων που παράγονται κατά την εκτέλεσή του.
- **PIX:** Πρόκειται για πρόγραμμα ανάλυσης και σχεδιασμού δικτύων. Με την εξέλιξη του SATURN, στο PIX έχουν ενσωματωθεί όλες οι λειτουργίες των προγραμμάτων ανάλυσης SATED, SATLOOK και SATDB.

Στο μοντέλο του SATURN, εκτός από τα οχτώ κύρια προγράμματα που προαναφέρθηκαν υπάρχουν και επτά δευτερεύοντα προγράμματα που είναι τα *SATCH*, *SATOFF*, *SATME2*, *DALOOK*, *DACHEX*, *DADUMP* και *DALOAD*. Στη συνέχεια ακολουθεί μία πιο λεπτομερής ανάλυση των προγραμμάτων και των λειτουργιών τους:

## Δευτερεύοντα Προγράμματα

- **SATCH:** Η χρήση του SATCH, επιτρέπει την απομόνωση συγκεκριμένων περιοχών του δικτύου. Οι πίνακες προέλευσης - προορισμού που αντιστοιχούν στην περιοχή που έχει απομονωθεί, παράγονται κατά την εκτέλεση του SATCH. Προϋπόθεση για την εκτέλεση του SATCH είναι η εκτέλεση του προγράμματος SATALL, εφόσον χρειάζονται όλες οι πιθανές διαδρομές του δικτύου που έχει απομονωθεί, ώστε να προσδιοριστούν τα σημεία εισόδου του και να παραχθεί ο αντίστοιχος πίνακας προέλευσης - προορισμού.
- **SATOFF:** Πρόκειται για ένα πρόγραμμα υπολογισμού διάρκειας ενδείξεων της φωτεινής σηματοδότησης, σε κόμβους που ελέγχονται από φωτεινή σηματοδότηση. Με τη χρήση του SATOFF επιτυγχάνονται οι ελάχιστες καθυστερήσεις των οχημάτων που προκύπτουν λόγω της φωτεινής σηματοδότησης. Τόσο το πρόγραμμα SATCH όσο και το SATOFF περιέχονται στο πρόγραμμα ανάλυσης PIX.
- **DATLOOK/ DACHEX:** Πρόκειται για προγράμματα που αποτελούν εργαλεία για τους προγραμματιστές. Η χρήση τους επιτρέπει τη σύγκριση των στοιχείων αρχείων που έχουν δυαδική μορφή.
- **DADUMP/DALOAD:** Με τη χρήση των δύο αυτών προγραμμάτων παρέχεται η δυνατότητα μεταφοράς και ανταλλαγής αρχείων που έχουν δυαδική μορφή μεταξύ συστημάτων με διαφορετικές αρχιτεκτονικές.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα προγράμματα του πακέτου προγραμμάτων του SATURN με τις λειτουργίες που εκτελούν:

<b>Πρόγραμμα</b>	<b>Λειτουργία</b>
SATNET	Δόμηση Δικτύου
MXM1	Δόμηση Πίνακα Προέλευσης-Προορισμού
SATALL	Καταμερισμός και Προσομοίωση Φόρτων
P1X, SATLOOK, SATED	Προγράμματα Ανάλυσης
SATDB	Πρόγραμμα της Βάσης Δεδομένων
MX	Διαχείριση Πίνακα Προέλευσης-Προορισμού
SATCH, SATOFF, SATME2	Προγράμματα Εργαλεία
DUMP, DATALOAD, DACHEX, DALOOK	Βοηθητικά Προγράμματα

**Πίνακας 5. 1:** Τα προγράμματα του SATURN και οι λειτουργίες τους

### 5.3 Τύποι αρχείων στο SATURN

Η εκτέλεση των προγραμμάτων του SATURN, προϋποθέτει τη δημιουργία και τη διαχείριση ενός μεγάλου αριθμού αρχείων. Η ονομασία των αρχείων διαφέρει μεταξύ των διαφορετικών αρχιτεκτονικών των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς επίσης και των λειτουργικών συστημάτων τους. Το SATURN είναι σχεδιασμένο ώστε να εφαρμοστεί σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές συμβατούς με την αρχιτεκτονική των IBM μικροϋπολογιστών (IBM compatible personal computers) και σε λειτουργικά συστήματα συμβατά με DOS, windows 3.xx και windows NT (2000/xp/vista). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τύποι αρχείων που χρησιμοποιούνται από το SATURN, για τις αρχιτεκτονικές συστημάτων και τα λειτουργικά συστήματα που προαναφέρθηκαν.

Τα αρχεία μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα μπορεί να γίνει ταξινόμηση των αρχείων λαμβάνοντας υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά των υπολογιστικών συστημάτων (αρχεία εισόδου/εξόδου, αρχεία σε δυαδική μορφή, αρχεία απλού κειμένου) ή λαμβάνοντας υπ' όψιν το είδος των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε αυτά (δεδομένα δικτύου, δεδομένα πίνακα προέλευσης –

προορισμού). Μέσω της ονομασίας των αρχείων στο SATURN, γίνεται προσπάθεια διάκρισης των διαφορετικών τύπων αρχείων που χρησιμοποιούνται.

Ένα αρχείο έχει δύο μέρη: το *όνομα* που υποδεικνύει το εκάστοτε δίκτυο ή πίνακα προέλευσης – προορισμού που εξετάζεται και την *επέκταση* που υποδεικνύει το πρόγραμμα από το οποίο έχει παραχθεί το συγκεκριμένο αρχείο. Για παράδειγμα το αρχείο NET.LPN υποδεικνύει ένα αρχείο προς εκτύπωση που έχει παραχθεί από το πρόγραμμα SATNET. Ομοίως το αρχείο NET.UFS υποδεικνύει ένα αρχείο σε δυαδική μορφή που έχει παραχθεί από το πρόγραμμα SATALL.

Τα αρχεία που αποτελούν δεδομένα εισόδου ή δεδομένα εξόδου από τα προγράμματα του SATURN, ακολουθούν τους παρακάτω κανόνες:

- Όλα τα αρχεία σε δυαδική μορφή έχουν επέκταση που ξεκινάει με UF. Τέτοιου είδους αρχεία, που η επέκτασή του ξεκινάει με UF, είναι τα εξής:

*.UFN* – Αρχεία δυαδικής μορφής δεδομένων δικτύου, που αποτελούν αρχεία εξόδου του προγράμματος SATNET και αρχεία εισόδου του προγράμματος SATALL.

*.UFS* – Αρχεία δυαδικής μορφής που περιέχουν δεδομένα του αρχείου *.UFN* καθώς επίσης και τους χρόνους/φόρτους που έχουν υπολογιστεί από την εφαρμογή του προγράμματος SATALL.

*.UFM* – Αρχείο δυαδικής μορφής που έχει παραχθεί από το πρόγραμμα MXM1 και αποτελεί αρχείο εισόδου για το πρόγραμμα SATALL.

- Όλα τα αρχεία απλού κειμένου χρησιμοποιούνται ως αρχεία ελέγχου ή ως αρχεία δεδομένων εισόδου. Τα αρχεία απλού κειμένου μπορεί να έχουν επεκτάσεις:

*.DAT* – Αρχεία με δεδομένα εισόδου που έχουν δημιουργηθεί από το χρήστη.

*.HLP* – Βοηθητικά αρχεία που χρησιμοποιούνται από τα διάφορα προγράμματα του SATURN.

*.LOG* – Αρχείο καταγραφής των ιστορικού εκτέλεσης των προγραμμάτων του SATURN.

*.KEY* – Εκτελέσιμο αρχείο που περιέχει μία σειρά εκτελέσιμων εντολών από τα προγράμματα του SATURN.

- Όλα τα αρχεία εξόδου των αποτελεσμάτων προς εκτύπωση των προγραμμάτων του SATURN, έχουν επέκταση που ξεκινάει με LP. Το τρίτο γράμμα της επέκτασης υποδεικνύει το πρόγραμμα του οποίου τα αρχεία αυτά αποτελούν έξοδο. Έτσι για κάθε επέκταση υπάρχει και το αντίστοιχο πρόγραμμα:

*.LPN* - SATNET

*.LPT* – SATALL

*.LPL* – SATLOOK

*.LPE* – SATED

*.LPP* – PIX

*.LPD* – SATDB

*.LPX* – SATME2

*.LPF* – SATOFF

*.LPC* - SATCH

#### **5.4 Παρουσίαση μίας Τυπικής Εφαρμογής του Μοντέλου του SATURN**

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα προγράμματα του μοντέλου του SATURN, καθώς επίσης και τα στάδια μιας τυπικής εφαρμογής του μοντέλου.

Για μία τυπική εφαρμογή του βασικού μοντέλου του SATURN, απαιτούνται ως δεδομένα εισόδου ένα αρχείο με τα στοιχεία του πίνακα προέλευσης – προορισμού και ένα αρχείο με τα στοιχεία του δικτύου. Τα δύο αυτά αρχεία δεδομένων εισόδου, δημιουργούνται από το χρήστη. Είναι αρχεία απλού κειμένου και σύμφωνα με τους κανόνες των επεκτάσεων των ονομάτων των αρχείων του SATURN, θα πρέπει να

έχουν επέκταση .DAT. Για να είναι προσπελάσιμα τα δεδομένα τους από τα προγράμματα του SATURN, θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένη μορφή.

Ένα σωστά δομημένο αρχείο με δεδομένα του πίνακα προέλευσης – προορισμού, αποτελείται αυστηρά από τρία πεδία:

- i. Τον τίτλο του πίνακα προέλευσης - προορισμού
- ii. Μία σειρά από λογικές και αριθμητικές παραμέτρους και
- iii. Τα δεδομένα του πίνακα προέλευσης - προορισμού.

Ένα τέτοιο αρχείο που περιγράφηκε πιο πάνω για ένα δίκτυο με τρεις ζώνες θα έχει την παρακάτω μορφή:

```
RUN O-D MATRIX      (Τίτλος πίνακα προέλευσης - προορισμού)
&PARAM              (Λογικές και αριθμητικές παράμετροι)
NROWS=3
NCOLS=3
MPNEXT=T,
&END
TRIPS   PCUH        (Δεδομένα του πίνακα προέλευσης - προορισμού)
O-DMATRIX
1   0   22   30
2  50   0   0
3  10   22   0
```

Ένα σωστά δομημένο αρχείο με δεδομένα δικτύου, αποτελείται από έντεκα πεδία. Από αυτά τα τρία πρώτα πρέπει υποχρεωτικά να υπάρχουν σε κάθε αρχείο με δεδομένα δικτύου. Τα υπόλοιπα οχτώ δεν είναι υποχρεωτικά, ωστόσο είναι προφανές ότι θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον το πεδίο περιγραφής του buffer ή simulation network. Τα έντεκα αυτά πεδία είναι:

1. Ρυθμίσεις του προγράμματος SATNET

2. Τίτλος δικτύου
3. Λογικές και αριθμητικές παράμετροι
4. Δεδομένα δικτύου υψηλής λεπτομέρειας (Simulation Network)
5. Σύνδεσμοι κεντροειδούς του Simulation δικτύου
6. Δεδομένα του ευρέως δικτύου (Buffer Network)
7. Απαγορευμένες στροφές και κινήσεις
8. Συντεταγμένες κόμβων και κεντροειδών
9. Αποκλειστικές διαδρομές κυκλοφορίας οχημάτων (Για παράδειγμα λεωφορειόδρομοι)
10. Επιπλέον στοιχεία για συγκεκριμένους συνδέσμους ή και στρέφουσες κινήσεις
11. Γενικευμένο κόστος για συγκεκριμένες ομάδες χρηστών

Τα οχτώ προαιρετικά πεδία διαχωρίζονται μεταξύ τους από τον κωδικό “έναρξης” και “τερματισμού” του κάθε πεδίου. Ο κωδικός “τερματισμού” για όλα τα πεδία είναι κοινός και είναι ο 9. Ο κωδικός έναρξης για κάθε πεδίο είναι διαφορετικός. Ο κωδικός έναρξης του πεδίου των δεδομένων του simulation network είναι 1 και αυξάνει κατά μία μονάδα για κάθε πεδίο. Ωστόσο έχει επικρατήσει οι κωδικοί έναρξης και τερματισμού να σχηματίζονται από πέντε όμοια ψηφία (11111, 22222, 99999). Ένα σωστά δομημένο αρχείο που περιέχει δεδομένα δικτύου, όπως περιγράφηκε πιο πάνω θα έχει την εξής μορφή:

```

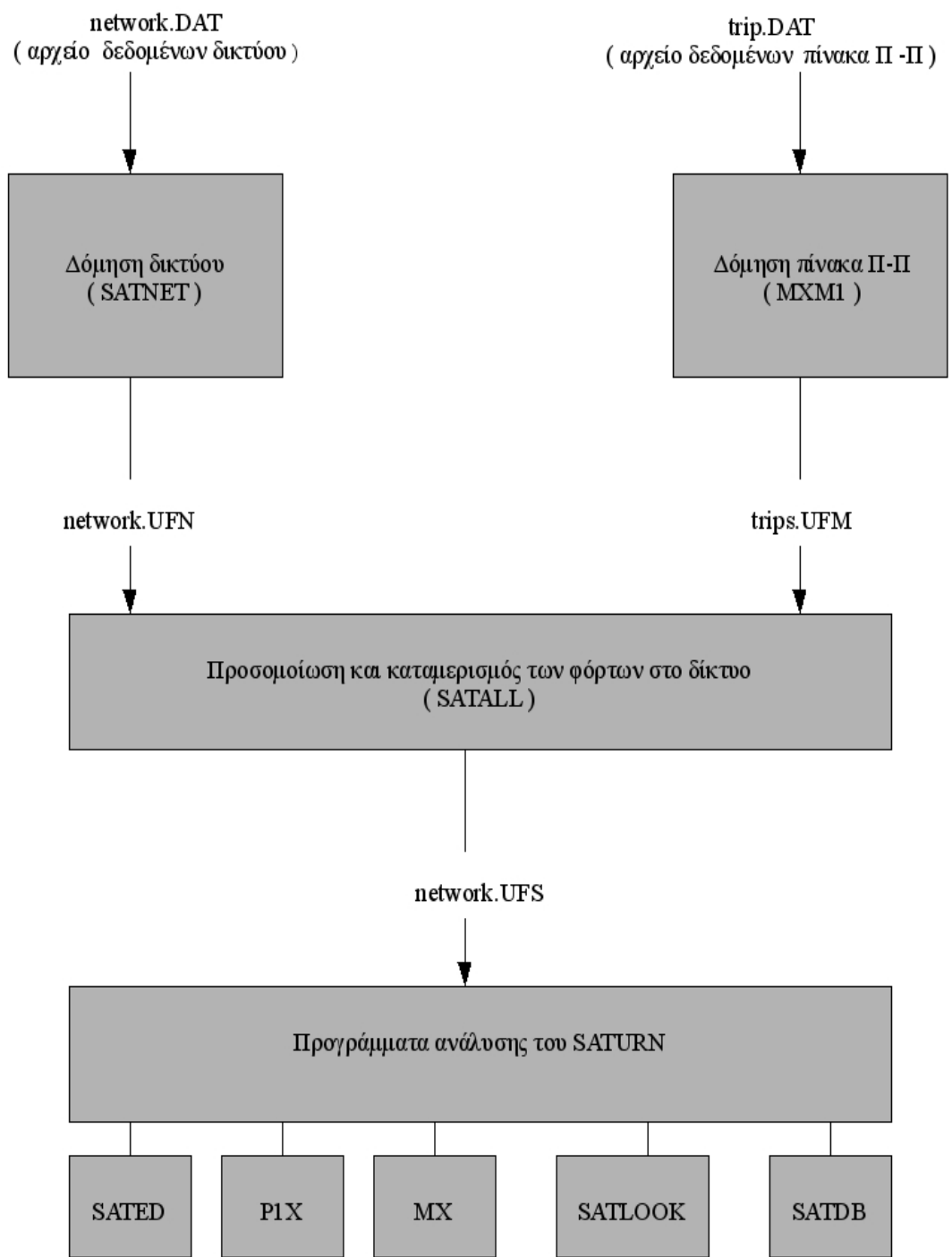
&OPTION          (Ρυθμίσεις του προγράμματος  SATNET)
&END
CITY NETWORK    (Τίτλος δικτύου)
&PARAM          (Λογικές και αριθμητικές Παράμετροι)
NITA = 30
NITS=25
LIST=T,
NOMADS=3
KNOBS=2
SUZIE = T
&END
11111          (Εναρξη πεδίου Simulation Network)
.
.
.
99999          (Τερματισμός πεδίου Simulation Network)
22222          (Εναρξη πεδίου Συνδέσμων κεντροειδούς)
.
.
.
99999          (Τερματισμός πεδίου Συνδέσμων κεντροειδούς)
33333          (Εναρξη πεδίου Buffer network)
.
.
.
99999          (Τερματισμός πεδίου Buffer network)
44444          (Εναρξη πεδίου απαγορευμένων στροφών και κινήσεων)
.
.
.
99999          (Τερματισμός πεδίου απαγορευμένων στροφών και κινήσεων)
55555          (Εναρξη πεδίου συντεταγμένων κόμβων και κεντροειδών)
.
.

```



.	
99999	(Τερματισμός πεδίου συντεταγμένων κόμβων και κεντροειδών)
66666	(Εναρξη πεδίου αποκλειστικών διαδρομών κυκλοφορίας οχημάτων)
.	
.	
.	
99999	(Τερματισμός πεδίου αποκλειστικών διαδρομών κυκλοφορίας οχημάτων)
77777	(Εναρξη πεδίου επιπρόσθετων στοιχείων)
.	
.	
.	
99999	(Τερματισμός πεδίου επιπρόσθετων στοιχείων)
88888	(Εναρξη πεδίου γενικευμένου κόστους)
.	
.	
.	
99999	(Τερματισμός πεδίου γενικευμένου κόστους)

Το αρχείο με τα δεδομένα του πίνακα προέλευσης – προορισμού εισάγεται στο πρόγραμμα MXM1 όπου μετατρέπεται σε αρχείο δυαδικής μορφής με κατάληξη .UFM, ώστε να είναι προσπελάσιμο από το πρόγραμμα SATALL. Το αρχείο με τα δεδομένα του δικτύου εισάγεται στο πρόγραμμα SATNET, όπου μετατρέπεται σε αρχείο δυαδικής μορφής με κατάληξη .UFN, ώστε να είναι προσπελάσιμο από το πρόγραμμα SATALL. Με δεδομένα εισόδου τα δύο αρχεία που δημιουργήθηκαν από τα προγράμματα MXM1 και SATNET εκτελείται το πρόγραμμα προσομοίωσης και καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο SATALL. Το αρχείο εξόδου του προγράμματος SATALL, είναι αρχείο δυαδικής μορφής με κατάληξη .UFS. Το αρχείο αυτό στη συνέχεια αποτελεί δεδομένο εισόδου όλων των προγραμμάτων ανάλυσης του μοντέλου του SATURN, για περαιτέρω ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας που περιγράφηκε, η οποία αναπαρίσταται στο σχήμα 5.1, παράγονται από όλα τα προγράμματα αρχεία προς εκτύπωση με κατάληξη .LP, τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την εκτέλεση των εκάστοτε προγραμμάτων.



Σχήμα 5. 1: Αναπαράσταση μιας τυπικής εφαρμογής του μοντέλου του SATURN

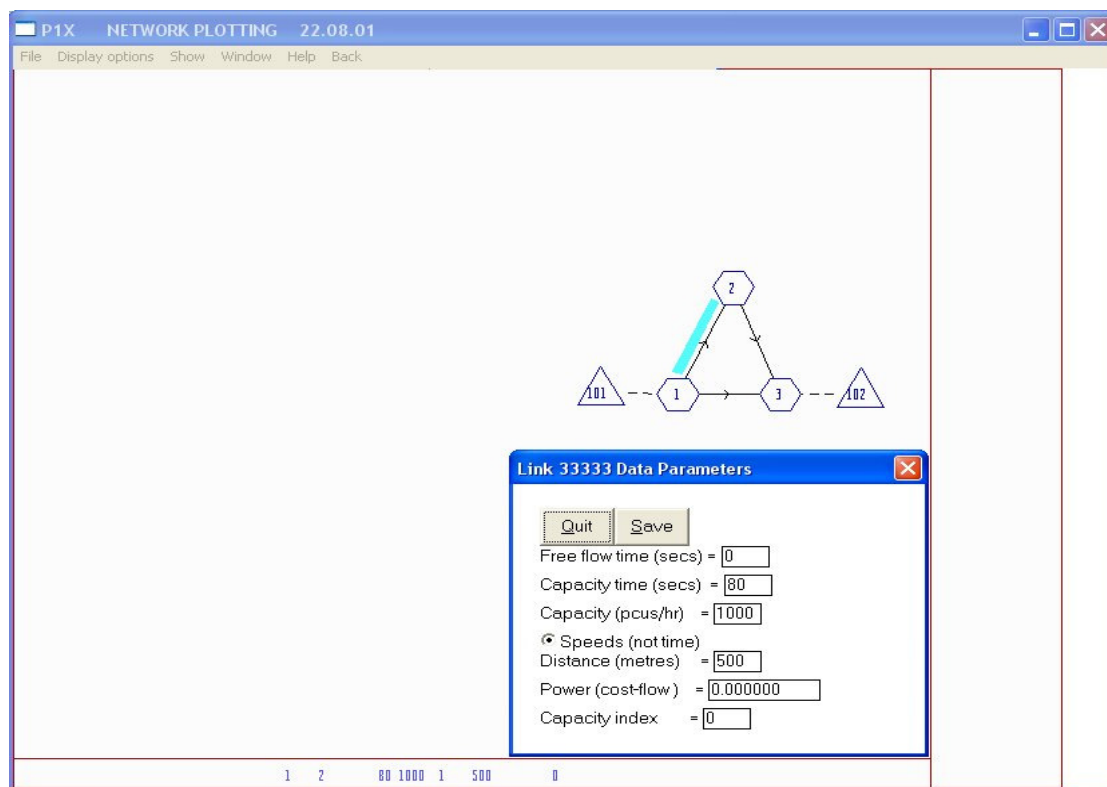
#### 5.4 Εκτέλεση μιας Τυπικής Εφαρμογής στο μοντέλο του SATURN

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα βήματα μίας τυπικής εφαρμογής του μοντέλου του SATURN σε δύο απλά συγκοινωνιακά δίκτυα, χωρίς να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη λεπτομερή παρουσίαση της παραμετροποίησης των προγραμμάτων του μοντέλου του SATURN, καθώς κάτι τέτοιο ξεφεύγει από τα πλαίσια του αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την παραμετροποίηση των προγραμμάτων του SATURN προτείνεται η ανάγνωση του εγχειριδίου χρήσης του SATURN.

Για τη δημιουργία του πρώτου δικτύου εφαρμογής του μοντέλου του SATURN, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης δικτύων PMAKE του οποίου αποτελεί μέρος του προγράμματος PIX. Με το πρόγραμμα PMAKE, σχήμα 5.1, καθίσταται δυνατός τόσο ο γραφικός σχεδιασμός του δικτύου όσο και η εισαγωγή των χαρακτηριστικών των συνδέσμων του δικτύου. Εφόσον ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του δικτύου δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης του σε ένα αρχείο απλού κειμένου, το οποίο στη συνέχεια με κατάλληλη επεξεργασία, αποτελεί αρχείο με δεδομένα εισόδου, σχήμα 5.2, για το πρόγραμμα δόμησης δικτύων SATNET του μοντέλου του SATURN. Επιπροσθέτως με τη βοήθεια ενός απλού επεξεργαστή κειμένων (notepad, wordpad) δημιουργείται και το αρχείο δεδομένων εισόδου για το πρόγραμμα δόμησης του πίνακα προέλευσης – προορισμού του MXM1 του SATURN.

Το πρώτο δίκτυο εφαρμογής του μοντέλου του SATURN, αποτελείται από ένα ζεύγος προέλευσης – προορισμού με δύο εναλλακτικές διαδρομές. Στο κεντροειδές προέλευσης αντιστοιχεί ο αριθμός 101 ενώ στο κεντροειδές προορισμού ο αριθμός 102. Οι σύνδεσμοι κεντροειδούς  $101 \rightarrow 1$  και  $3 \rightarrow 102$  έχουν σχεδιαστεί με χωρητικότητα, 4000 οχήματα ανά ώρα, ώστε να αποφευχθούν καθυστερήσεις στο χρόνο μετακίνησης στους συνδέσμους αυτούς. Οι σύνδεσμοι  $1 \rightarrow 2$  και  $2 \rightarrow 3$  έχουν σχεδιαστεί με χωρητικότητα 500 οχήματα ανά ώρα και μήκος 500 μέτρα, ενώ ο σύνδεσμος  $1 \rightarrow 3$  με χωρητικότητα 1000 οχήματα ανά ώρα και μήκος 1000 μέτρα. Ο πίνακας προέλευσης – προορισμού που πρόκειται να εφαρμοστεί, προβλέπει μία ωριαία φόρτιση του δικτύου με 1000 οχήματα ανά ώρα από τη ζώνη 101 προς τη

ζώνη 102. Το απλό αρχείο κειμένου με δεδομένα εισόδου του πίνακα προέλευσης – προορισμού, φαίνεται στο σχήμα 5.3. Ακόμα θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο πεδίο αριθμητικών και λογικών παραμέτρων του αρχείου δεδομένων εισόδου του δικτύου, ορίζεται να εφαρμοστεί ένα ντετερμινιστικό μοντέλο καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο (παράμετρος SUZIE = FALSE).



Σχήμα 5. 2: Γραφικός σχεδιασμός δικτύου με το πρόγραμμα PMAKE

Το αρχείο δεδομένων εισόδου του πίνακα προέλευσης – προορισμού μετονομάζεται σε matrix.DAT, ενώ το αρχείο δεδομένων εισόδου του δικτύου μετονομάζεται σε network.DAT. Στη συνέχεια από το μενού του γραφικού εργαλείου του μοντέλου του SATURN, σχήμα 5.4, εισάγεται το αρχείο matrix.DAT στο πρόγραμμα MXM1 και το αρχείο network.DAT στο πρόγραμμα SATNET. Από την παραπάνω διαδικασία, παράγονται τα δύο αρχεία δυαδικής μορφής με ονόματα matrix.UFM και network.UFN. Τα δύο αυτά αρχεία αποτελούν στη συνέχεια δεδομένα εισόδου του προγράμματος προσομοίωσης και καταμερισμού των φόρτων SATALL. Τέλος παράγεται το αρχείο δυαδικής μορφής network.UFS, το οποίο είναι προσπελάσιμο από όλα τα προγράμματα ανάλυσης του SATURN. Στο σχήμα 5.5 παρουσιάζονται οι

φόρτοι στους συνδέσμους του δικτύου στην κατάσταση της ντετερμινιστικής ισορροπίας, όπως αυτοί αναπαρίστανται από το γραφικό πρόγραμμα ανάλυσης P1X

```

| &OPTION
&END
TITLE
&PARAM
AUTOX = T
SHANDY = T
ATLAS = T
LIST = T
PRINT = T
PRINTF = T
&END
33333
D      116  45 2520  S      3.8  1
D      112  45 2430  S      3.8  2
D       71  35 1270  S      2.0  3
D       68  25 1730  S      3.7  4
D       48  25  500  S      1.5  5
D       49  25  780  S      1.6  6
D       34  15  630  S      1.7  7
D       66  30 1300  S      3.0  8
D       57  30 1000  S      3.4  9
D       47  30  880  S      2.5 10
C 101  1      80 4000  1  2000  0
C 102  3      80 4000  1  2000  1
  1C 101      80 4000  1  2000  0
    1  2      80 1000  1   500  0
    1  3      80 1000  1  1000  0
  *  2  1          1  184    1
    2  3      80 1000  1   500  0
  *  3  2          1  166    1
  3C 102      80 4000  1  2000  0
  *  3  1          1  145    1
99999
55555
C 101 769 510  0
C 102 1109 507  0
  1  870 507
  2  942 656
  3 1003 507
99999
99999

```

Σχήμα 5. 3: Αρχείο δεδομένων εισόδου του δικτύου

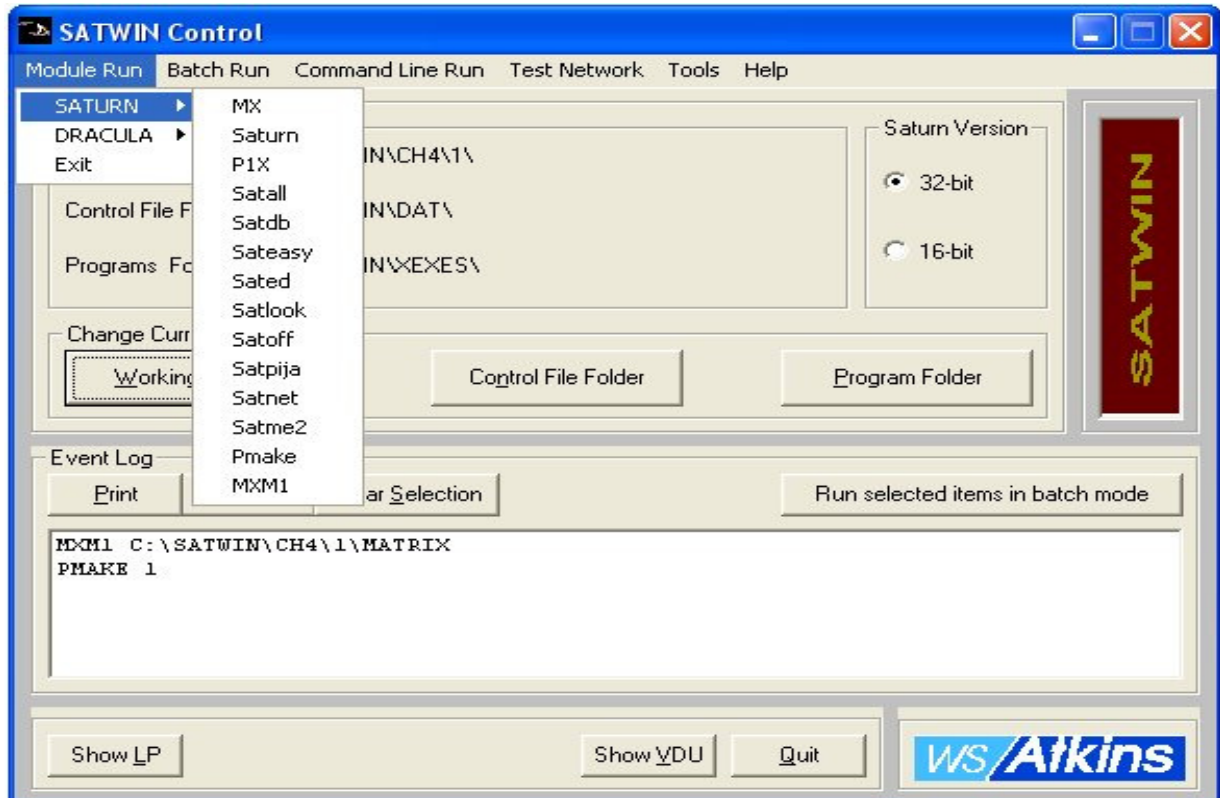
```

RUN TEST MATRIX
&PARAM
NROWS=2,
NCOLS=2,
MPNEXT=T, &END
TRIPS PCUH
TEST MATRIX
  101  0 1000
  102  0  0

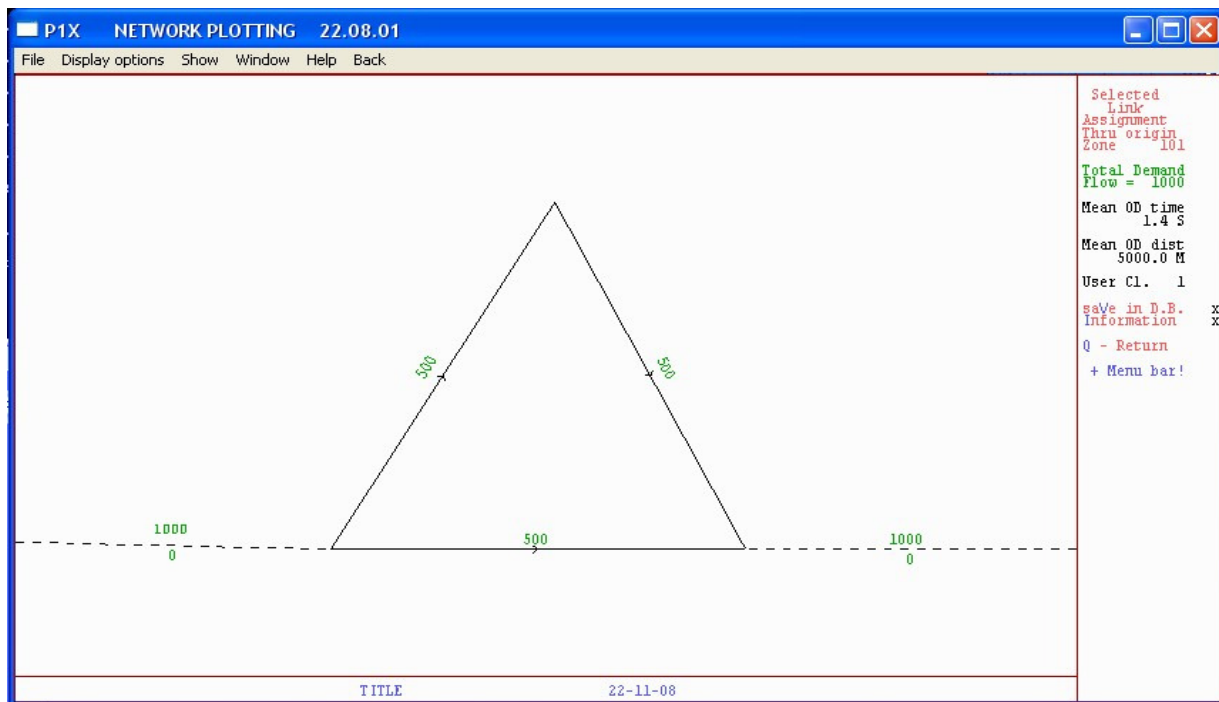
```

Σχήμα 5. 4: Αρχείο δεδομένων εισόδου του πίνακα Π - Π

Επιπροσθέτως στο σχήμα 5.6 παρατίθεται και ένα δείγμα από το αριθμητικό πρόγραμμα ανάλυσης SATLOOK, όπου αναπαρίστανται οι τιμές του δείκτη σύγκλισης DELTA. Μετά από μόλις δύο επαναλήψεις της διαδικασίας του καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο, ο δείκτης σύγκλισης DELTA είναι ίσος με μηδέν, οπότε υπάρχει κατάσταση ισοροπίας στο δίκτυο.



Σχήμα 5. 5: Γραφικό εργαλείο εκτέλεσης προγραμμάτων



Σχήμα 5. 6: Φόρτοι στην κατάσταση ισοροπίας

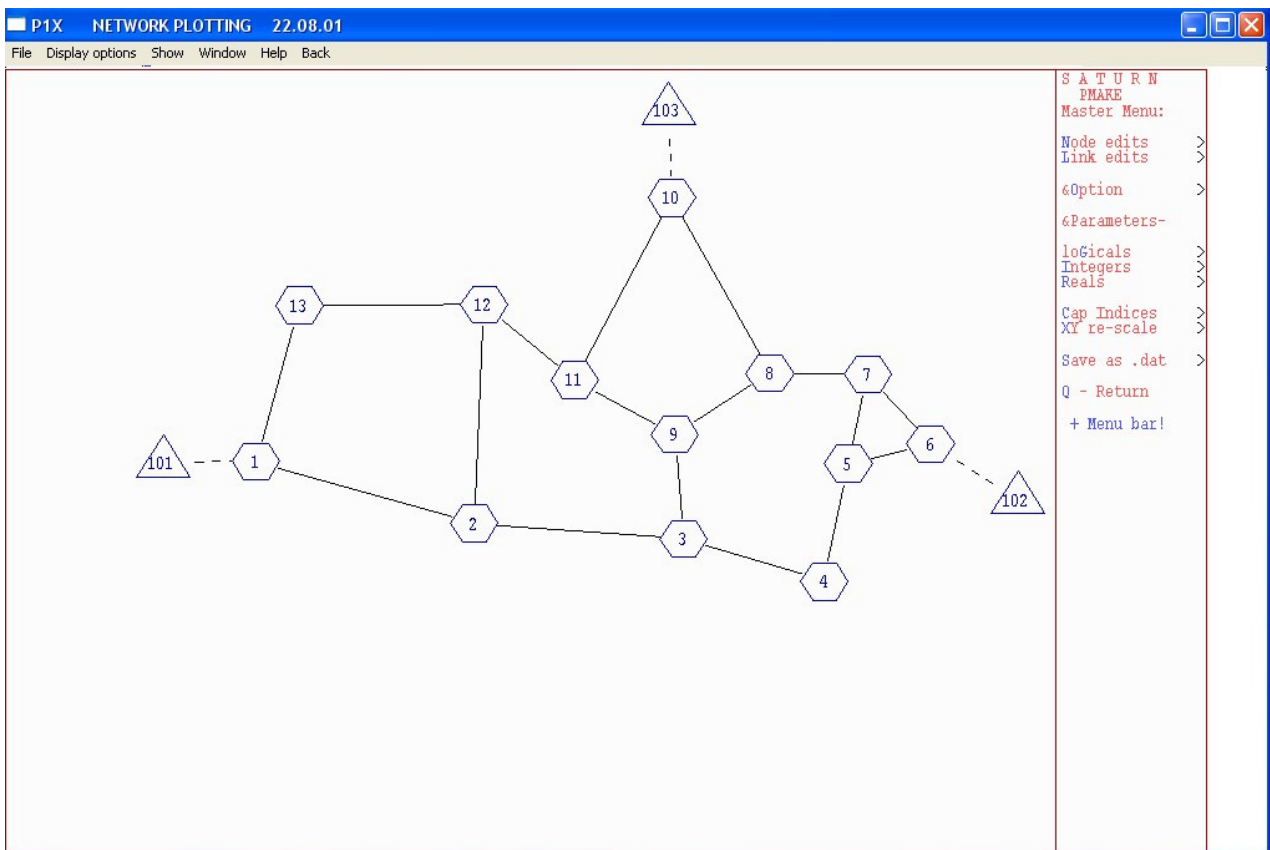
SUMMARY TABLE OF ASSIGNMENT CONVERGENCE STATISTICS:						
ITER	LAMBDA	FRACTION	C1	C2	DELTA	Z
	⊘	⊘			⊘	
1		50.00	45.000	0.000	0.0000	7.50
2	50.000	50.00	1.406	1.406	0.0000	0.23
3	0.000	0.00	1.406			0.23
ITER	LAMBDA	FRACTION	C1	C2	DELTA	Z
	⊘	⊘			⊘	

Σχήμα 5. 7: Δείκτης σύγκλισης DELTA

Το δεύτερο δίκτυο, στο οποίο πρόκειται να εφαρμοστεί το μοντέλο του SATURN, αποτελείται από 3 ζώνες και 13 κόμβους και σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος P1X. Ένα δείγμα του δικτύου όπως αναπαρίσταται στο P1X φαίνεται στο σχήμα 5.7. Και σε αυτή την περίπτωση, οι σύνδεσμοι κεντροειδούς σχεδιάστηκαν με άπειρη χωρητικότητα, ενώ οι χωρητικότητα των υπολοίπων συνδέσμων του δικτύου, κυμαίνεται από 300 έως 1000 οχήματα ανά ώρα. Στο πεδίο αριθμητικών και λογικών παραμέτρων του αρχείου δεδομένων εισόδου του δικτύου, ορίζεται να εφαρμοστεί ένα ντετερμινιστικό μοντέλο καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο.

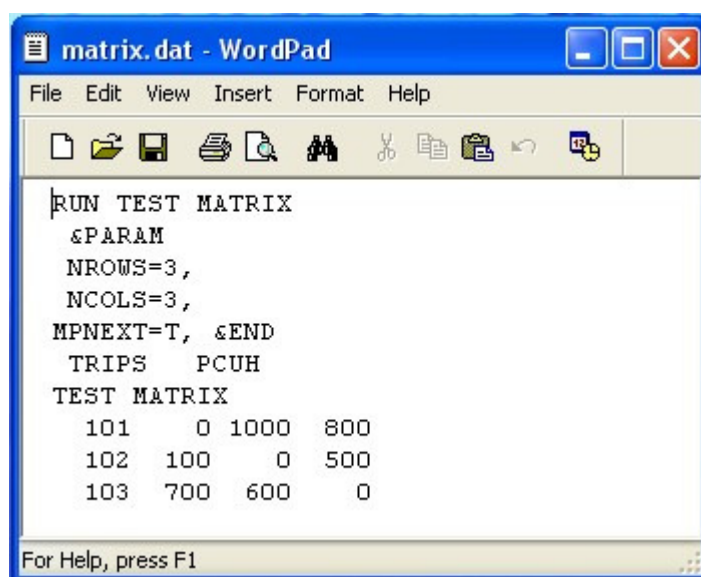
Τέλος, ο πίνακας προέλευσης – προορισμού που πρόκειται να εφαρμοστεί, σχήμα 5.8, ορίζει μία ωριαία φόρτιση του δικτύου με 100 οχήματα ανά ώρα από τη ζώνη 101 προς τη ζώνη 102, 80 οχήματα ανά ώρα από την 101 προς την 103, 10 οχήματα ανά ώρα από την 102 προς την 101, 50 οχήματα ανά ώρα από την 102 προς την 103, 70 οχήματα ανά ώρα από την 103 προς την 101 και 60 οχήματα ανά ώρα από την 103 προς την 102.

Στο σχήμα 5.9 παρατίθεται ένα δείγμα του προγράμματος ανάλυσης αριθμητικών δεδομένων με το δείκτη σύγκλισης DELTA. Όπως φαίνεται σε αυτό το δείγμα απαιτούνται 20 επαναλήψεις του μοντέλου του καταμερισμού των φόρτων στο δίκτυο, ώστε να υπάρχει σύγκλιση της λύσης με αυτή της κατάστασης ισορροπίας. Μετά από 20 επαναλήψεις ο δείκτης DELTA παίρνει την τιμή DELTA=0.82%, κάτι που υποδεικνύει ότι υπάρχει κατάσταση ισορροπίας στο δίκτυο.



Σχήμα 5. 8: Γραφικός σχεδιασμός δικτύου με το πρόγραμμα PMAKE

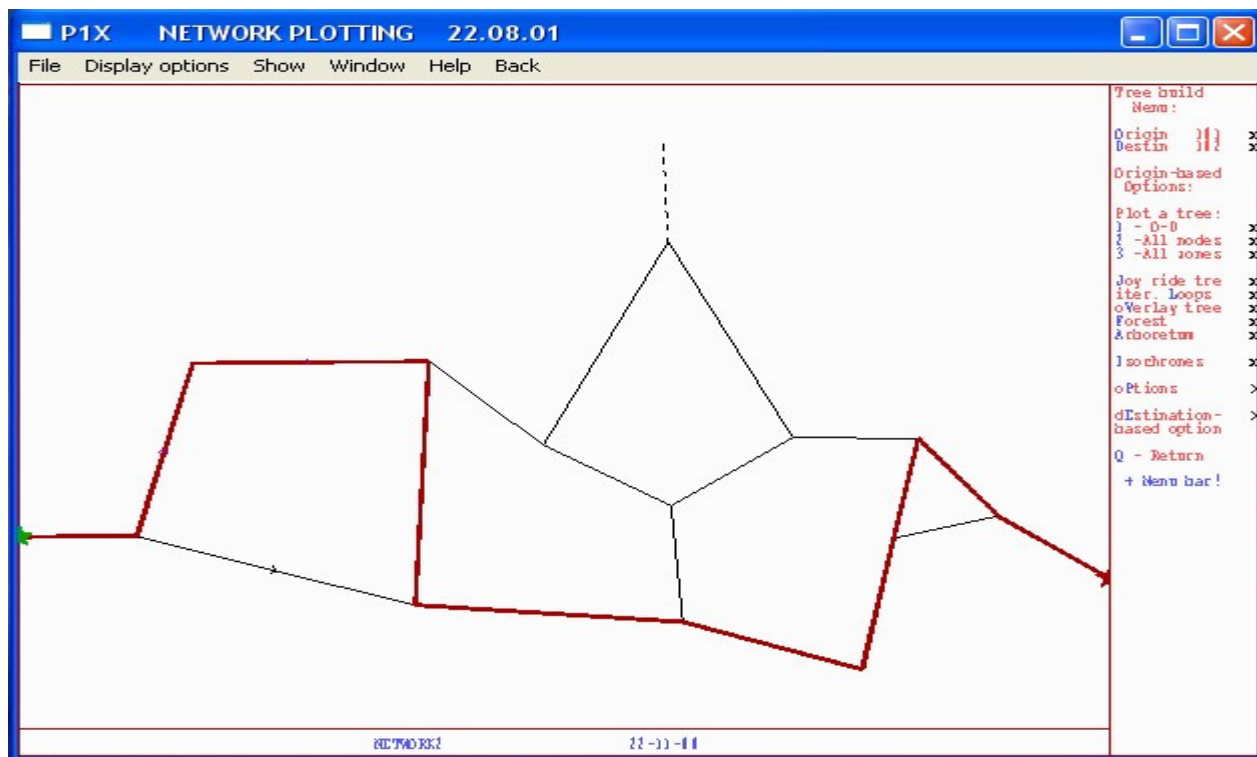




Σχήμα 5. 9: Αρχείο δεδομένων εισόδου του πίνακα Π – Π

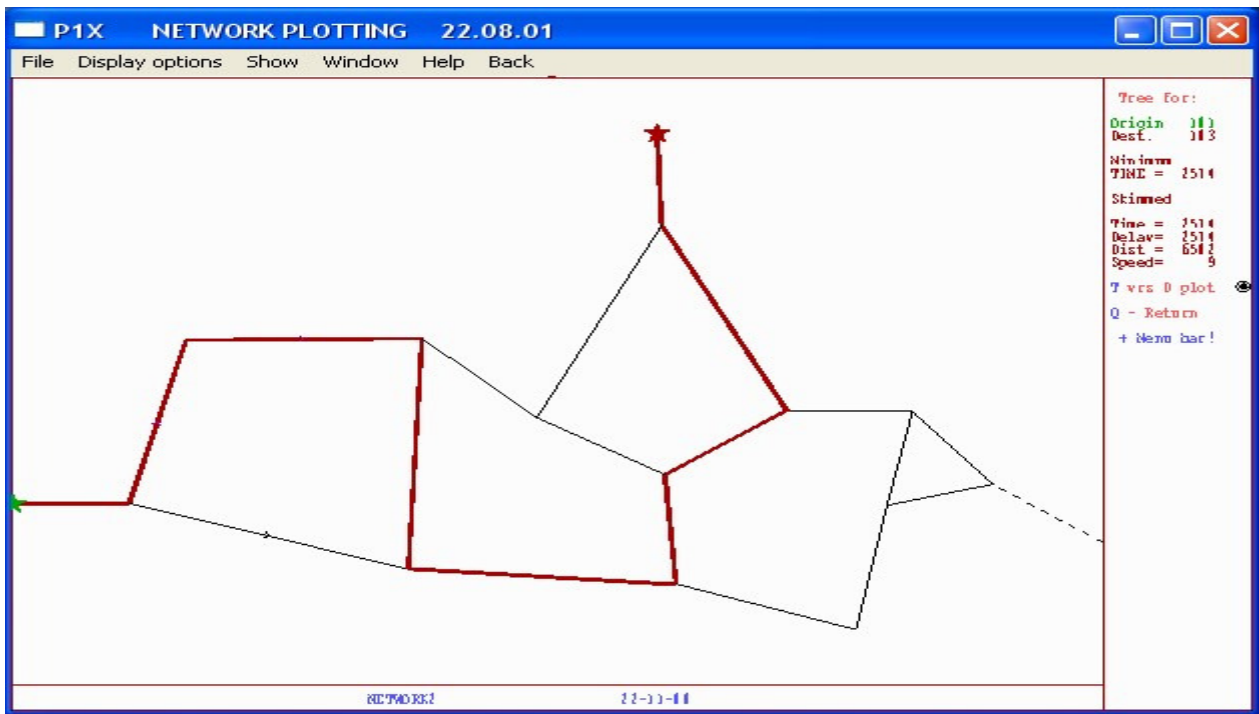
SUMMARY TABLE OF ASSIGNMENT CONVERGENCE STATISTICS:						
ITER	LAMBDA	FRACTION	C1	C2	DELTA	Z
	%	%			%	
1		27.16	3157.704	775.352	307.26	1094.77
2	39.902	18.03	2113.990	1060.687	99.30	602.47
3	17.606	9.66	1891.588	1351.867	39.92	510.56
4	13.085	8.26	1823.575	1515.761	20.31	473.72
5	9.188	6.39	1800.296	1507.902	19.39	459.77
6	6.734	5.02	1772.900	1652.054	7.31	449.92
7	3.371	2.60	1775.463	1660.012	6.95	447.89
8	6.044	4.96	1753.007	1633.534	7.31	444.40
9	3.325	2.82	1755.864	1689.483	3.93	442.41
10	3.646	3.21	1751.474	1672.806	4.70	441.20
11	2.384	2.15	1744.115	1696.724	2.79	440.27
12	1.777	1.63	1747.101	1704.958	2.47	439.84
13	1.631	1.52	1743.067	1709.975	1.94	439.50
14	1.254	1.19	1745.343	1712.603	1.91	439.29
15	1.293	1.24	1742.077	1711.190	1.81	439.08
16	1.262	1.23	1741.648	1718.639	1.34	438.89
17	0.844	0.83	1743.202	1724.647	1.08	438.79
18	0.790	0.78	1741.678	1720.456	1.23	438.72
19	0.838	0.83	1741.820	1727.676	0.82	438.63
20	0.493	0.49	1741.854			438.59
ITER	LAMBDA	FRACTION	C1	C2	DELTA	Z
	%	%			%	

Σχήμα 5. 10: Δείκτης σύγκλισης DELTA

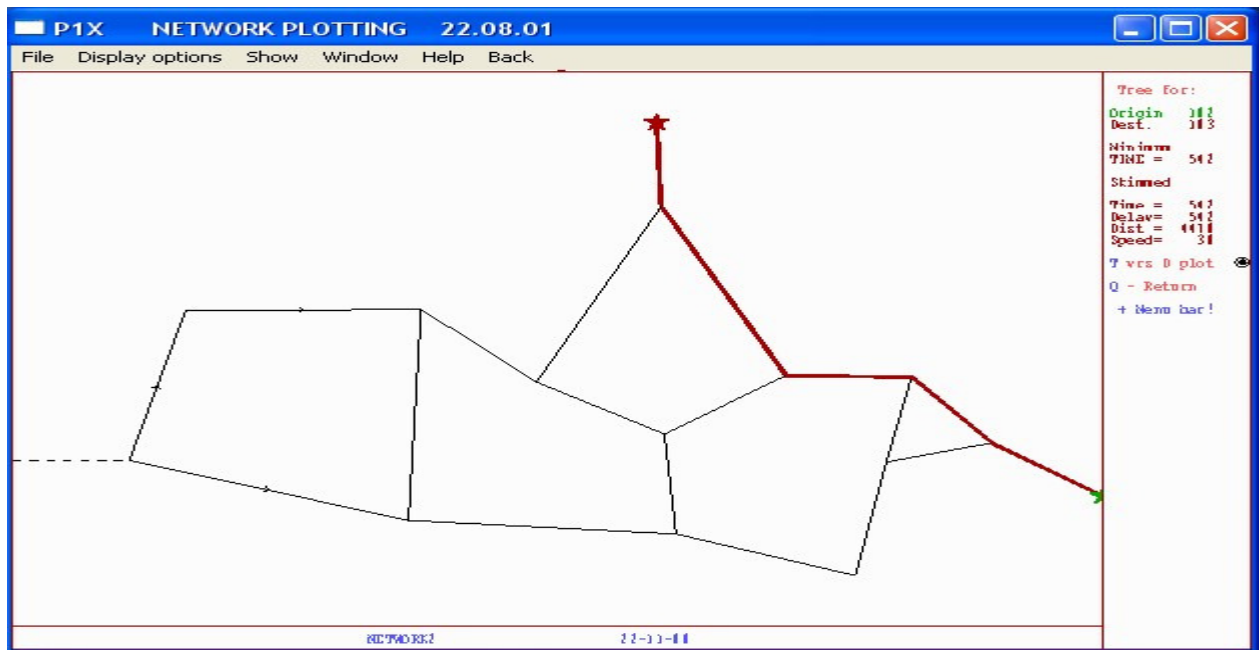


**Σχήμα 5. 11:** Συντομότερη διαδρομή στην κατάσταση ισοροπίας από τη ζώνη 101 προς τη ζώνη 102

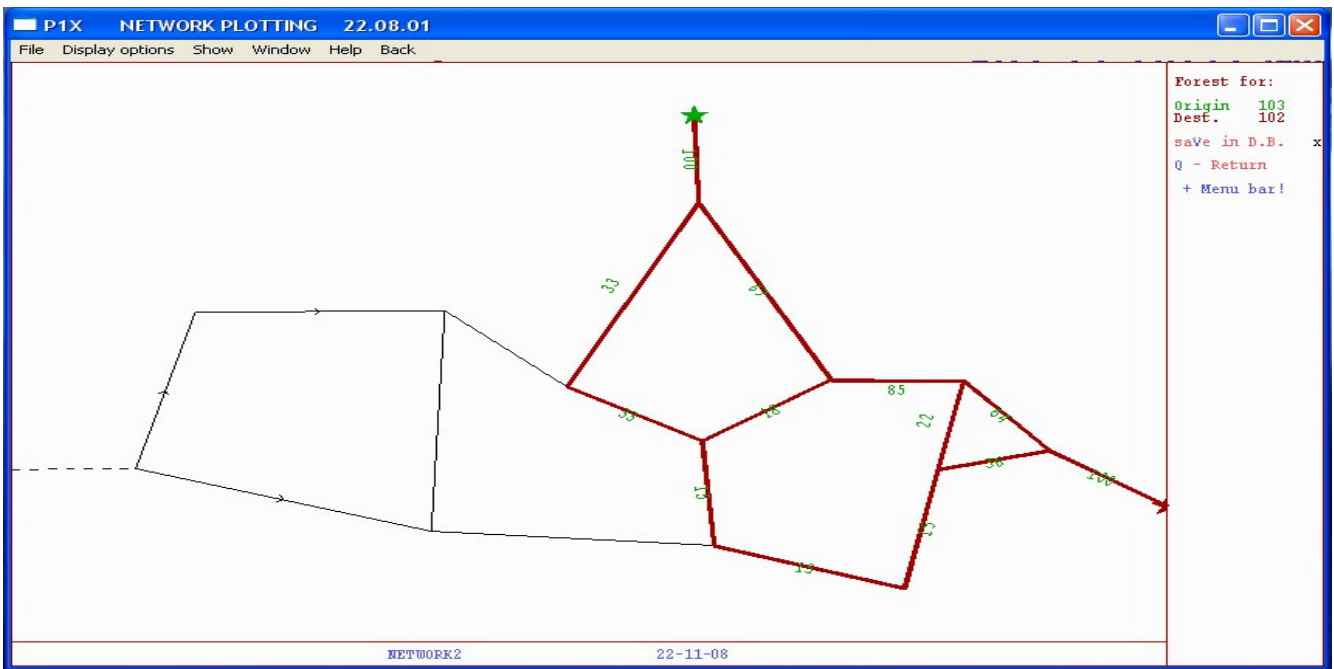
Τέλος με τη χρήση του προγράμματος P1X δίνεται η δυνατότητα ανάλυσης του δικτύου και εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων. Ενδεικτικά παρουσιάζονται δείγματα του προγράμματος P1X, με συντομότερες διαδρομές, από τη ζώνη 101 προς της ζώνη 102 (σχήμα 5.1), από τη ζώνη 101 προς τη ζώνη 103 (σχήμα 5.11) και από τη ζώνη 103 προς τη ζώνη 102 (σχήμα 5.12). Τέλος στο σχήμα 5.13 δίνεται ένα δείγμα του δένδρου διαδρομών από τη ζώνη 103 προς τη ζώνη 102 με τους αντίστοιχους φόρτους στις πιθανές διαδρομές του δικτύου.



Σχήμα 5. 12: Συντομότερη διαδρομή από τη ζώνη 101 προς τη ζώνη 103



Σχήμα 5. 13: Συντομότερη διαδρομή από τη ζώνη 103 προς τη ζώνη 102



Σχήμα 5. 14: Δένδρο διαδρομών από τη ζώνη 103 προς τη ζώνη 102 στην κατάσταση ισορροπίας

## **6. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΣΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ**

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η ανάδειξη των προβλημάτων που προκύπτουν από την ασυμβατότητα των παραδοχών που γίνονται κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού και των παραδοχών που γίνονται κατά τον υπολογισμό της αξίας του χρόνου στα μοντέλα διακριτών επιλογών. Για το λόγο αυτό επιλέγεται να εφαρμοστεί ένα ντετερμινιστικό και ένα στοχαστικό μοντέλο καταμερισμού, βασισμένο στον αλγόριθμο του Burrell μέσω του λογισμικού SATURN στην Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου – Πατρών. Αρχικά παρουσιάζονται οι παράμετροι κωδικοποίησης της Παλαιάς και Νέας Εθνικής οδού Κορίνθου – Πατρών στο μοντέλο του SATURN. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται μερικά από τα σενάρια που εφαρμόστηκαν. Τέλος προτείνεται και αναπτύσσεται μία εμπειρική μεθοδολογία για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν.

### **6.1 Εισαγωγή**

Για την εφαρμογή των μοντέλων του καταμερισμού, επιλέχθηκε η Παλαιά και Νέα Εθνική οδός Κορίνθου - Πατρών. Αρχικά ψηφιοποιήθηκε το συγκοινωνιακό δίκτυο των δύο εθνικών οδών με τη βοήθεια το προγράμματος AutoCAD, για τον προσδιορισμό κυρίως των αποστάσεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου, δηλαδή του μήκους των συνδέσμων, καθώς επίσης και της τοπολογίας του δικτύου. Στη συνέχεια κωδικοποιήθηκε το συγκοινωνιακό αυτό δίκτυο στο μοντέλο του SATURN με τα μήκη των συνδέσμων που υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος AutoCAD.

Εφόσον πραγματοποιήθηκε η κωδικοποίηση του δικτύου στο μοντέλο του SATURN, εκτελέστηκαν αρκετές εφαρμογές του μοντέλου με διαφορετικά σενάρια κάθε φορά, για τον έλεγχο και τον εντοπισμό προβλημάτων που προκύπτουν από την

ασυμβατότητα των παραδοχών που γίνονται κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού και των παραδοχών που γίνονται κατά τον υπολογισμό της αξίας του χρόνου στα μοντέλα διακριτών επιλογών. Τέλος αναπτύσσεται μία εμπειρική μεθοδολογία για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν.

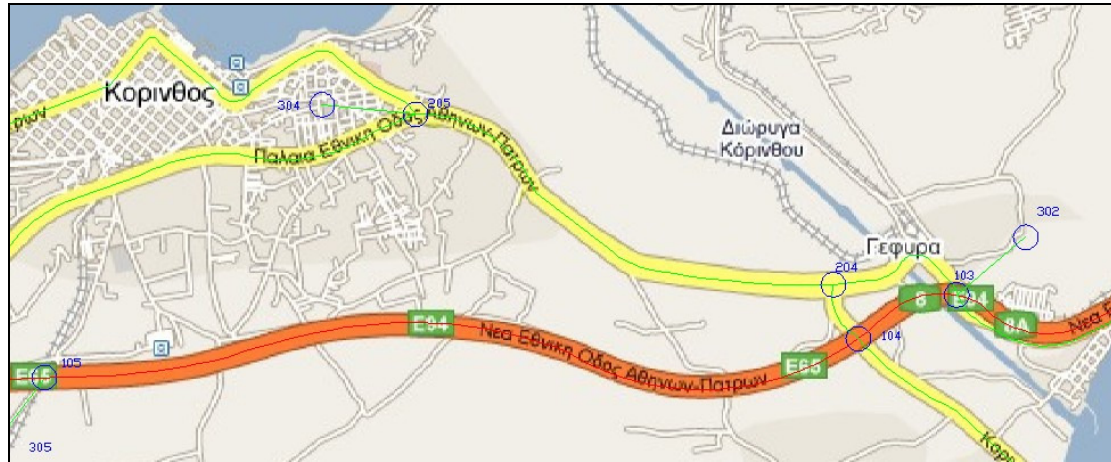
Τα βήματα σχεδιασμού, παραμετροποίησης, εκτέλεσης και εφαρμογής του μοντέλου του SATURN στο συγκοινωνιακό δίκτυο που αποτελείται από την Παλαιά και Νέα Εθνική οδό Κορίνθου – Πατρών, παρουσιάζονται αναλυτικότερα στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου.

## **6.2 Ψηφιοποίηση Συγκοινωνιακού Δικτύου**

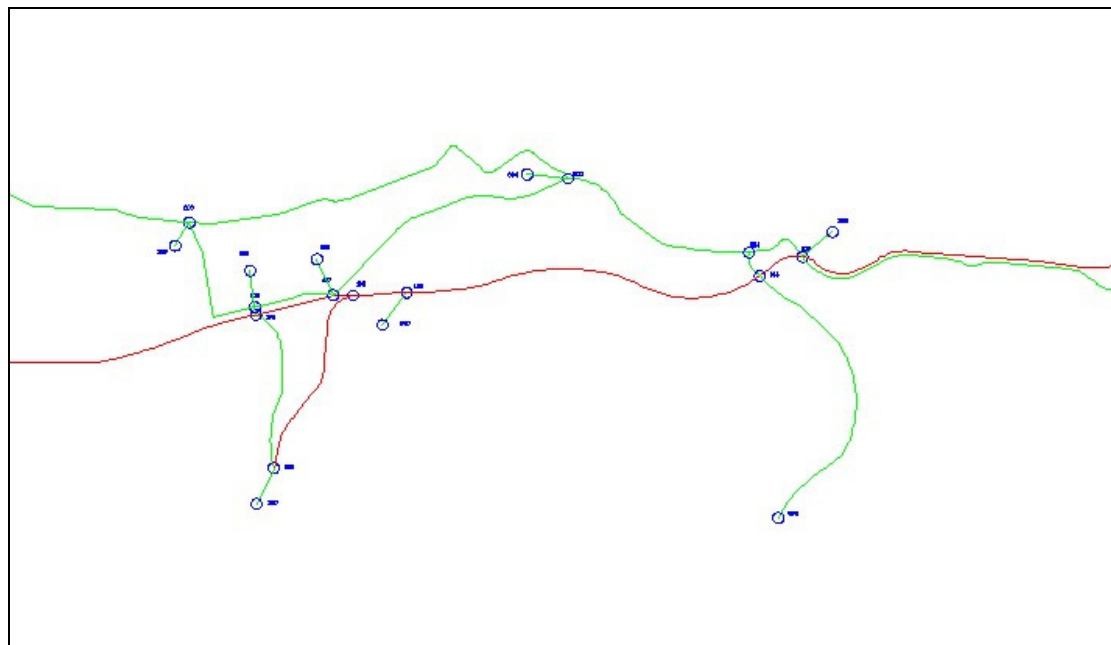
Για τον έλεγχο των προβλημάτων της ενσωμάτωσης της αξίας του χρόνου στα στοχαστικά μοντέλα φόρτισης δικτύων, στο πρόβλημα του μακροσκοπικού καταμερισμού, εφαρμόστηκε στο μοντέλο του SATURN, ένας αριθμός υποθετικών δικτύων, για την ανάδειξη τυχόν μη λογικών διαδρομών. Ωστόσο, θεωρήθηκε σκόπιμο να εφαρμοστεί το μοντέλο του SATURN σε ένα υπαρκτό συγκοινωνιακό δίκτυο από άποψη τοπολογίας και χαρακτηριστικών των συνδέσμων. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να κωδικοποιηθεί η Νέα, καθώς επίσης και η Παλαιά Εθνική οδός Κορίνθου – Πατρών, δημιουργώντας ουσιαστικά ένα συγκοινωνιακό δίκτυο που αποτελείται από δύο ανταγωνιστικές οδούς.

Η Παλαιά και Νέα Εθνική Οδός Κορίνθου – Πατρών, ψηφιοποιήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού AutoCAD, έχοντας ως χαρτογραφικό υπόβαθρο χάρτες σε raster μορφή, από την διαδικτυακή υπηρεσία της Google, Google Maps. Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 13 χάρτες κλίμακας 1:25. Το συνολικό μήκος της Νέας Εθνικής Οδού που ψηφιοποιήθηκε υπολογίστηκε σε 149962 μέτρα και αφορά το τμήμα της οδού από τον κόμβο των Αγίων Θεοδώρων έως το κέντρο της πόλης της Πάτρας. Το συνολικό μήκος της Παλαιάς Εθνικής Οδού που ψηφιοποιήθηκε, υπολογίστηκε σε 152263 μέτρα και αφορά το τμήμα της οδού από τον κόμβο των Αγίων Θεοδώρων έως το κέντρο της πόλης της Πάτρας. Κάθε κόμβος του δικτύου, συνδέεται με ένα κεντροειδές ζώνης, ώστε να είναι εφικτή η μοντελοποίηση των μετακινήσεων από και

προς τις περιοχές που εξυπηρετούνται από τον εκάστοτε κόμβο. Στο σχήμα 6.1 παρατίθεται λεπτομέρεια του ψηφιοποιημένου χάρτη, ενώ στο σχήμα 6.2 μέρος του ψηφιοποιημένου συγκοινωνιακού δικτύου, όπως προκύπτει στο λογισμικό AutoCAD.



Σχήμα 6. 1: Λεπτομέρεια κωδικοποίησης χάρτη



Σχήμα 6. 2: Λεπτομέρεια ψηφιοποιημένου δικτύου

Έχοντας ψηφιοποιήσει το συγκοινωνιακό δίκτυο που πρόκειται να εφαρμοστεί στο μοντέλο του SATURN, στη συνέχεια υπολογίστηκε το μήκος του κάθε συνδέσμου του δικτύου, ώστε να είναι δυνατή η κωδικοποίησή τους στο μοντέλο του SATURN.

Η αρίθμηση των κόμβων του δικτύου έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε οι σύνδεσμοι που ανήκουν στη Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου – Πατρών να ονοματίζονται με τιμές μεταξύ 100 και 199 ενώ αντίστοιχα οι σύνδεσμοι που ανήκουν στην Παλαιά Εθνική Οδό να ονοματίζονται με τιμές μεταξύ 200 και 299. Τέλος όλα τα κεντροειδή των ζωνών ονοματίζονται με τιμές από 300 έως 399. Στους πίνακες 6.1 και 6.2 παρουσιάζονται οι σύνδεσμοι του δικτύου με τα μήκη τους, όπως υπολογίστηκαν από το ψηφιοποιημένο δίκτυο στο λογισμικό AutoCAD.

<b>Νέα Εθνική Οδός Κορίνθου - Πατρών</b>	
Σύνδεσμος	Μήκος Συνδέσμου(μέτρα)
101-102	5219
102-103	11201
103-104	856
104-105	6271
105-106	934
106-107	339
107-108	1373
108-109	721
109-110	19935
110-111	13636
111-112	28221
112-113	9796
113-114	13412
114-115	6121
115-116	4629
116-117	22975
117-118	211
118-120	1788
120-121	352
<b>Συνολικό Μήκος</b>	<b>149962</b>

**Πίνακας 6. 1:** Μήκη συνδέσμων Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών



<b>Παλαιά Εθνική Οδός Κορίνθου - Πατρών</b>	
Σύνδεσμος	Μήκος Συνδέσμου(μέτρα)
201-202	3513
202-103	11919
103-204	1148
204-205	3549
205-209	7024
209-211	16676
211-213	14053
213-214	29104
214-215	9866
215-217	14527
217-115	6313
115-116	4610
116-218	23196
218-117	126
117-121	2867
121-220	1972
<b>Συνολικό Μήκος</b>	<b>152263</b>

**Πίνακας 6. 2:** Μήκη συνδέσμων Παλαιάς Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών

Επιπροσθέτως, ψηφιοποιήθηκε και υπολογίστηκε το μήκος επιπλέον συνδέσμων του δικτύου. Οι σύνδεσμοι αυτοί αποτελούν κυρίως συνδέσμους εισόδου/εξόδου από και προς την Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου – Πατρών, καθώς επίσης και συνδέσμους κεντροειδούς. Έχοντας υπολογίσει τα μήκη των συνδέσμων του δικτύου, είναι δυνατή πλέον η κωδικοποίηση του στο μοντέλο του SATURN

### **6.3 Κωδικοποίηση στο Μοντέλο του SATURN**

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια της κωδικοποίησης του συγκοινωνιακού δικτύου στο μοντέλο του SATURN.

#### **6.3.1 Γραφική Αναπαράσταση στο Μοντέλο του SATURN**

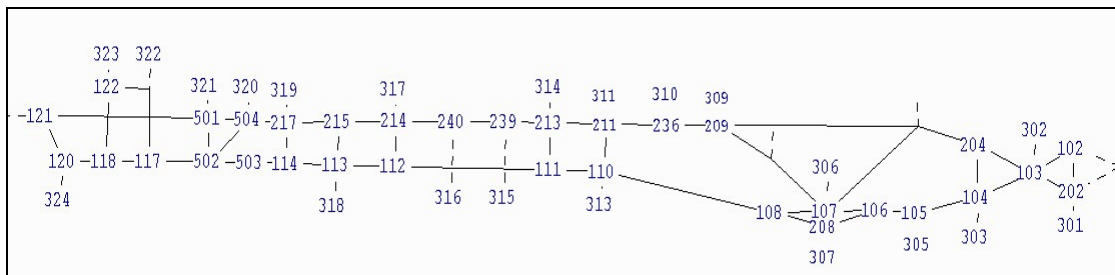
Για την γραφική αναπαράσταση του δικτύου στο μοντέλο του SATURN, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή γραφικού σχεδιασμού δικτύων PIX και πιο συγκεκριμένα οι λειτουργίες της εφαρμογής PMAKE.

Με τη χρήση της εφαρμογής PMAKE, γίνεται εφικτή η γραφική αναπαράσταση του συγκοινωνιακού δικτύου στο μοντέλο του SATURN. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι κατά την κωδικοποίηση του δικτύου και λόγω της φύσης του SATURN, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον βοηθητικοί κόμβοι και σύνδεσμοι, για την ορθή αναπαράσταση δομών του δικτύου, όπως για παράδειγμα ημικόμβοι και κόμβοι τύπου «σταυρού» (τεσσάρων κλάδων). Όλοι οι βοηθητικοί κόμβοι ονοματίζονται με αριθμούς, το εύρος των οποίων είναι μεταξύ 500 και 599.

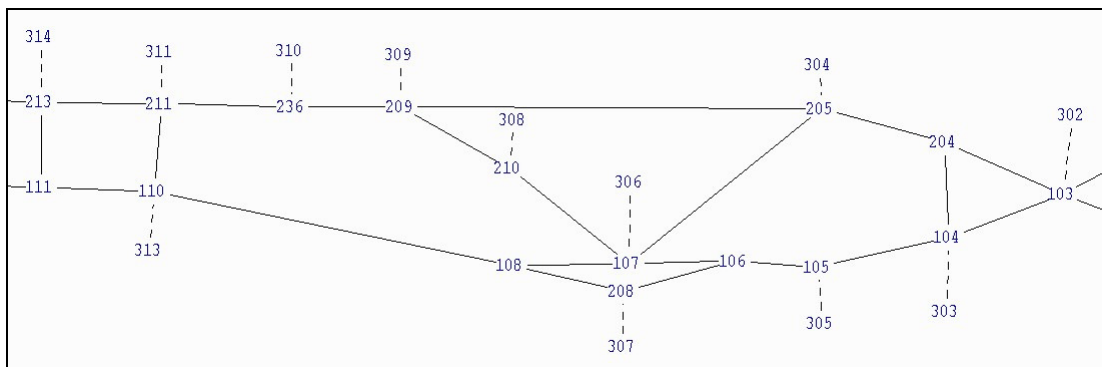
Το συγκοινωνιακό δίκτυο, στο μοντέλο του SATURN, σχεδιάστηκε ως buffer network, καθώς εξετάζεται το πρόβλημα του καταμερισμού μακροσκοπικά, επομένως η λεπτομέρεια που θα πρόσφερε μία ενδεχόμενη κωδικοποίηση του δικτύου ως simulation network, θα ήταν μη αξιοποιήσιμη.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί, ότι λόγω της φύσης του SATURN, όλοι οι σύνδεσμοι του δικτύου, στο αρχικό στάδιο της γραφικής αναπαράστασης, σχεδιάστηκαν ως σύνδεσμοι δύο κατευθύνσεων. Επιπροσθέτως, κατά τη γραφική δημιουργία του δικτύου δεν προσφέρεται η δυνατότητα ψηφιοποίησης χαρτών ή σχεδιασμού συγκοινωνιακών δικτύων υπό κλίμακα. Για την ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων της τελικής εφαρμογής στο μοντέλο του SATURN, το δίκτυο σχεδιάστηκε ώστε να αναπαριστά δύο ανταγωνιστικές οδούς σε μορφή ενός «συγκοινωνιακού διαδρόμου».

Από το στάδιο αυτό της κωδικοποίησης του δικτύου, παράγεται ένα αρχείο με παραμέτρους δικτύου σε μορφή απλού κειμένου με επέκταση .DAT. Το αρχείο αυτό περιέχει στοιχεία μόνο για τη θέση των κόμβων του δικτύου. Αν και παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής περισσότερων στοιχείων μέσω της εφαρμογής PMAKE, δεν προτιμάται, κυρίως λόγω ατελειών της εφαρμογής (bugs). Αντίθετα προτιμήθηκε η εισαγωγή των υπολοίπων παραμέτρων του δικτύου με τη χρήση ενός απλού επεξεργαστή κειμένου (notepad, WordPad) για τον πλήρη έλεγχο της κωδικοποίησης του. Στο σχήμα 6.3 παρουσιάζεται το συγκοινωνιακό δίκτυο, όπως αναπαρίσταται στο μοντέλο του SATURN, ενώ στο σχήμα 6.4 παρουσιάζεται λεπτομέρεια της αναπαράστασης του δικτύου.



**Σχήμα 6. 3:** Αναπαράσταση δικτύου στο SATURN



**Σχήμα 6. 4:** Λεπτομέρεια αναπαράστασης δικτύου στο SATURN

### 6.3.2 Παραμετροποίηση δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 5 ένα σωστά δομημένο αρχείο δικτύου προς εισαγωγή στο μοντέλο του SATURN, αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά τις παραμέτρους εκτέλεσης του κωδικοποιημένου αρχείου. Το δεύτερο μέρος αφορά της αριθμητικές και λογικές παραμέτρους του δικτύου, ενώ το τρίτο μέρος αφορά τα στοιχεία του δικτύου, όπως μήκη, χωρητικότητες συνδέσμων και συντεταγμένες κόμβων. Για την περαιτέρω κατανόηση του κωδικοποιημένου αρχείου δικτύου, επεξηγούνται μερικές από τις βασικές αριθμητικές και λογικές παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις αριθμητικές και λογικές παραμέτρους του αρχείου δικτύου του SATURN, προτείνεται η ανάγνωση του εγχειριδίου χρήσης του SATURN.

**LEFTDR:** Εάν έχει την τιμή TRUE γίνεται η υπόθεση ότι η κίνηση των οχημάτων πραγματοποιείται από την αριστερή πλευρά του δρόμου. Τιμή που ανατέθηκε: FALSE

**LIST:** Εάν έχει την τιμή TRUE, παρατίθεται πλήρης περιγραφή των καρτελών παραμετροποίησης του δικτύου στο αρχείο εξόδου του SATNET. Τιμή που ανατέθηκε: TRUE

**PRINT:** Εάν έχει τιμή TRUE, παρατίθεται πλήρης περιγραφή των συνθηκών του buffer ή simulation network στο αρχείο εξόδου του SATNET. Τιμή που ανατέθηκε: TRUE

**PRINTF:** Εάν έχει την τιμή TRUE, εκτυπώνονται οι φόρτοι στην κατάσταση ισορροπίας στο αρχείο εξόδου του SATNET. Τιμή που ανατέθηκε: TRUE

**SUZIE:** Εάν έχει την τιμή TRUE, εφαρμόζεται ένα στοχαστικό μοντέλο καταμερισμού, βασισμένο στον αλγόριθμο του Burrell. Διαφορετικά εφαρμόζεται ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Τιμή που ανατέθηκε: TRUE/FALSE

**SAVEIT:** Εάν έχει την τιμή TRUE, τα κόστη που υπολογίζονται στην κατάσταση ισορροπίας, αποθηκεύονται σε ξεχωριστό αρχείο με επέκταση .UFC, για περαιτέρω ανάλυση. Τιμή που ανατέθηκε: TRUE.

**KOB:** Με την παράμετρο KOB, ορίζεται η μορφή της κατανομής του κόστους στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας. Τιμή που τέθηκε: 0 (ορθογώνια κατανομή) / 2 (κανονική κατανομή)

**SUET:** Με την παράμετρο SUET ορίζεται η διασπορά του κόστους των συνδέσμων του δικτύου στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας, αφού η διασπορά του κόστους του ορίζεται από την τιμή  $SUET * C$ . Τιμή που ανατέθηκε: 0.1/0.2/0.3/0.4

**PPM:** Με την παράμετρο PPM ορίζεται η αξία του χρόνου της συνάρτησης  $C = PPM * T + PPK * D$  του γενικευμένου κόστους. Τιμή που ανατέθηκε: 1.0 (1 cent ανά ώρα)

**PPK:** Με την παράμετρο PPK ορίζεται η αξία της απόστασης της συνάρτησης  $C = PPM * T + PPK * D$  του γενικευμένου κόστους. Τιμή που ανατέθηκε: 0.0 (0 cents ανά χιλιόμετρο)

**NITA:** Με την παράμετρο NITA ορίζεται ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων καταμερισμού στο δίκτυο των αλγόριθμων επίλυσης της κατάστασης ισορροπίας. Τιμή που ανατέθηκε: 20/30.

**GONZO:** Οι μετακινήσεις που ορίζονται στον πίνακα προέλευσης – προορισμού πολλαπλασιάζονται με την τιμή GONZO. Η εξ ορισμού τιμή αυτής της παραμέτρου είναι 1.0. Κατά την εκτέλεση του μοντέλου του SATURN ανατέθηκαν διάφορες τιμές στην παράμετρο GONZO, ανάλογα με το επίπεδο κυκλοφοριακής συμφόρησης που έπρεπε να επιτευχθεί.

Σε αυτό το στάδιο της κωδικοποίησης, κωδικοποιήθηκαν επίσης και τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου. Οι σύνδεσμοι που ανήκουν στην Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου – Πατρών κωδικοποιήθηκαν με σταθερά χαρακτηριστικά. Αντίθετα τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου της Παλαιάς Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών, δεν είναι σταθερά, ώστε να επιτευχθούν και να μελετηθούν

διαφορετικές καταστάσεις στο συγκοινωνιακό δίκτυο. Τέλος οι σύνδεσμοι κεντροειδούς κωδικοποιήθηκαν με χωρητικότητα 9999 οχήματα ανά ώρα, καθώς δεν αναπαριστούν υπαρκτές δομές του συγκοινωνιακού δικτύου και με σταθερό μήκος της τάξης των 500 μέτρων. Τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου, αναπαρίστανται στον πίνακα 6.3.

	Νέα Εθνική Οδός	Παλαιά Εθνική Οδός	Σύνδεσμοι Κεντροειδούς
Λωρίδες Κυκλοφορίας	2	1	1
Χωρητικότητα ανά Λωρίδα	2250	1600	9999
Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής	120	80/60/50	80
Ταχύτητα Κορεσμού	90	50/40/30	80

**Πίνακας 6. 3:** Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου

Κωδικοποιήθηκαν συνολικά 182 διαφορετικά σενάρια, με διαφορετικές παραμετροποιήσεις, όσον αφορά τον πίνακα προέλευσης – προορισμού που εφαρμόστηκε, την κατάσταση ντετερμινιστικής ή στοχαστικής ισορροπίας που επιλύθηκε, τη μορφή της κατανομής του κόστους του αλγόριθμου του Burrell, την τιμή της διασποράς του κόστους, το μέγιστο αριθμό εκτέλεσης των αλγορίθμων επίλυσης της ισορροπίας στο δίκτυο, καθώς επίσης και τα στοιχεία των συνδέσμων του δικτύου.

### **6.3.3 Υπολογισμός Αξίας Χρόνου και Κωδικοποίηση κόστους Διοδίου**

Ο υπολογισμός της αξίας του χρόνου έγινε με βάση τη διπλωματική εργασία του Ρογκάν Ι. «Μικτού και Πολυωνυμικού Logit Μοντέλου, και εφαρμογή στην εκτίμηση της αξίας του χρόνου μετακίνησης». Χρησιμοποιήθηκε δείγμα από έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων που αφορά την επιλογή διαδρομής σε υπεραστικές μετακινήσεις. Στην έρευνα αυτή, παρουσιάζονται στους μετακινούμενους δύο εναλλακτικές επιλογές για την πραγματοποίηση της μετακίνησής του, οι οποίες είναι

«Κλειστός Αυτοκινητόδρομος/Νέα Εθνική Οδός» και «Παλαιά Εθνική Οδός». Από την έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων, προκύπτουν συνολικά 8830 παρατηρήσεις, που περιλαμβάνουν πληροφορία για την επιλογή του μετακινούμενου, τη διαθεσιμότητα των εναλλακτικών επιλογών, το χρόνο και το κόστος μετακίνησης, το μήκος μετακίνησης, το σκοπό μετακίνησης, το σκοπό μετακίνησης, την εισοδηματική κατηγορία του μετακινούμενου και την πηγή της πληρωμής. Στον πίνακα 6.4 παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με στοιχεία του δείγματος, ενώ στο πίνακα 6.5 παρουσιάζεται η επιλογή των μετακινούμενων σε σχέση με τις μετακινήσεις του ανά σκοπό.

Κατηγορίες	Υποκατηγορίες	Αριθμός Παρατηρήσεων	Ποσοστό(%)
<b>Σκοπός Μετακίνησης</b>	1. Από και προς τον τόπο Εργασίας	394	4.5
	2. Σχετικός με τη δουλειά	3914	44.3
	3. Από και προς σχολείο / πανεπιστήμιο	232	2.6
	4. Για αγορές	88	1.0
	5. Προσωπικές δουλειές	1301	14.7
	6.Επίσκεψη σε φίλους	1790	20.3
	7. Αναψυχή	1056	12.1
	(κενό)	46	0.5
<b>Μήκος Διαδρομής</b>	1. 0-50 χλμ.	529	6.0
	2. 51-155 χλμ.	1290	14.6
	3. 156-249 χλμ.	3107	35.2
	4. 250-390 χμλ.	2467	27.9
	5. >391 χλμ.	1031	11.7
	(κενό)	406	4.6
<b>Συχνότητα Μετακίνησης</b>	1. Κάθε μέρα	759	8.6
	2. Μία φορά ανά Εβδομάδα	820	9.3
	3. Μία φορά ανά μήνα	2045	23.2
	4. Μερικές φορές το χρόνο	4050	45.9
	(κενό)	1156	13.1
<b>Εισοδηματική Κατηγορία</b>	1. <300.000 δρχ.	1348	15.3
	2. 300.000-600.000 δρχ.	2991	33.9
	3. 600.001-900.000 δρχ.	2112	23.9
	4. >900.000 δρχ.	1336	15.1
	(κενό)	1043	11.8
<b>Τρόπος Πληρωμής</b>	1. Ο μετακινούμενος	7561	85.6
	2. Ο εργοδότης	901	10.2
	(κενό)	368	4.2

Πίνακας 6. 4: Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων του δείγματος

Σκοπός Μετακίνηση	Επιλογή		
	Νέα Εθνική Οδός	Παλαιά Εθνική Οδός	Άθροισμα(%)
1. Από και προς τον τόπο Εργασίας	2.4	2.1	4.5
2. Σχετικός με τη δουλειά	29.7	14.6	44.3
3. Από και προς το σχολείο / πανεπιστήμιο	1.6	1.1	2.7
4. Για αγορές	0.7	0.3	1.0
5. Προσωπικές δουλειές	9.0	5.7	14.7
6. Επίσκεψη σε φίλους	12.9	7.4	20.3
7. Αναψυχή	6.6	5.5	12.1
(κενό)	0.4	0.2	0.5
Άθροισμα	5574	3256	8830
Άθροισμα (%)	63.1	36.9	100

**Πίνακας 6. 5:** Επιλογή μετακινούμενων ανά σκοπό μετακίνησης

Από τον πίνακα 6.5 προκύπτει ότι πρώτη σε προτίμηση είναι επιλογή της Νέας Εθνικής Οδού με ποσοστό επιλογής 63.1%, έναντι της επιλογής της Παλαιάς Εθνικής Οδού με ποσοστό επιλογής 36.9%. Οι πλειοψηφία των μετακινήσεων που γίνονται μέσω της Νέας Εθνικής Οδού, σχετίζονται με την εργασία σε ποσοστό 29.7% και ακολουθούν οι επισκέψεις σε φίλους με ποσοστό 12.9%. Σε ότι αφορά την εναλλακτική της Παλαιάς Εθνικής Οδού, και σε αυτή την περίπτωση οι μετακινήσεις σχετίζονται με την εργασία.

Σε κάθε μοντέλο, υπάρχουν δύο εναλλακτικές επιλογές και επομένως δύο συναρτήσεις ωφέλειας. Η συνάρτηση ωφέλειας ενός μετακινούμενου  $q$  ο οποίος επιλέγει μία εναλλακτική  $j$ , δηλαδή επιλογή της Νέας Εθνικής Οδού ή επιλογή της Παλαιάς Εθνικής Οδού για τη πραγματοποίηση της μετακίνησής του θα είναι:

$$V_{jq} = \beta_1 * x_{1j} + \beta_2 * x_{2j} \quad (6.1)$$



Όπου  $\beta_1$  ο συντελεστής του χρόνου μετακίνησης,  $x_{1j}$  ο χρόνος μετακίνησης της εναλλακτικής  $j$ ,  $\beta_2$  ο συντελεστής του κόστους μετακίνησης και  $x_{2j}$  το κόστος μετακίνησης της εναλλακτικής  $j$ . Στην περίπτωση γενικών συντελεστών, ο συντελεστής του χρόνου μετακίνησης  $\beta_1$  θα είναι ίδιος σε όλες τις συναρτήσεις ωφέλειας. Στην περίπτωση ειδικών συντελεστών, ο συντελεστής του χρόνου μετακίνησης  $\beta_1$  μπορεί να διαφέρει στις συναρτήσεις ωφέλειας.

Για τον υπολογισμό της αξίας του χρόνου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό BIOGEME, έκδοση 1.4. Πρόκειται για ένα στατιστικό πακέτο το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μοντέλων στοχαστικής ωφέλειας όπως το πολυωνυμικό μοντέλο logit, μέσω της συνάρτησης της μέγιστης πιθανοφάνειας. Μετά την εφαρμογή του λογισμικού και για την περίπτωση των γενικών συντελεστών, η αξία του χρόνου προκύπτει σε 1568 δραχμές, η οποία τελικά ορίζεται σε 6 ευρώ

Στο μοντέλο του SATURN, η αξία του διοδίου, δηλαδή η επιπλέον επιβάρυνση που δέχονται οι μετακινούμενοι κατά την πραγματοποίηση των μετακινήσεων τους, λόγω του αντίτιμου του διοδίου, μπορεί να κωδικοποιηθεί και να εκφραστεί σε μονάδες χρόνου (δευτερολέπτων). Η επιβάρυνση αυτή κωδικοποιείται ως επιπλέον χρόνος μετακίνησης σε κάποιο σύνδεσμο του δικτύου. Για να ενσωματωθεί η αξία του διοδίου σε κάποιο σύνδεσμο του δικτύου, όπως έχει αναλυτικότερα αναφερθεί στο κεφάλαιο 5, ο συγκεκριμένος σύνδεσμος θα πρέπει να βρίσκεται στο πεδίο «απαγορευμένες στροφές και κινήσεις» (με κωδικό έναρξης και λήξης 44444 και 99999 αντίστοιχα) του αρχείου δόμησης του δικτύου. Στο πεδίο αυτό, εκτός από τον σύνδεσμο ορίζεται επίσης η επιπλέον επιβάρυνση σε μονάδες δευτερολέπτων καθώς επίσης και η ομάδα χρηστών (User Class) την οποία επηρεάζει.

Η αξία του διοδίου ορίστηκε σε 4 cents ανά χιλιόμετρο. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την τιμή της αξίας του χρόνου που προσδιορίστηκε σε 6 ευρώ ανά ώρα, τελικά η αξία του διοδίου προσδιορίζεται σε 24 δευτερόλεπτα ανά χιλιόμετρο. Η αξία του διοδίου, μπορεί να ενσωματωθεί στο δίκτυο σε ένα σύνδεσμο ελέγχου ή εναλλακτικά σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου αναλογικά με το μήκος του. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το επιπλέον κόστος του διοδίου, ενσωματώθηκε σε κάθε έναν από τους

συνδέσμους της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου – Πατρών αναλογικά με το μήκος του. Στον πίνακα 6.6 παρατίθενται οι σύνδεσμοι του δικτύου στους οποίους ενσωματώνεται η επιπλέον επιβάρυνση των διοδίων.

<b>Νέα Εθνική Οδός Κορίνθου - Πατρών</b>		
Σύνδεσμος	Μήκος Συνδέσμου(μέτρα)	Επιπλέον Κόστος(δευτερόλεπτα)
502-503	2664	111
102-103	11201	269
103-104	856	21
104-105	6271	151
105-106	934	22
106-107	339	8
106-208	1992	83
107-108	1373	33
108-110	721	496
114-503	3528	147
110-111	13636	327
111-112	28221	677
112-113	9796	235
113-114	13412	322
502-504	2264	111
502-117	13224	551
118-122	480	20
117-118	211	5
118-120	1788	43
120-121	352	9
<b>Σύνολο</b>	<b>113263</b>	<b>2718</b>

**Πίνακας 6. 6:** Κόστος διοδίου στους συνδέσμους του δικτύου

Στο σχήμα 6.5 παρατίθεται δείγμα του αρχείου δόμησης δικτύου με το πεδίο στο οποίο κωδικοποιείται το επιπλέον κόστος στους συνδέσμους του δικτύου. Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας

παρατίθεται ένα πλήρως δομημένο αρχείο δικτύου, για την περαιτέρω κατανόηση του τρόπου κωδικοποίησης δικτύων στο μοντέλο του SATURN.

44444		
102	103	269
103	102	269
103	104	21
104	103	21
104	105	151
105	104	151
105	106	22
106	105	22
106	107	8
107	106	8
106	208	83
208	106	83
107	108	33
108	107	33
108	110	496
110	108	496
110	111	327
111	110	327
111	112	677
112	111	677
99999		

Σχήμα 6. 5: Δείγμα πεδίου κωδικοποίησης κόστους διοδίων

#### 6.4 Εφαρμογή Μοντέλου

Για τον έλεγχο και την ανάλυση τυχόν μη λογικών διαδρομών όσον αφορά τα στοχαστικά μοντέλα φόρτισης των δικτύων κωδικοποιήθηκαν και μοντελοποιήθηκαν στο SATURN συνολικά 182 διαφορετικά σενάρια. Όλα τα σενάρια που μοντελοποιήθηκαν έχουν ως σταθερή βάση την απεικόνιση του δικτύου. Τα χαρακτηριστικά που μεταβάλλονται κατά τις διάφορες εφαρμογές της μοντελοποίησης του δικτύου, αφορούν τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου, τον πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόστηκε, τη μορφή της κατανομής του κόστους και τη διασπορά του κόστους κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου του Burrell για την επίλυση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας καθώς επίσης και την επιλογή ενός στοχαστικού ή ντετερμινιστικού μοντέλου ισορροπίας. Θα πρέπει να τονιστεί ότι για την επίλυση της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, χρησιμοποιείται από το SATURN ο αλγόριθμος των Frank και Wolfe, ενώ για την επίλυση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας

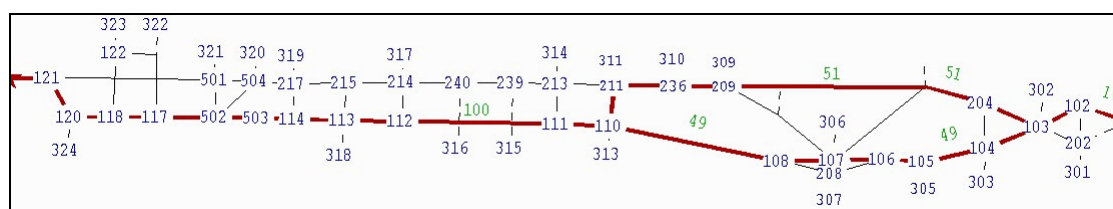
χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του Burrell. Τα βήματα των αλγορίθμων επίλυσης τόσο της ντετερμινιστικής όσο και της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας έχουν αναλυθεί εκτενέστερα στο κεφάλαιο 4.

Στα σχήματα 6.6 έως 6.11 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα δέντρα των διαδρομών στην κατάσταση ισορροπίας, με μετακινήσεις από Κόρινθο προς Πάτρα σε διαφορετικές κωδικοποιήσεις του δικτύου. Για καλύτερη κατανόηση των συνθηκών των δικτύων, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους στον πίνακα 6.7.

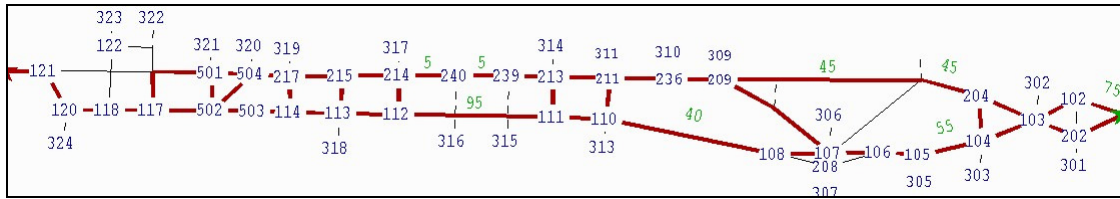
Εικόνα	Μοντέλο	Κατανομή Κόστους	Διασπορά (SUET*C)	Μετακινήσεις (οχήματα/ώρα)
6.6	Ντετερμινιστικό	-	-	300
6.7	Στοχαστικό	Ορθογωνική	0.2	300
6.8	Στοχαστικό	Ορθογωνική	0.4	300
6.9	Ντετερμινιστικό	-	-	500
6.10	Στοχαστικό	Κανονική	0.2	300
6.11	Στοχαστικό	Κανονική	0.4	300

Πίνακας 6. 7: Χαρακτηριστικά Δικτύων

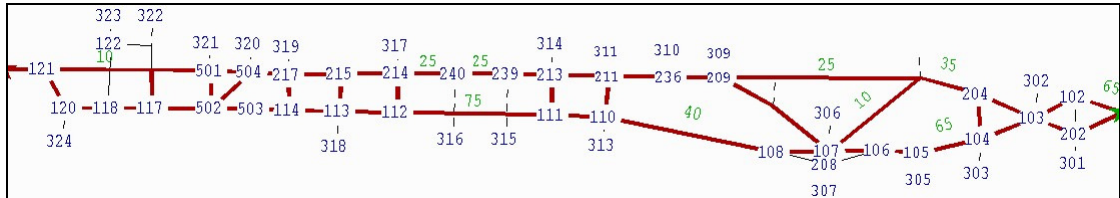
Σημειώνεται ότι τα στοιχεία των συνδέσμων είναι σταθερά σε όλα τα δίκτυα που παρουσιάζονται στα σχήματα 6.6 έως 6.11. Πιο συγκεκριμένα, για τους συνδέσμους της Νέας Εθνικής Οδού οι ταχύτητες στις καταστάσεις ελεύθερης ροής και κορεσμού έχουν ορισθεί σε 120 χλμ/ώρα και 90 χλμ/ώρα αντίστοιχα. Αντίθετα για την Παλαιά Εθνική οδό, οι αντίστοιχες ταχύτητες έχουν ορισθεί σε 60 χλμ/ώρα και 40 χλμ/ώρα.



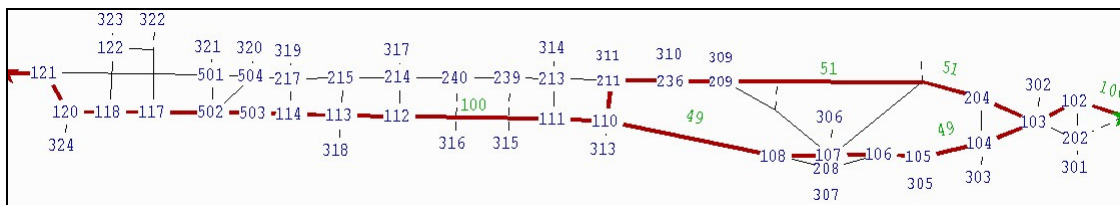
Σχήμα 6. 6: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα



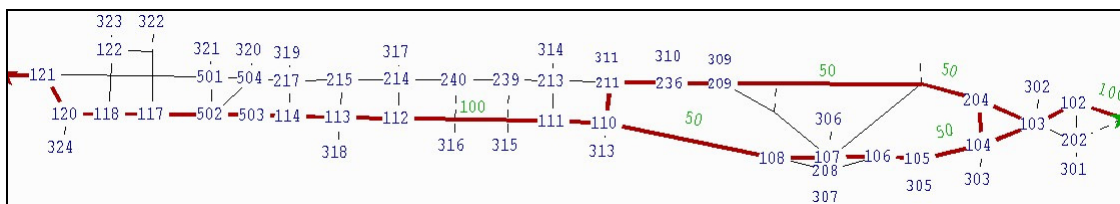
Σχήμα 6. 7: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα



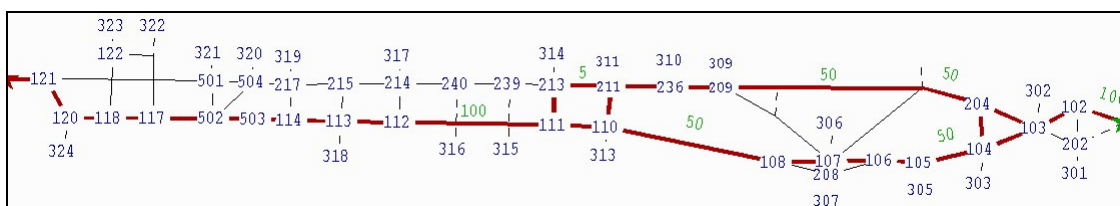
Σχήμα 6. 8: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα



Σχήμα 6. 9: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα



Σχήμα 6. 10: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα



Σχήμα 6. 11: Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα

## 6.5 Εντοπισμός και Ανάλυση Προβλημάτων Ενσωμάτωσης Αξίας Χρόνου

Η ωφέλεια που λαμβάνει ένας μετακινούμενος  $q$ , κατά την επιλογή μιας εναλλακτικής  $j$  μπορεί να περιγραφεί από μία γραμμική συνάρτηση που έχει τη μορφή  $V_{jq} = \sum_k \beta_{kj} * x_{jkq}$ . Στο μοντέλο που εφαρμόζεται, οι μετακινούμενοι καλούνται να επιλέξουν μεταξύ της Νέας ή Παλαιάς Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών, για την πραγματοποίηση των μετακινήσεων τους. Πρόκειται επομένως για ένα δυαδικό μοντέλο διακριτών επιλογών. Εάν  $V_N$  η ωφέλεια που λαμβάνει ένας μετακινούμενος κατά την επιλογή της Νέας Εθνικής Οδού και  $V_{\Pi}$  η ωφέλεια που λαμβάνει ένας μετακινούμενος κατά την επιλογή της Παλαιάς Εθνικής Οδού, τότε το δυαδικό μοντέλο διακριτών επιλογών θα περιγράφεται από τις σχέσεις:

$$V_N = \beta_t \chi \rho \nu \nu_N + \beta_c \kappa \sigma \tau \nu \nu_N + \beta_0 \quad (6.1.1)$$

$$V_{\Pi} = \beta_t \chi \rho \nu \nu_{\Pi} + \beta_c \kappa \sigma \tau \nu \nu_{\Pi} \quad (6.1.2)$$

Η αξία του χρόνου  $\frac{\beta_t}{\beta_c}$  προκύπτει από τις επιλογές των μετακινούμενων ανάμεσα στις δύο εναλλακτικές, που περιγράφονται από τις σχέσεις (6.1.1) και (6.1.2). Επίσης, παρατηρείται ότι στη συνάρτηση ωφέλειας της εναλλακτικής της Νέας Εθνικής Οδού, εμφανίζεται μία σταθερά  $\beta_0$ , η οποία εκφράζει παράγοντες του μέσου οι οποίοι δε μπορούν να μετρηθούν ή να ποσοτικοποιηθούν όπως για παράδειγμα ασφάλεια και άνεση. Θετική σταθερά στη συνάρτηση ωφέλειας, εκφράζει μία συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων προς τη συγκεκριμένη εναλλακτική που προκύπτει από τα μη μετρήσιμα και ποσοτικοποιήσιμα χαρακτηριστικά.

Οι αλγόριθμοι επίλυσης τόσο της ντετερμινιστικής όσο και της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας βασίζονται στο καταμερισμό των μετακινούμενων στις διαδρομές με το χαμηλότερο κόστος, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του συγκοινωνιακού δικτύου, χρησιμοποιώντας την αξία του χρόνου για τον υπολογισμό του γενικευμένου κόστους στους συνδέσμους του δικτύου. Η ωφέλεια που μοντελοποιείται και λαμβάνεται υπόψη από τους αλγόριθμους επίλυσης της

κατάστασης ισορροπίας είναι η μετρούμενη ωφέλεια  $V_{jq}$ . Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί, ότι τα ντετερμινιστικά μοντέλα αγνοούν οποιαδήποτε στοχαστικά φαινόμενα. Ενώ τόσο τα ντετερμινιστικά όσο και τα στοχαστικά μοντέλα καταμερισμού δε λαμβάνουν υπ όψη τη συστηματική των μετακινούμενων που εκφράζεται από την ειδική σταθερά. Επομένως εντοπίζεται μία ανακολουθία μεταξύ των παραδοχών που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς και στον υπολογισμό της αξίας του χρόνου από τα μοντέλα διακριτών επιλογών και στον τρόπο ενσωμάτωσής τους στα μοντέλα ανάλυσης κυκλοφοριακών δικτύων. Επομένως κατά την εφαρμογή αυτών των αλγόριθμων καταμερισμού είναι πιθανό να προκύψουν διαδρομές, οι οποίες δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα ή είναι μη λογικές.

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου του SATURN, εντοπίστηκε πλήθος τέτοιων μη λογικών διαδρομών στην πλειονότητα των σεναρίων που αναλύθηκαν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται ορισμένα από αυτά τα σεναρία. Τέλος επισημαίνεται ότι στόχος των σεναρίων που αναλύθηκαν και παρουσιάζονται είναι η ανάδειξη των προβλημάτων που προκύπτουν από την ασυμβατότητα των παραδοχών που γίνονται μεταξύ των μοντέλων διακριτών επιλογών και των μοντέλων καταμερισμού και όχι ο υπολογισμός των φόρτων του συγκοινωνιακού δικτύου Κορίνθου Πατρών.

### Δίκτυο Α

Στο δίκτυο που παρουσιάζεται και αναλύεται σε αυτή την ενότητα έχει επιλεγθεί να εφαρμοστεί ένα στοχαστικό μοντέλο φόρτισης δικτύων, βασισμένο στον αλγόριθμο του Burrell. Η μορφή της κατανομής του σφάλματος του κόστους έχει ορισθεί σε ορθογώνια, ενώ η διασπορά του σφάλματος σε  $0.2 * C$ . Τα στοιχεία των συνδέσμων του δικτύου, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.8. Ακόμα, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι στον πίνακα προέλευσης – προορισμού που εφαρμόστηκε ορίζονται μετακινήσεις της τάξης των 300 οχημάτων ανά ώρα από Κόρινθο προς Πάτρα και 100 οχημάτων ανά ώρα από Κόρινθο προς όλους τους ενδιάμεσους προορισμούς. Τέλος για την ορθότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, στον πίνακα 6.9 παρατίθενται οι κόμβοι του δικτύου με την αντίστοιχη αριθμηση του.

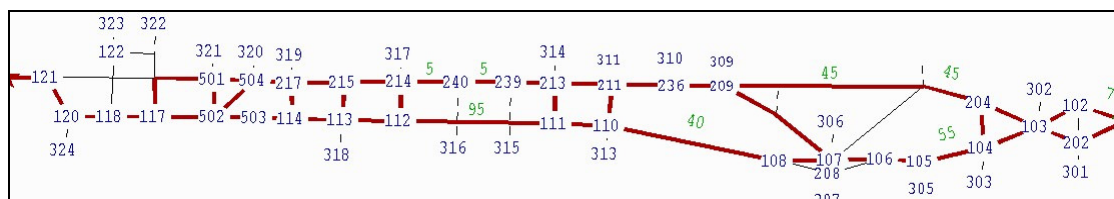
	Νέα Εθνική Οδός	Παλαιά Εθνική Οδός	Σύνδεσμοι Κεντροειδούς
Λωρίδες Κυκλοφορίας	2	1	1
Χωρητικότητα ανά Λωρίδα	2250	1600	9999
Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής	120	60	80
Ταχύτητα Κορεσμού	90	40	80

**Πίνακας 6. 8:** Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου Α

Αρίθμηση	Κόμβος
102/202	Αγ. Θεοδώρων
103	Ισθμού Κορίνθου
107	Κορίνθου
110/211	Κιάτου
111/213	Ξυλόκαστρου
112/214	Ακράτας
113/215	Διακοπτού
114/217	Αιγίου
501/502	Σελιανίτικων
117/118	Ρίου

**Πίνακας 6. 9:** Αρίθμηση κόμβων

Το δένδρο διαδρομών στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας από την Κόρινθο με προορισμό την Πάτρα παρουσιάζεται στο σχήμα 6.12.

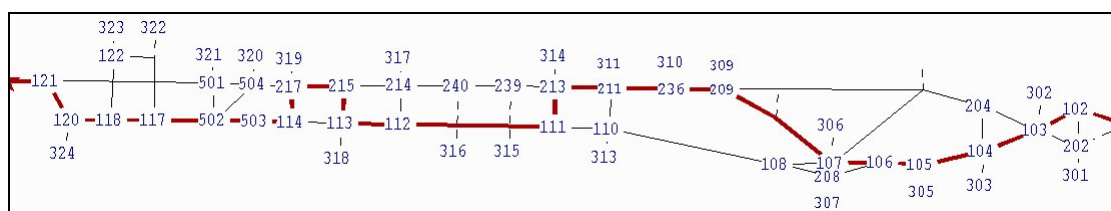


**Σχήμα 6. 12:** Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα



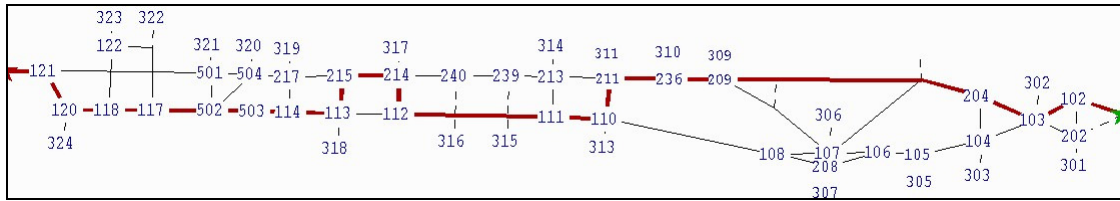
Μερικές από τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας και που συνθέτουν το δένδρο διαδρομών του σχήματος 6.12, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω. Σε κάθε μία από αυτές τις διαδρομές, κατανέμεται το 5% των μετακινήσεων του πίνακα προέλευσης – προορισμού, εφόσον ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγόριθμου του Burrell έχει οριστεί σε είκοσι (20). Οι διαδρομές αυτές παρουσιάζονται στα σχήματα 6.13 έως 6.19.

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.13, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο της Παλαιάς Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Διακοπτού και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Αιγίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



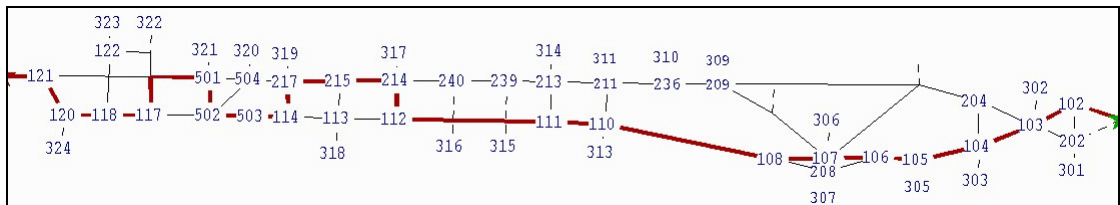
**Σχήμα 6. 13:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.14, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Κιάτου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Διακοπτού απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



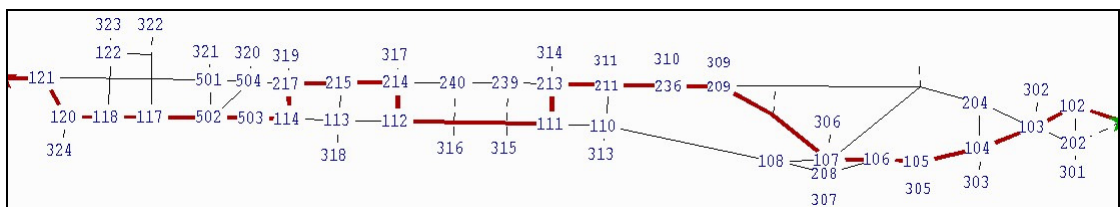
**Σχήμα 6. 14:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.15, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο της Ακράτας. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Διακοπτού, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



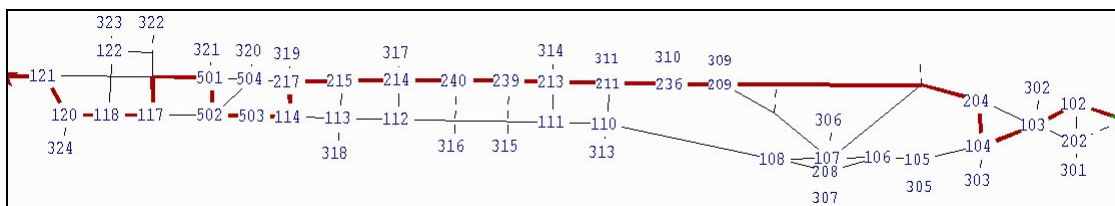
**Σχήμα 6. 15:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.16, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο της Παλαιάς Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Αγίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



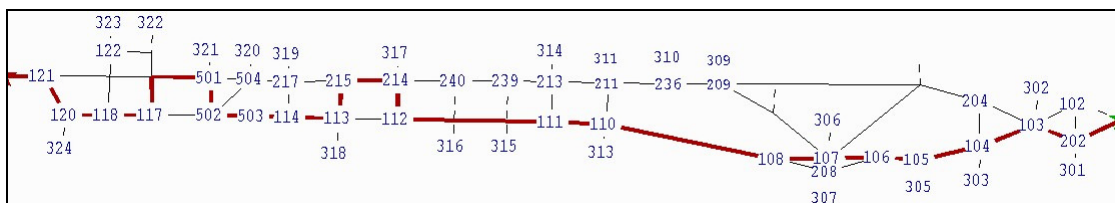
**Σχήμα 6. 16:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.17, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Αιγίου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στο δεύτερο κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



**Σχήμα 6. 17:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

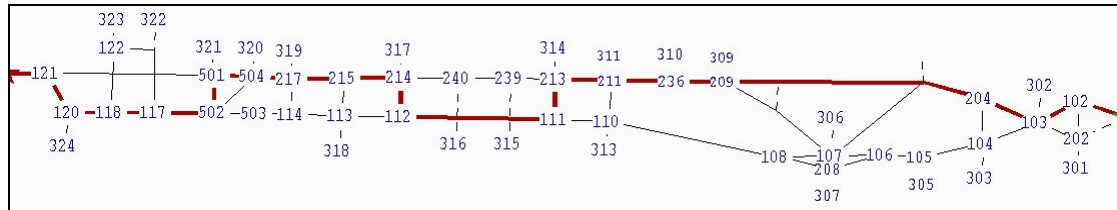
Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.18, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Παλαιά Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου, όπου και θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό. Στη συνέχεια θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Διακοπτού, θα εξέλθουν από τη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



**Σχήμα 6. 18:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

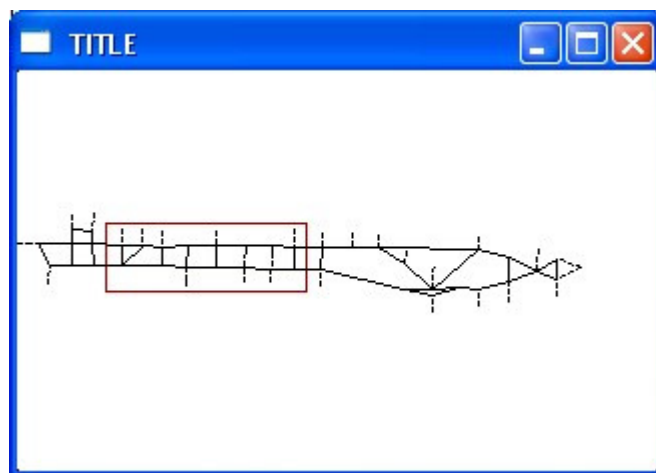
Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.19, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν

από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



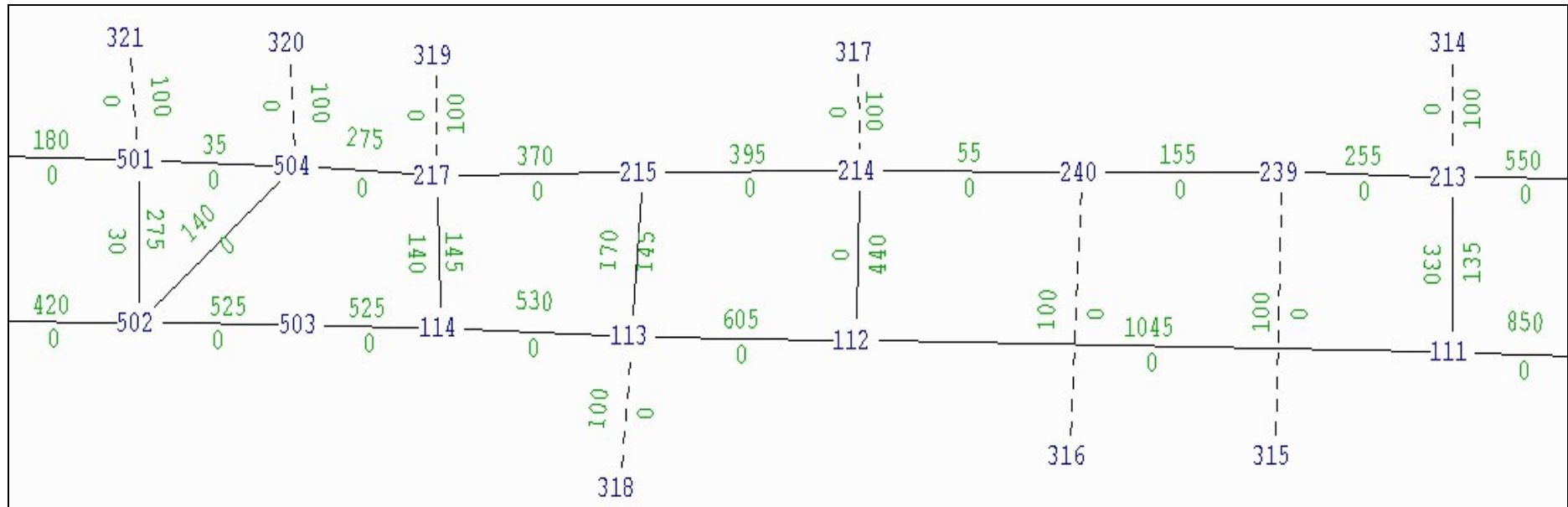
**Σχήμα 6. 19:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας του συγκεκριμένου δικτύου, χρησιμοποιούνται συνολικά είκοσι εναλλακτικές διαδρομές από τους μετακινούμενους. Στις χαρακτηριστικές εναλλακτικές διαδρομές που παρουσιάστηκαν αναδεικνύεται το πρόβλημα των μη λογικών διαδρομών, καθώς οι μετακινούμενοι κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησης τους από την Κόρινθο με προορισμό την Πάτρα θα εισέλθουν και θα εξέλθουν από τη Νέα Εθνική οδό Κορίνθου Πατρών έως και 5 φορές. Οι είκοσι αυτές εναλλακτικές διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, συνθέτουν τελικά το δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα, το οποίο παρουσιάστηκε στο σχήμα 6.12. Για την περαιτέρω ανάλυση και κατανόηση του προβλήματος, παρουσιάζεται και αναλύεται τμήμα του δικτύου από τον κόμβο του Κιάτου έως τον κόμβο των Σελιανίτικων. Το τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί σε σχέση με το συνολικό δίκτυο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.20.

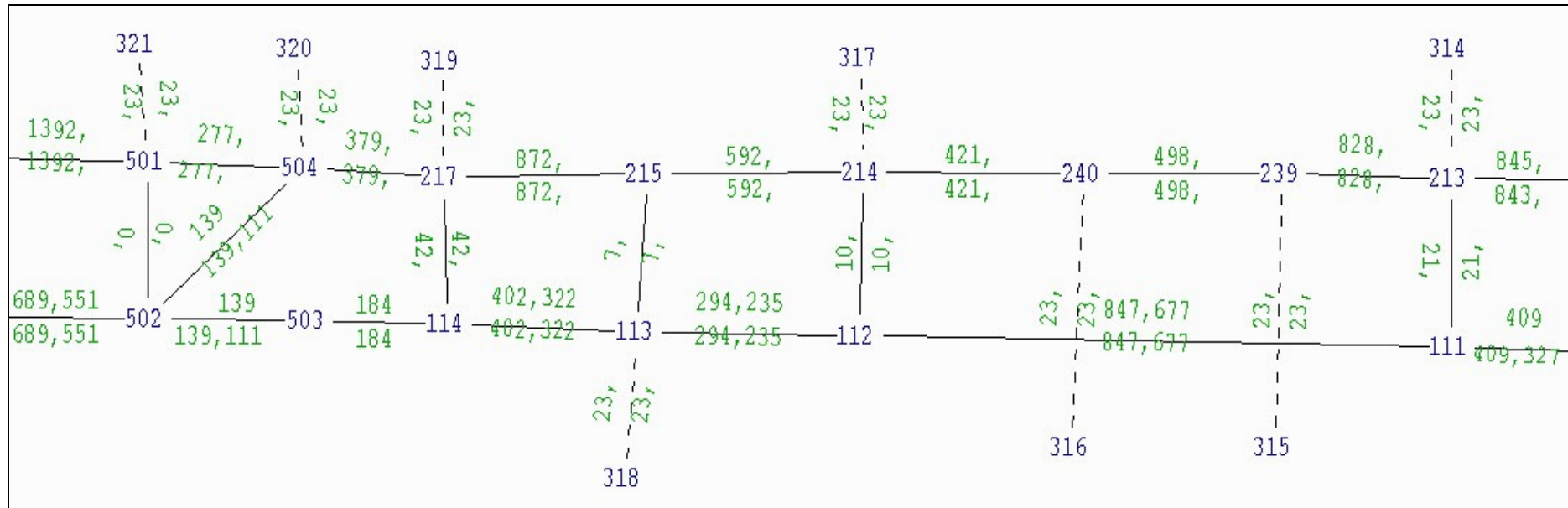


**Σχήμα 6. 20:** Τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί

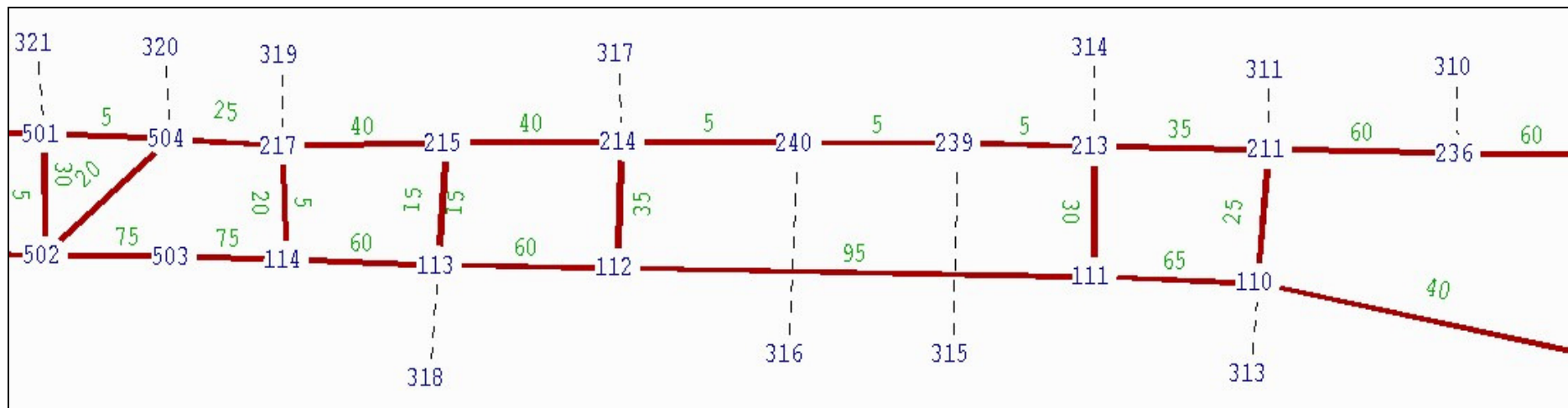
Επιπροσθέτως, στο σχήμα 6.21, παρατίθενται οι φόρτοι στους συνδέσμους του συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου, ενώ στο σχήμα 6.22 παρατίθενται οι χρόνοι μετακίνησης στους συνδέσμους τους συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου. Θα πρέπει να επισημανθεί, ότι στους συνδέσμους που ανήκουν στη Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών, παρουσιάζονται δύο χρόνοι. Ο πρώτος αφορά το χρόνο που χρειάζεται ένας μετακινούμενος να διανύσει τον εν λόγω σύνδεσμο στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας, ενώ ο δεύτερος αφορά τον επιπλέον χρόνο μετακίνησης που επιβάλλεται στους μετακινούμενους που χρησιμοποιούν το σύνδεσμο, λόγω του διοδίου. Για παράδειγμα, στο σύνδεσμο μεταξύ των κόμβων 112 και 113 το ο χρόνος που χρειάζεται ένας μετακινούμενος για να διανύσει σύνδεσμο είναι 294 δευτερόλεπτα, ενώ ο επιπρόσθετος χρόνος λόγω της επιβάρυνσης του διοδίου είναι 235 δευτερόλεπτα. Επομένως το κόστος της μετακίνησης στους συνδέσμους της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών θα είναι το άθροισμα του χρόνου μετακίνησης καθώς επίσης και του επιπλέον χρόνου λόγω του κόστους του διοδίου. Τέλος στο σχήμα 6.23 παρατίθεται το δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα,



**Σχήμα 6. 21:** Φόρτοι στη στοχαστική κατάσταση στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί



Σχήμα 6. 22: Χρόνοι μετακίνησης στη στοχαστική κατάσταση στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί



**Σχήμα 6. 23:** Ποσοστό % των φόρτων στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί



Σύμφωνα με το δένδρο διαδρομών, του τμήματος του δικτύου που έχει απομονωθεί, το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.23, που αποτελείται από τις είκοσι εναλλακτικές διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, το 40% των μετακινούμενων θα εισέλθει στον κόμβο του Κιάτου μέσω της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών, ενώ το 60% των μετακινούμενων θα εισέλθει στο κόμβο του Κιάτου μέσω της Παλαιάς Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών. Στη συνέχεια οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν τέτοιες διαδρομές, ώστε μέχρι να ολοκληρώσουν τη μετακίνησή τους, δηλαδή μέχρι να καταλήξουν στο κέντρο της πόλης της Πάτρας, το ποσοστό των που θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική θα είναι 65% έως τον κόμβο του Ξυλοκάστρου, 95% έως τον κόμβο της Ακράτας, 60% έως τον κόμβο του Διακοπτού, 60% έως τον κόμβο του Αιγίου και 75% έως τον κόμβο των Σελιανίτικων. Τα αντίστοιχα συμπληρωματικά ποσοστά των μετακινούμενων χρησιμοποιούν την Παλαιά Εθνική Οδό. Το ποσοστό των μετακινούμενων που εισέρχονται και εξέρχονται από τη Νέα Εθνική Οδό σε κάθε κόμβο του δικτύου, αναπαρίσταται στο σχήμα 6.23.

Όπως παρατηρείται στα σχήματα 6.21 και 6.22, οι φόρτοι κατανέμονται στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου σύμφωνα με το κόστος μετακίνησης στις εναλλακτικές αυτές διαδρομές, δηλαδή σύμφωνα με το χρόνο μετακίνησης στους συνδέσμους των εναλλακτικών διαδρομών. Πιο συγκεκριμένα από τον κόμβο του Κιάτου(110) έως τον κόμβο του Ξυλοκάστρου(111), ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Νέας Εθνικής Οδού είναι 736 δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Παλαιάς Εθνικής οδού είναι 845 δευτερόλεπτα. Από τον κόμβο του Ξυλοκάστρου(111) έως τον κόμβο της Ακράτας(112) ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Νέας Εθνικής Οδού είναι 1524 δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Παλαιάς Εθνικής οδού είναι 1747 δευτερόλεπτα. Από τον κόμβο της Ακράτας(112) έως τον κόμβο του Διακοπτού(113) ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Νέας Εθνικής Οδού είναι 529 δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Παλαιάς Εθνικής Οδού είναι 592 δευτερόλεπτα. Το κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους μεταξύ των κόμβων του τμήματος του δικτύου που έχει απομονωθεί, παρουσιάζεται στον πίνακα 6.10, για την ορθότερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων της επίλυσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας.

		Κόστος Μετακίνησης (δευτερόλεπτα)		
Από Κόμβο	Προς Κόμβο	Νέα Εθνική	Παλαιά Εθνική	Διαφορά
Κιάτο	Ξυλόκαστρο	736	845	109 (13%)
Ξυλόκαστρο	Ακράτα	1524	1747	223 (13%)
Ακράτα	Διακοπτό	529	592	63 (11%)
Διακοπτό	Αίγιο	724	872	148 (17%)
Αίγιο	Σελιανίτικα	434	656	222 (34%)
<b>Σύνολο</b>		3947	4712	765 (16%)

**Πίνακας 6. 10:** Κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου

Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6.10 το κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου που έχει απομονωθεί, διαφέρει κατά μερικές ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ των συνδέσμων που ανήκουν στην Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό. Η κατάσταση αυτή που περιγράφεται στο πίνακα 6.10, είναι παρόμοια σε όλο το μήκος των δύο Εθνικών Οδών. Επομένως η Παλαιά και Νέα Εθνική Οδός καθίστανται ανταγωνιστικές μεταξύ τους, όσον αφορά το κόστος μετακίνησης. Αποτέλεσμα αυτού, είναι κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell για την επίλυση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές διαδρομές, οι σύνδεσμοι των οποίων ανήκουν τόσο στην Παλαιά όσο στη Νέα εθνική Οδό. Η διασπορά των μετακινούμενων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου, οφείλεται στο γεγονός ότι εφόσον τα τμήματα των Εθνικών Οδών είναι ανταγωνιστικά μεταξύ τους, σε μία ή περισσότερες φορτίσεις του δικτύου κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell και λόγω των στοχαστικών φαινομένων, τμήματα της Παλαιάς Εθνικής Οδού, έχουν μικρότερο κόστος μετακίνησης από τμήματα της Νέας Εθνικής Οδού. Από τις διαδρομές αυτές τελικά δημιουργείται το δένδρο διαδρομών που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.12.

### **Δίκτυο Β**

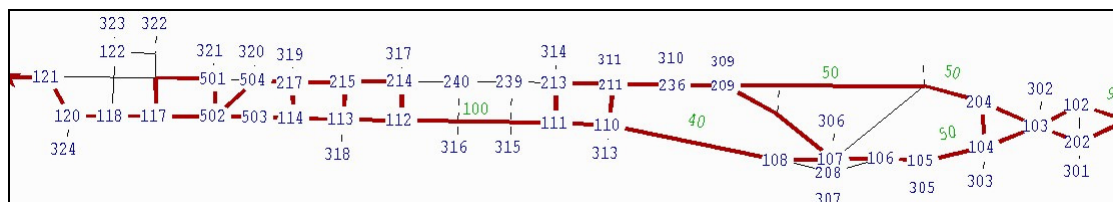
Στο δίκτυο που παρουσιάζεται και αναλύεται σε αυτή την ενότητα έχει επιλεγθεί να εφαρμοστεί ένα στοχαστικό μοντέλο φόρτισης δικτύων, βασισμένο στον αλγόριθμο του Burrell. Η μορφή της κατανομής του σφάλματος του κόστους έχει οριστεί σε

ορθογώνια, ενώ η διασπορά του σφάλματος σε 0.1\*C. Τα στοιχεία των συνδέσμων του δικτύου, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.11. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί, ότι στον πίνακα προέλευσης – προορισμού που εφαρμόστηκε ορίζονται μετακινήσεις της τάξης των 300 οχημάτων ανά ώρα από Κόρινθο προς Πάτρα και 100 οχημάτων ανά ώρα από Κόρινθο προς όλους τους ενδιάμεσους προορισμούς.

	Νέα Εθνική Οδός	Παλαιά Εθνική Οδός	Σύνδεσμοι Κεντροειδούς
Λωρίδες Κυκλοφορίας	2	1	1
Χωρητικότητα ανά Λωρίδα	2250	1600	9999
Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής	120	60	80
Ταχύτητα Κορεσμού	90	40	80

**Πίνακας 6. 11:** Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου Β

Το δένδρο διαδρομών στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας από την Κόρινθο με προορισμό την Πάτρα παρουσιάζεται στο σχήμα 6.24.

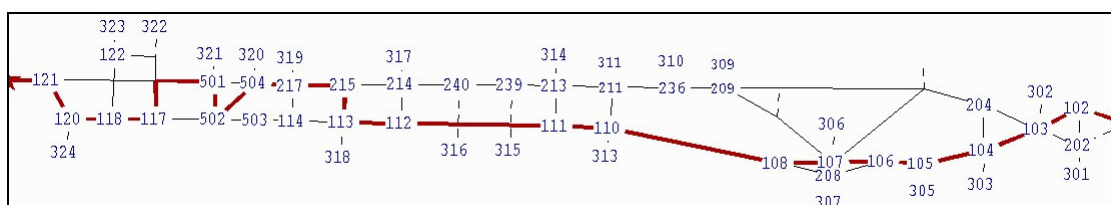


**Σχήμα 6. 24:** Παρουσίαση δένδρου διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα

Μερικές από τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας και που συνθέτουν το δένδρο διαδρομών του σχήματος 6.24, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω. Σε κάθε μία από αυτές τις διαδρομές, κατανέμεται από 5% έως 10% των μετακινήσεων του πίνακα προέλευσης – προορισμού. Οι διαδρομές αυτές παρουσιάζονται στα σχήματα 6.25 έως 6.30.

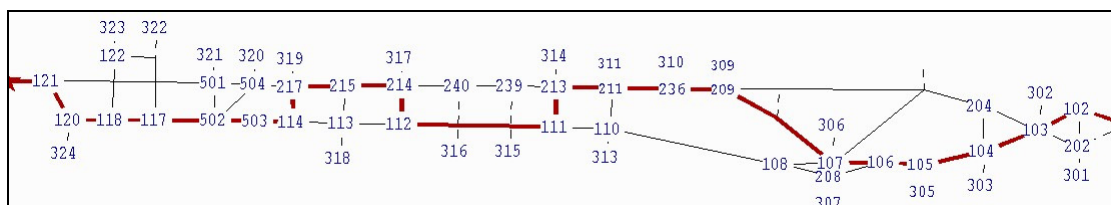
Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.25, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την

πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Διακοπτού. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Αιγίου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



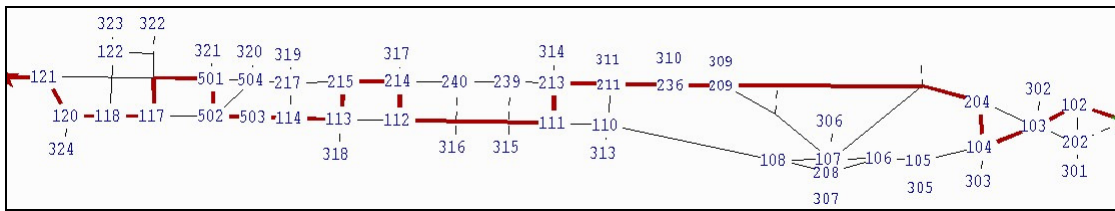
Σχήμα 6. 25: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.26, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο της Παλιάς Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Αιγίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



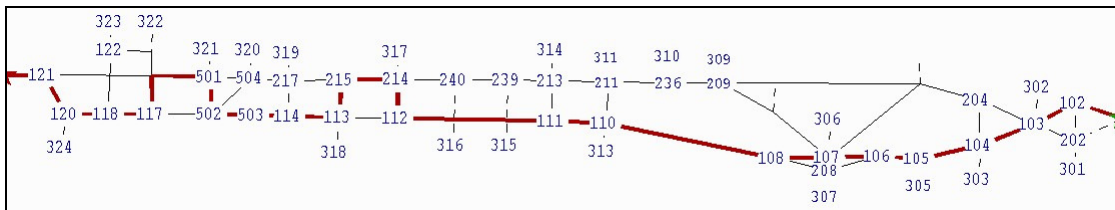
Σχήμα 6. 26: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.27, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Διακοπτού, θα εξέλθουν από τη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας.



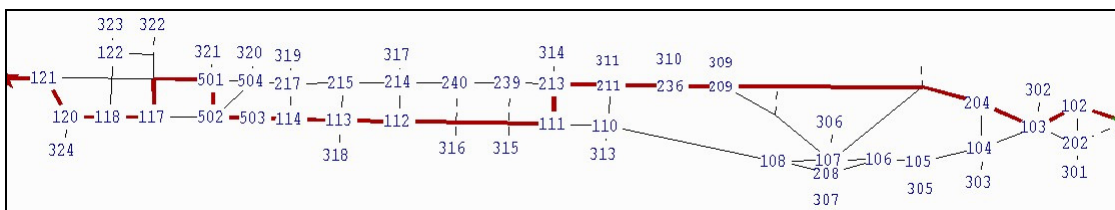
**Σχήμα 6. 27:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.28, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο της Ακράτας. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Διακοπτού, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας



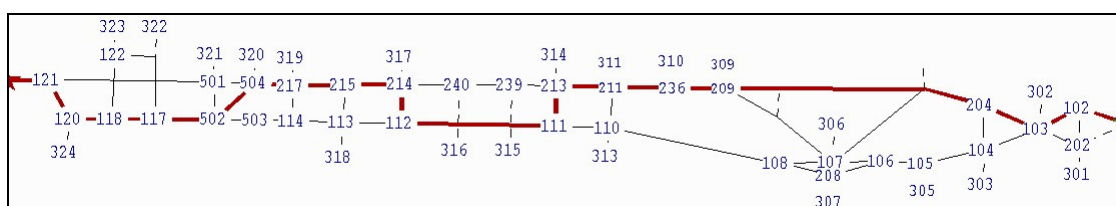
**Σχήμα 6. 28:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.29, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ρίου απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας



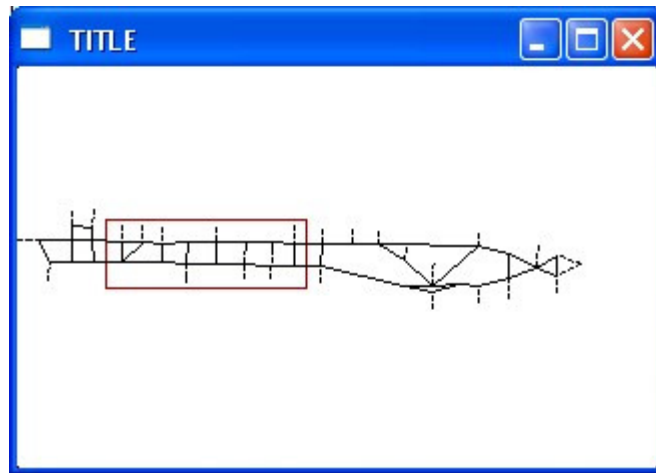
**Σχήμα 6. 29:** Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Σύμφωνα με τη διαδρομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.30, το 5% των μετακινούμενων του πίνακα προέλευσης προορισμού που εφαρμόζεται, κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό έως τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου. Στη συνέχεια θα εξέλθουν στην Παλαιά Εθνική Οδό, θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο του Ξυλόκαστρου, θα εξέλθουν από την Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο της Ακράτας και τέλος θα εισέλθουν στη Νέα Εθνική Οδό στον κόμβο των Σελιανίτικων απ' όπου θα καταλήξουν στην πόλη της Πάτρας



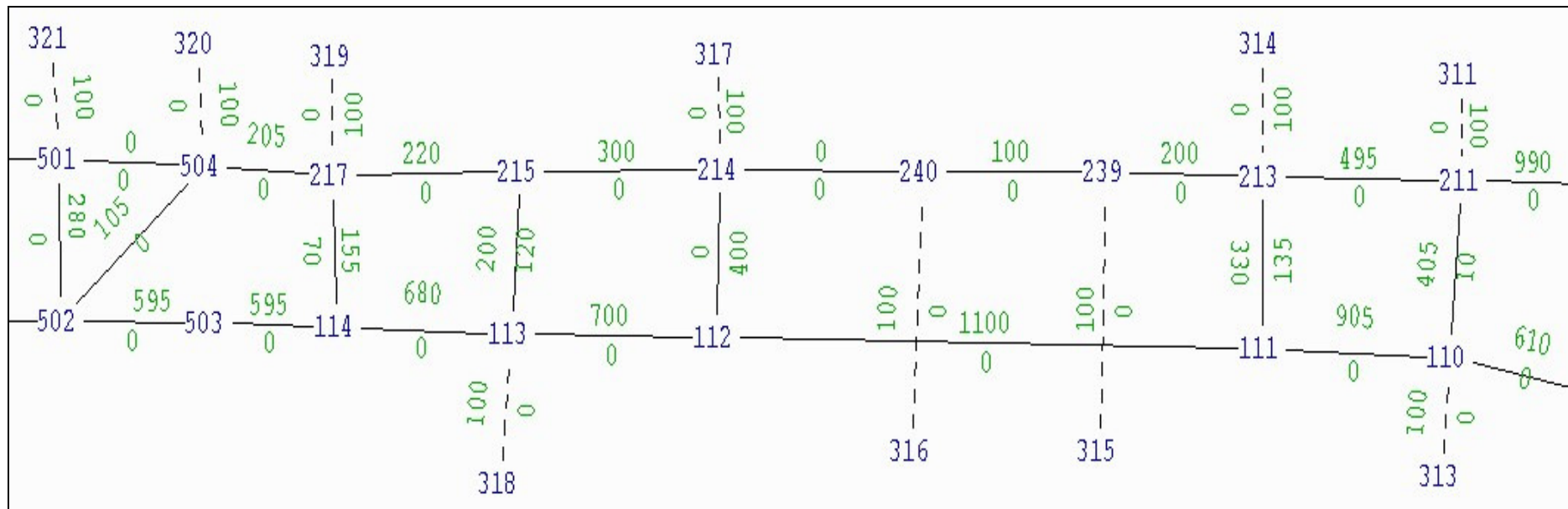
Σχήμα 6. 30: Διαδρομή στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας

Στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας του συγκεκριμένου δικτύου, χρησιμοποιούνται συνολικά δεκαεννέα εναλλακτικές διαδρομές από τους μετακινούμενους. Στις χαρακτηριστικές εναλλακτικές διαδρομές που παρουσιάστηκαν αναδεικνύεται το πρόβλημα των μη λογικών διαδρομών, καθώς οι μετακινούμενοι κατά την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους από την Κόρινθο με προορισμό την Πάτρα θα εισέλθουν και θα εξέλθουν από τη Νέα Εθνική οδό Κορίνθου Πατρών έως και 6 φορές. Οι δεκαεννέα αυτές εναλλακτικές διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, συνθέτουν τελικά το δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα, το οποίο παρουσιάστηκε στο σχήμα 6.24. Για την περαιτέρω ανάλυση και κατανόηση του προβλήματος, παρουσιάζεται και αναλύεται τμήμα του δικτύου από τον κόμβο του Κιάτου έως τον κόμβο των Σελιανίτικων. Το τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί σε σχέση με το συνολικό δίκτυο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.31.



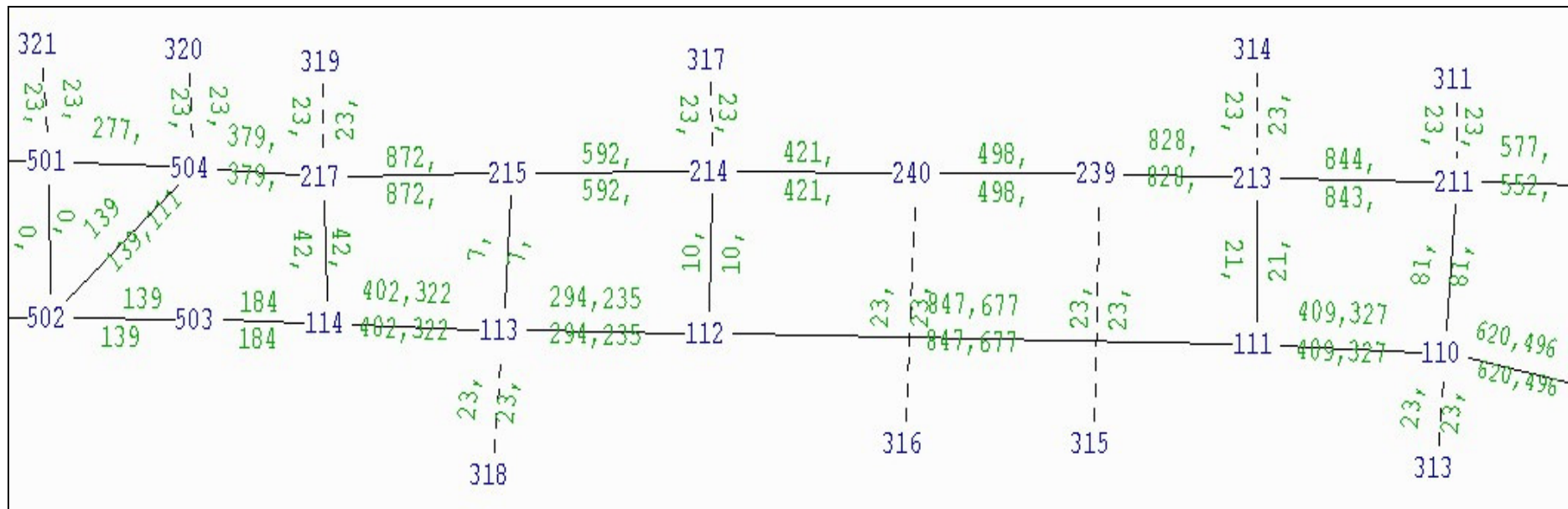
**Σχήμα 6. 31:** Τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί

Επιπροσθέτως, στο σχήμα 6.32, παρατίθενται οι φόρτοι στους συνδέσμους του συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου, ενώ στο σχήμα 6.33 παρατίθενται οι χρόνοι μετακίνησης στους συνδέσμους τους συγκεκριμένου τμήματος του δικτύου. Θα πρέπει να επισημανθεί, ότι στους συνδέσμους που ανήκουν στη Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών, παρουσιάζονται δύο χρόνοι. Ο πρώτος αφορά το χρόνο που χρειάζεται ένας μετακινούμενος να διανύσει τον εν λόγω σύνδεσμο στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας, ενώ ο δεύτερος αφορά τον επιπλέον χρόνο μετακίνησης που επιβάλλεται στους μετακινούμενους που χρησιμοποιούν το σύνδεσμο, λόγω του διοδίου. Επομένως το κόστος της μετακίνησης στους συνδέσμους της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών θα είναι το άθροισμα του χρόνου μετακίνησης καθώς επίσης και του επιπλέον χρόνου λόγω του κόστους του διοδίου. Τέλος στο σχήμα 6.34 παρατίθεται το δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα.

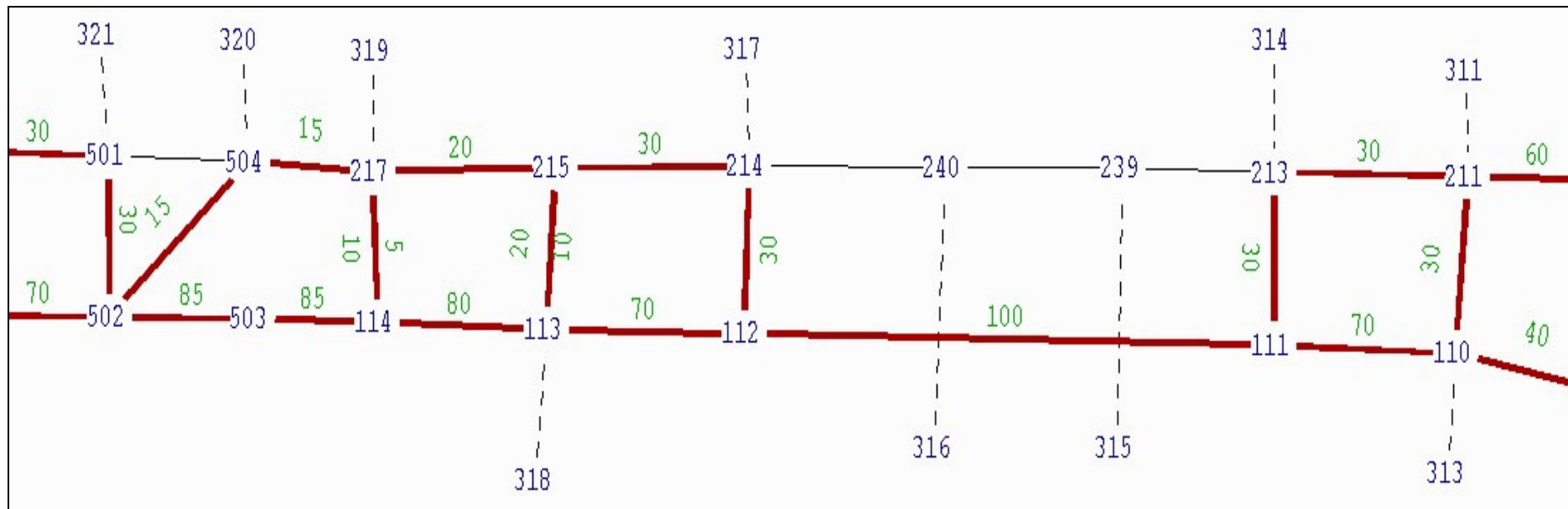


Σχήμα 6. 32: Φόρτοι στη στοχαστική κατάσταση στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί





Σχήμα 6. 33: Χρόνοι μετακίνησης στη στοχαστική κατάσταση στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί



Σχήμα 6. 34: Ποσοστό % των φόρτων στη στοχαστική κατάσταση ισορροπίας στο τμήμα του δικτύου που έχει απομονωθεί

Σύμφωνα με το δένδρο διαδρομών, του τμήματος του δικτύου που έχει απομονωθεί, το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.34, που αποτελείται από τις δεκαεννέα εναλλακτικές διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους μετακινούμενους στην κατάσταση της στοχαστικής ισορροπίας, το 40% των μετακινούμενων θα εισέλθει στον κόμβο του Κιάτου μέσω της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών, ενώ το 60% των μετακινούμενων θα εισέλθει στο κόμβο του Κιάτου μέσω της Παλαιάς Εθνικής Οδού Κορίνθου Πατρών. Στη συνέχεια οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν τέτοιες διαδρομές, ώστε μέχρι να ολοκληρώσουν τη μετακίνηση τους, δηλαδή μέχρι να καταλήξουν στο κέντρο της πόλης της Πάτρας, το ποσοστό των που θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική θα είναι 70% έως τον κόμβο του Ξυλοκάστρου, 100% έως τον κόμβο της Ακράτας, 70% έως τον κόμβο του Διακοπτού, 80% έως τον κόμβο του Αιγίου και 85% έως τον κόμβο των Σελιανίτικων. Τα αντίστοιχα συμπληρωματικά ποσοστά των μετακινούμενων χρησιμοποιούν την Παλαιά Εθνική Οδό. Το ποσοστό των μετακινούμενων που εισέρχονται και εξέρχονται από τη Νέα Εθνική Οδό σε κάθε κόμβο του δικτύου, αναπαρίσταται στο σχήμα 6.34.

Όπως παρατηρείται στα σχήματα 6.32 και 6.33, οι φόρτοι κατανέμονται στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου σύμφωνα με το κόστος μετακίνησης στις εναλλακτικές αυτές διαδρομές, δηλαδή σύμφωνα με το χρόνο μετακίνησης στους συνδέσμους των εναλλακτικών διαδρομών. Πιο συγκεκριμένα από τον κόμβο του Κιάτου(110) έως τον κόμβο του Ξυλοκάστρου(111), ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Νέας Εθνικής Οδού είναι 736 δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Παλαιάς Εθνικής οδού είναι 844 δευτερόλεπτα. Από τον κόμβο του Ξυλοκάστρου(111) έως τον κόμβο της Ακράτας(112) ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Νέας Εθνικής Οδού είναι 1524 δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Παλαιάς Εθνικής οδού είναι 1747 δευτερόλεπτα. Από τον κόμβο της Ακράτας(112) έως τον κόμβο του Διακοπτού(113) ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Νέας Εθνικής Οδού είναι 529 δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος μετακίνησης στο τμήμα της Παλαιάς Εθνικής Οδού είναι 592 δευτερόλεπτα. Το κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους μεταξύ των κόμβων του τμήματος του δικτύου που έχει απομονωθεί, παρουσιάζεται στον πίνακα 6.12, για την ορθότερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων της επίλυσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας.

		Κόστος Μετακίνησης (δευτερόλεπτα)		
Από Κόμβο	Προς Κόμβο	Νέα Εθνική	Παλαιά Εθνική	Διαφορά
Κιάτο	Ξυλόκαστρο	736	844	108 (13%)
Ξυλόκαστρο	Ακράτα	1524	1747	223 (13%)
Ακράτα	Διακοπτό	529	592	63 (11%)
Διακοπτό	Αίγιο	724	872	148 (17%)
Αίγιο	Σελιανίτικα	434	656	222 (34%)
<b>Σύνολο</b>		3947	4712	765 (16%)

**Πίνακας 6. 12:** Κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου

Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6.12 το κόστος μετακίνησης στους συνδέσμους του δικτύου που έχει απομονωθεί, διαφέρει κατά μερικές ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ των συνδέσμων που ανήκουν στην Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό. Η κατάσταση αυτή που περιγράφεται στο πίνακα 6.12, είναι παρόμοια σε όλο το μήκος των δύο Εθνικών Οδών. Επομένως η Παλαιά και Νέα Εθνική Οδός καθίστανται ανταγωνιστικές μεταξύ τους, όσον αφορά το κόστος μετακίνησης. Αποτέλεσμα αυτού, είναι κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell για την επίλυση της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας, να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές διαδρομές, οι σύνδεσμοι των οποίων ανήκουν τόσο στην Παλαιά όσο στη Νέα εθνική Οδό. Η διασπορά των μετακινούμενων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου, οφείλεται στο γεγονός ότι εφόσον τα τμήματα των Εθνικών Οδών είναι ανταγωνιστικά μεταξύ τους, σε μία ή περισσότερες φορτίσεις του δικτύου κατά την εφαρμογή του αλγόριθμου του Burrell και λόγω των στοχαστικών φαινομένων, τμήματα της Παλαιάς Εθνικής Οδού, έχουν μικρότερο κόστος μετακίνησης από τμήματα της Νέας Εθνικής Οδού. Από τις διαδρομές αυτές τελικά δημιουργείται το δένδρο διαδρομών που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.24.

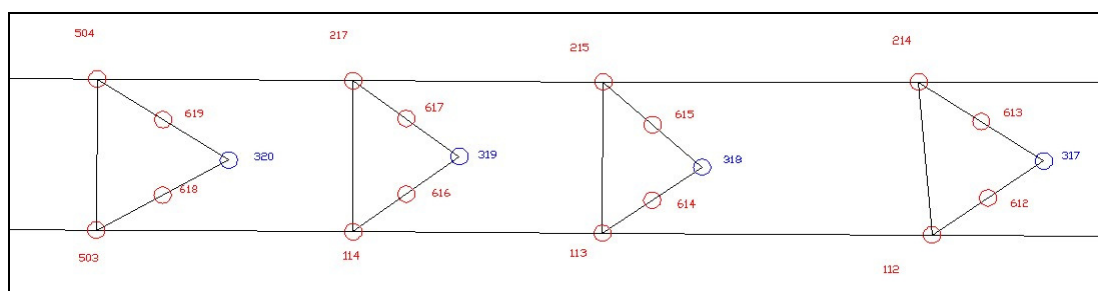
Στη συνέχεια πραγματοποιείται μία νέα κωδικοποίηση του δικτύου που εξετάζεται σε αυτή την ενότητα, με τη μέθοδο των δεδηλωμένων προτιμήσεων, ώστε η ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού, να είναι συμβατή με τις παραδοχές της θεωρίας των διακριτών επιλογών και της τεχνικής των δεδηλωμένων προτιμήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της. Με τη αυτή κωδικοποίηση, επιχειρείται η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη διόρθωση των

αποτελεσμάτων των αλγόριθμων επίλυσης της στοχαστικής κατάστασης ισορροπίας και την αντιμετώπιση του προβλήματος των μη λογικών διαδρομών.

## 6.6 Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Αντιμετώπισης Μη Λογικών Διαδρομών

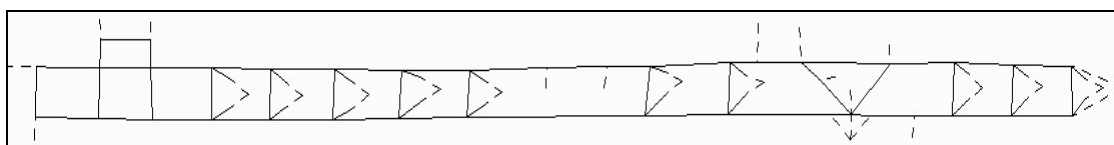
Στην παρούσα ενότητα, επιχειρείται η ανάπτυξη μιας εμπειρικής μεθοδολογίας, για την αντιμετώπιση της αδυναμίας των αλγόριθμων επίλυσης τόσο της στοχαστικής όσο και της ντετερμινιστικής κατάστασης ισορροπίας, να ενσωματώσουν την αξία του χρόνου με τρόπο που να είναι συμβατός με τις παραδοχές της θεωρίας των διακριτών επιλογών και της τεχνικής των δεδηλωμένων προτιμήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της. Πιο συγκεκριμένα, το δίκτυο που αποτελείται από την Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών, κωδικοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε στους μετακινούμενους να προσφέρονται δύο εναλλακτικές επιλογές για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους. Η πρώτη εναλλακτική αφορά την επιλογή της Νέας Εθνικής Οδού για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους, ενώ η δεύτερη εναλλακτική αφορά την Παλαιά εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους. Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτή η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων, με ένα δυαδικό μοντέλο διακριτών επιλογών. Καθίσταται επομένως δυνατή η μοντελοποίηση της ωφέλειας που θα έχουν οι μετακινούμενοι από την επιλογή της Νέας ή Παλαιάς Εθνικής Οδού.

Το δίκτυο που αποτελείται από την Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών, επανασχεδιάστηκε στο περιβάλλον του λογισμικού AutoCAD ώστε να είναι εφικτή η κωδικοποίηση του στη συνέχεια στο μοντέλο του SATURN. Μέρος του δικτύου όπως έχει σχεδιαστεί, παρουσιάζεται στο σχήμα 6.35.

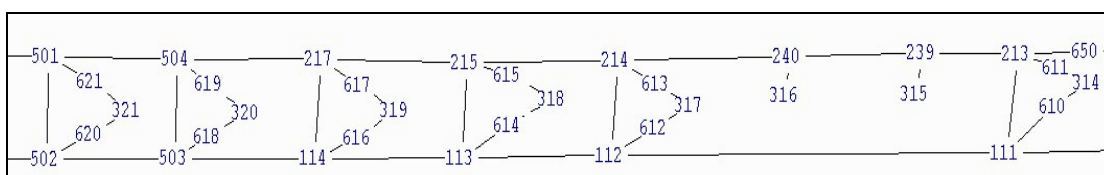


Σχήμα 6. 35: Λεπτομέρεια κωδικοποίησης δικτύου

Η νέα κωδικοποίηση στο περιβάλλον του μοντέλου του SATURN, έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε για κάθε προορισμό του δικτύου, να προσφέρονται στους μετακινούμενους δύο εναλλακτικές επιλογές. Είτε να επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση των μετακινήσεών τους είτε την Παλαιά Εθνική Οδό. Για να είναι εφικτή η μοντελοποίηση της επιπλέον ενδεχόμενης ωφέλειας που μπορεί να έχουν οι μετακινούμενοι από την επιλογή μιας εναλλακτικής, κάθε σύνδεσμος κεντροειδούς, συνδέεται με το υπόλοιπο δίκτυο μέσω συνδέσμων ελέγχου. Οι σύνδεσμοι αυτοί ονοματίζονται με αριθμούς από 600 έως 699. Η ενδεχόμενη επιπλέον ωφέλεια πρόκειται να εισαχθεί στο δίκτυο σε μορφή επιπλέον καθυστέρησης σε μονάδες χρόνου σε κάποιον από τους συνδέσμους ελέγχου. Οι μετακινούμενοι κατηγοριοποιήθηκαν σε ομάδες χρηστών (User Class – UC) ανάλογα με τον προορισμό τους. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να οριστούν διαφορετικά κόστη στους συνδέσμους του δικτύου για κάθε προορισμό. Τέλος σημειώνεται ότι όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του δικτύου είναι όμοια με αυτά του δικτύου που κωδικοποιήθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το νέο κωδικοποιημένο δίκτυο στο μοντέλο του SATURN, καθώς επίσης και λεπτομέρεια αυτού, παρατίθενται στα σχήματα 6.36 και 6.37.



**Σχήμα 6. 36:** Κωδικοποίηση δικτύου στο μοντέλο του SATURN

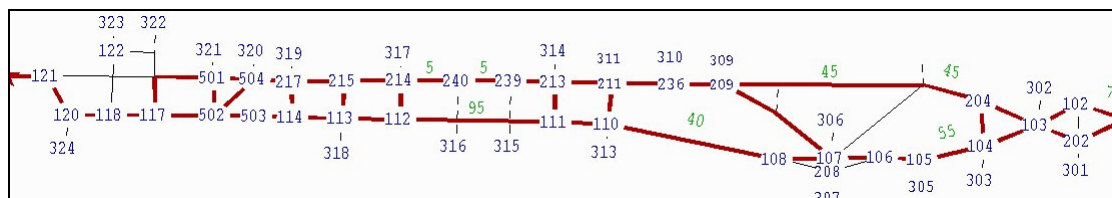


**Σχήμα 6. 37:** Λεπτομέρεια κωδικοποίησης δικτύου στο μοντέλο του SATURN

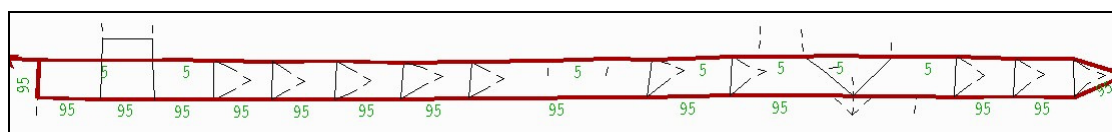
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δύο σενάρια που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, με τη νέα κωδικοποίηση του δικτύου.

Τα δένδρα διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός στοχαστικού μοντέλου, βασισμένου στον αλγόριθμο του Burrell, με διασπορά

του κόστους να είναι  $0.2 * C$  και την κατανομή του σφάλματος να είναι ορθογωνική πριν και μετά τη νέα κωδικοποίηση του δικτύου, παρουσιάζονται στα σχήματα 6.38 και 6.39.



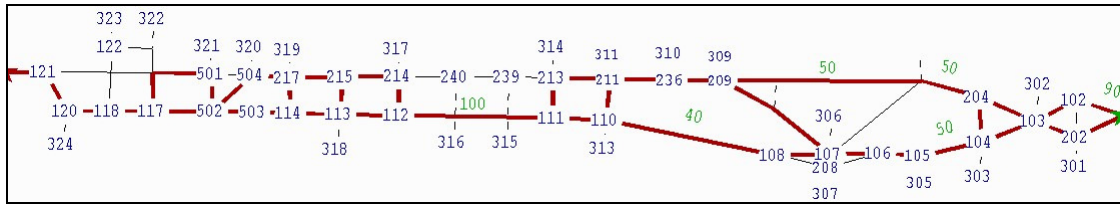
**Σχήμα 6. 38:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (διασπορά:  $0.2 * C$ )



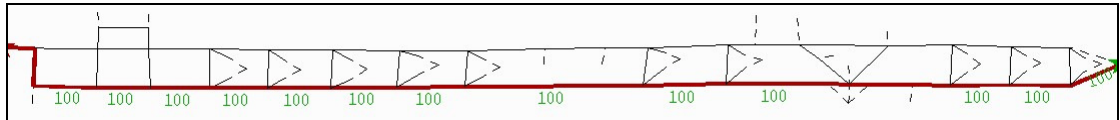
**Σχήμα 6. 39:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά:  $0.2 * C$ )

Όπως παρατηρείται από στα σχήματα 6.38 και 6.39 υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις στον καταμερισμό των φόρτων ανάμεσα στις δύο κωδικοποιήσεις που εφαρμόστηκαν. Στο δίκτυο της νέα κωδικοποίησης, όπου προσφέρεται στους μετακινούμενους ένα δυαδικό μοντέλο διακριτών επιλογών, μόλις το 5% των μετακινούμενων θα επιλέξουν την Παλαιά Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους από Κόρινθο προς Πάτρα. Αντίθετα στην κωδικοποίηση του δικτύου που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, παρατηρείται διασπορά των μετακινούμενων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου και επομένως η λύση του προβλήματος του καταμερισμού διαφέρει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των δύο διαφορετικών κωδικοποιήσεων.

Τα δένδρα διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός στοχαστικού μοντέλου, βασισμένου στον αλγόριθμο του Burrell, με διασπορά του κόστους να είναι  $0.1 * C$  και την κατανομή του σφάλματος να είναι ορθογωνική πριν και μετά τη νέα κωδικοποίηση του δικτύου, παρουσιάζονται στα σχήματα 6.40 και 6.41 .



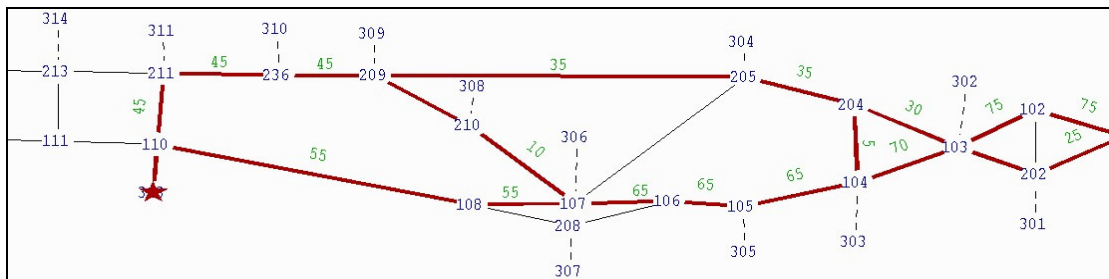
Σχήμα 6. 40: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (διασπορά: 0.1\* $C$ )



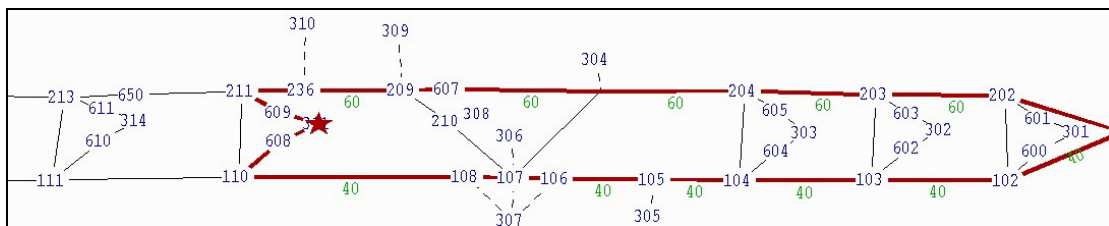
Σχήμα 6. 41: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά: 0.1\* $C$ )

Παρατηρείται σημαντική απόκλιση στον καταμερισμό των φόρτων μεταξύ των δύο διαφορετικών κωδικοποιήσεων του δικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, στη νέα κωδικοποίηση του δικτύου, όλοι οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους από Κόρινθο προς Πάτρα, ενώ στο δίκτυο που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, παρατηρείται σημαντική διασπορά των μετακινούμενων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου.

Στα σχήματα 6.42 και 6.43 παρουσιάζεται το δένδρο διαδρομών από Κόρινθο με προορισμό το Κιάτο. Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται ένα στοχαστικό μοντέλο καταμερισμού με διασπορά κόστος 0.2\* $C$ .



Σχήμα 6. 42: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Κιάτο (διασπορά: 0.2\* $C$ )

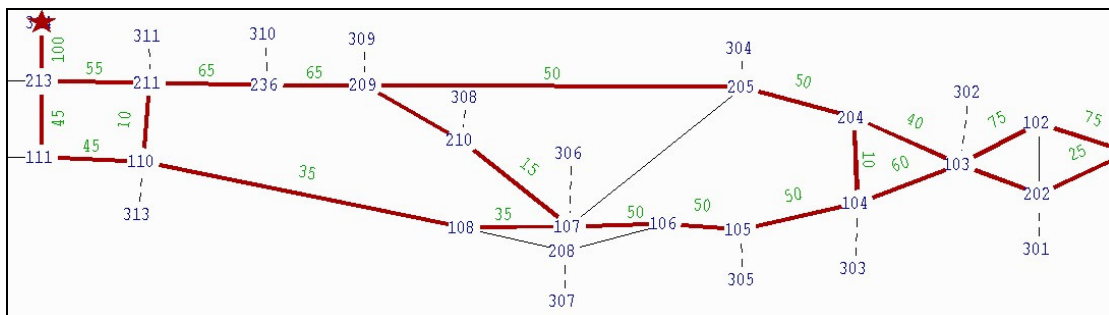


Σχήμα 6. 43: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Κιάτο στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά: 0.2\* $C$ )

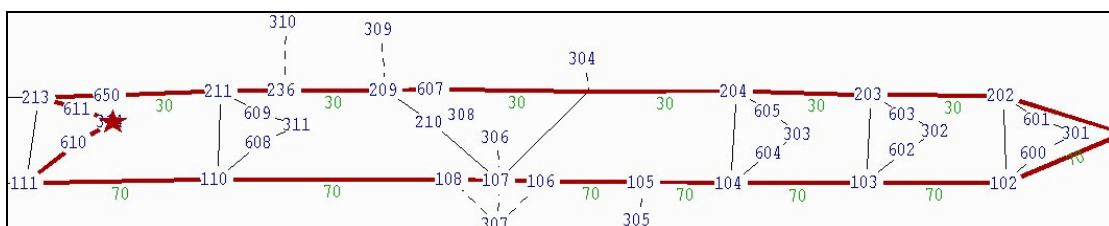


Όπως παρατηρείται, στη νέα κωδικοποίηση του δικτύου το 60% των μετακινούμενων θα επιλέξουν την Παλαιά Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους από Κόρινθο προς Κιάτο. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει σημαντική απόκλιση στην κατανομή των φόρτων μεταξύ των δύο διαφορετικών κωδικοποιήσεων. Για παράδειγμα, από τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου(103) έως τον κόμβο της Παλαιάς Κορίνθου (107) στο δίκτυο της νέας κωδικοποίησης 40% των μετακινούμενων θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό, σε αντίθεση με το δίκτυο της κωδικοποίησης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, όπου το 65% των μετακινούμενων θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους.

Στα σχήματα 6.44 και 6.45 παρουσιάζεται το δένδρο διαδρομών από Κόρινθο με προορισμό το Ξυλόκαστρο. Στο σενάριο αυτό εφαρμόζεται ένα στοχαστικό μοντέλο καταμερισμού με διασπορά κόστος 0.2\*C.



Σχήμα 6. 44: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Ξυλόκαστρο (διασπορά: 0.2\*C)



Σχήμα 6. 45: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Ξυλόκαστρο στη νέα κωδικοποίηση (διασπορά: 0.2\*C)

Όπως παρατηρείται, στη νέα κωδικοποίηση του δικτύου το 70% των μετακινούμενων θα επιλέξουν την Νέα Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους από Κόρινθο προς Ξυλόκαστρο. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει σημαντική απόκλιση στην κατανομή των φόρτων μεταξύ των δύο διαφορετικών

κωδικοποιήσεων. Για παράδειγμα, από τον κόμβο του Ισθμού της Κορίνθου(103) έως τον κόμβο της Παλαιάς Κορίνθου (107) στο δίκτυο της νέας κωδικοποίησης 70% των μετακινούμενων θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό, σε αντίθεση με το δίκτυο της κωδικοποίησης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, όπου το 50% των μετακινούμενων θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους. Ενώ από τον κόμβο της Παλαιάς Κορίνθου (107) έως τον κόμβο του Κιάτου (110) 70% των μετακινούμενων θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό, σε αντίθεση με το δίκτυο της κωδικοποίησης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, όπου το 35% των μετακινούμενων θα επιλέξουν τη Νέα Εθνική Οδό για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους.

Στην παρούσα ενότητα, επιχειρήθηκε να αναπτυχθεί μία μεθοδολογία κωδικοποίησης του δικτύου που να είναι συμβατή με τις παραδοχές που γίνονται από τα μοντέλα διακριτών επιλογών, κατά τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου. Από την παρουσίαση και ανάλυση διαφορετικών σεναρίων παρατηρείται σημαντική απόκλιση στον καταμερισμό των φόρτων μεταξύ των δύο διαφορετικών κωδικοποιήσεων που εφαρμόστηκαν.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

### 7.1 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των προβλημάτων που προκύπτουν από την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα στατικά μοντέλα καταμερισμού. Για το λόγο αυτό, αρχικά παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα μοντέλα διακριτών επιλογών καθώς επίσης και η μέθοδος προσδιορισμού των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα μοντέλα καταμερισμού, κατηγοριοποιώντας τα σε ντετερμινιστικά και στοχαστικά και αναλύθηκαν εκτενέστερα οι μηχανισμοί μέσω των οποίων επιλύεται το πρόβλημα του καταμερισμού.

Από την ανάλυση σε θεωρητικό επίπεδο των μοντέλων διακριτών επιλογών και των μοντέλων καταμερισμού, προκύπτει μία ασυμβατότητα στις παραδοχές που γίνονται κατά τον προσδιορισμό των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας και επομένως και της αξίας του χρόνου και στις παραδοχές που γίνονται κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού. Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της αξίας του χρόνου από τα μοντέλα διακριτών επιλογών και τη μέθοδο των δεδηλωμένων προτιμήσεων, γίνεται η υπόθεση ότι η ωφέλεια είναι στοχαστική και επομένως ο κανόνας επιλογής είναι πιθανοκρατικός. Επιπροσθέτως κατά τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου, λαμβάνεται υπ' όψη η συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων προς μία συγκεκριμένη εναλλακτική. Τέλος, γίνεται η υπόθεση ότι ο αριθμός των εναλλακτικών επιλογών περιορίζεται στο αριθμό των εναλλακτικών επιλογών που παρουσιάζονται στους μετακινούμενους κατά τη διαδικασία της έρευνας των δεδηλωμένων προτιμήσεων. Αντίθετα στα μοντέλα καταμερισμού, τα οποία χρησιμοποιούν την αξία του χρόνου για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού, δεν γίνονται οι ίδιες παραδοχές. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα αγνοούν οποιαδήποτε στοχαστικά φαινόμενα και δε λαμβάνουν υπ' όψη τη συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων προς μία συγκεκριμένη εναλλακτική. Τα στοχαστικά μοντέλα, αν και λαμβάνουν υπ' όψη τα στοχαστικά φαινόμενα δε λαμβάνουν υπ' όψη τη συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων. Τέλος τόσο

στα στοχαστικά όσο και στα ντετερμινιστικά μοντέλα καταμερισμού, οι εναλλακτικές επιλογές των μετακινούμενων είναι τόσες όσες και οι εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου, κάτι που είναι συμβατό με τη μέθοδο των δεδηλωμένων προτιμήσεων.

Επομένως σε ένα δίκτυο όπου θα εφαρμοστούν οι αλγόριθμοι επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού, αναμένεται να μη λαμβάνεται υπ' όψη η συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων προς μία εναλλακτική διαδρομή, να αγνοούνται οποιαδήποτε στοχαστικά φαινόμενα από τα ντετερμινιστικά μοντέλα καταμερισμού και τέλος να παρατηρείται διασπορά των μετακινούμενων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου σε περιπτώσεις όπου οι εναλλακτικές διαδρομές καθίστανται ανταγωνιστικές.

Για την επαλήθευση των συμπερασμάτων σε πρακτικό επίπεδο, εφαρμόστηκαν τα μοντέλα καταμερισμού στο συγκοινωνιακό σύστημα που αποτελείται από τη Νέα και Παλαιά Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών μέσω του λογισμικού ανάλυσης συγκοινωνιακών δικτύων SATURN. Εφαρμόστηκαν και αναλύθηκαν συνολικά 182 διαφορετικά υποθετικά σενάρια. Από την εφαρμογή των μοντέλων καταμερισμού παρατηρήθηκε στην πλειονότητα των υποθετικών σεναρίων μεγάλη διασπορά των μετακινούμενων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου, γεγονός το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τις παραδοχές της μεθόδου των δεδηλωμένων προτιμήσεων. Επίσης δεν ήταν δυνατό να μοντελοποιηθεί η συστηματική προτίμηση των μετακινούμενων.

Στη συνέχεια, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προέκυψαν, εφαρμόστηκε μία εμπειρική μέθοδος, όπου το συγκοινωνιακό σύστημα που αποτελείται από την Νέα και Παλαιά Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών, κωδικοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε οι παραδοχές ενσωμάτωσης της αξίας του χρόνου από τα μοντέλα καταμερισμού να συμβαδίζουν με τις παραδοχές προσδιορισμού της αξίας του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, το συγκοινωνιακό αυτό σύστημα κωδικοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρονται στους μετακινούμενους δύο εναλλακτικές επιλογές για την πραγματοποίηση της μετακίνησής τους. Επιπροσθέτως με τη νέα κωδικοποίηση είναι εφικτή η μοντελοποίηση της συστηματικής προτίμησης των μετακινούμενων. Από τη σύγκριση των ίδιων υποθετικών σεναρίων μεταξύ των δύο διαφορετικών κωδικοποιήσεων, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην κατανομή των φόρτων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου, δηλαδή στην

επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού. Οι διαφορές αυτές των φόρτων στις εναλλακτικές διαδρομές του δικτύου, επιβεβαιώνουν τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού, λόγω της ασυμβατότητας στις παραδοχές που γίνονται κατά τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου και στις παραδοχές που γίνονται κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού.

## 7.2 Προοπτικές Βελτίωσης

Στη παρούσα διπλωματική εργασία δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στα στοχαστικά μοντέλα επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού και συγκεκριμένα σε αυτά που βασίζονται στον αλγόριθμο του Burrell. Τα στοχαστικά μοντέλα που βασίζονται στον αλγόριθμο του Dial, αν και παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν σε θεωρητικό επίπεδο, δεν εφαρμόστηκαν στο συγκοινωνιακό δίκτυο που κωδικοποιήθηκε λόγω περιορισμών του λογισμικού του SATURN, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής στοχαστικών μοντέλων που βασίζονται μόνο στον αλγόριθμο του Burrell. Ο έλεγχος και η ανάλυση των αποτελεσμάτων των αλγόριθμων επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού, θα πρέπει να επεκταθεί και σε στοχαστικά μοντέλα που βασίζονται στον αλγόριθμο του Dial, για περαιτέρω ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Θα πρέπει ακόμα να τονιστεί, ότι εμπειρική μέθοδος που αναπτύχθηκε, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί μόνο σε περιπτώσεις όπου προσφέρονται στους μετακινούμενους δύο εναλλακτικές επιλογές. Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε, θα μπορούσε επομένως να επεκταθεί, ώστε να μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε περιπτώσεις όπου προσφέρονται στους μετακινούμενους περισσότερες από δύο εναλλακτικές επιλογές.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν ήταν δυνατή η εξασφάλιση των πραγματικών στοιχείων όσον αφορά τον πίνακα προέλευσης προορισμού και τους φόρτους στους συνδέσμους του δικτύου που αποτελείται από την Παλαιά και Νέα Εθνική Οδό Κορίνθου Πατρών. Η σύγκριση των πραγματικών δεδομένων με αυτά που προέκυψαν από την εφαρμογή του λογισμικού SATURN, θα μπορούσε επιπλέον να αναδείξει τα προβλήματα που

προκύπτουν κατά την ενσωμάτωση της αξίας του χρόνου στα μοντέλα καταμερισμού σε πρακτικό επίπεδο.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Beckmann, M. J., McGuire, C. B. and WINSTEN, C. B. (1956), **Studies in the Economics of Transportation**, Yale University Press, New Haven, Conn.

Ben - Akiva, M. and Lerman, S. (1985), **Discrete Choice Analysis: Theory and Application to travel Demand**, MIT Press, Cambridge, MA.

Bovy, P. H. L. (1981), **Network Modelling Effects in Equilibrium Assignment: An Empirical Investigation**. Proceedings, International Symposium on Frontiers in Transportation Equilibrium and Supply Models, Transportation Research Center, University of Montreal, Montreal.

Brownstone, D. (2000), **Discrete Choice Modelling for Transportation**, 9th IATBR Travel Behavior Conference, Australia.

Burrell, E. (1976), **Multipath Route Assignment: A Comparison of Two Methods**. In M. Florian (Ed.), **Traffic Equilibrium Methods**, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 118, Springer-Verlag, New York, pp. 229-239

Burrell, E. (1968), **Multipath Route Assignment and Its Applications to Capacity Restraint Proceedings**, 4th International Symposium on the Theory of Road Traffic Flow, Karlsruhe, West Germany.

Dirck, V. V. (1998), **Introduction to SATURN: Course Notes**, Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Dirck, V. V., and Hall, M. (2000), **SATURN 9.5: User Manual**, Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Daganzo, C. F., and Sheffi Y. (1977), **On Stochastic Models of Traffic Assignment**, Transportation Science 11(3), pp. 253-274.

Daganzo, F. (1981), **Estimation of Gap Acceptance Parameters Within and Across the Population from Direct Roadside Observation**, Transportation Research 15B(1), pp. 1-15.

Davidsonk, B. (1966), **A Flow-Travel Time Relationship for Use in Transportation Planning Proceedings**, Australian Road Research Board, Melbourne, Vol. 3, pp. 183-194.

Dial, R. B. (1971), **A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm Which Obviates Path Enumeration**, Transportation Research 5(2), pp. 83-111.

Eash, R. W., Janson, B. N. and Boyce D. E. (1979), **Equilibrium Trip Assignment: Advantages and Implication for Practice**, TRB Transportation Research Record 728, pp. 1-7.

Frank, M., and Wolfe, P. (1956), **An Algorithm for Quadratic Programming**, Naval Research Logistics Quarterly 3(1-2), pp. 95-110.

Maher, M. J., and Hughes, P. C. (1996), **A probit-based stochastic user equilibrium assignment model**, Department of Civil and Transportation Engineering, Napier University. Edinburgh, Scotland.

Nurdden, A., and Amiruddin, I. (2007), **Discrete Choice Model for Public Transport Development in Kuala Lumpur**, Department of Civil and Structural Engineering, Faculty of Engineering University Kebangsaan, Malaysia

Revelt, D., and Train, K. (1997), **Mixed Logit with Repeated Choices: Household's Choices of Appliance Efficiency Level**, Review of Economics and Statistics.



Schroeder, H. and Louviere, J. (1999), **State Choice Models for Predicting the Impact of User Fees at Public Recreation Sites**, Journal of Leisure Research 31, 300 - 324.

Sheffi, Y., and Powell, W. B. (1981), **A Comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignment over Congested Networks**, Transportation Research 15B(1), pp.53-64.

Sheffi, Y., and Powell, W. B. (1982), **An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times**, Networks 12(2), pp. 191-207.

Sheffi, Y. (1985) **Urban transportation networks**, Prentice-Hall, NJ.

Verbeeke, W., Ward, R. and Viaene, J. (2000), **Probit Analysis of Fresh Meat Consumption in Belgium: Exploring BSE and Television Impact**, AgriBusiness 16, 215 - 234.

Vythoulkas P. (1991), **Modelling Dynamic Stochastic User Equilibrium for Urban Road Networks**, Ph.D. Thesis, Centre for Transport Studies, Cranfield Institute of Technology

Wardrop, J. G. (1952), **Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings**, Institution of Civil Engineers II(1), pp. 325-378.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Βυθούλκας, Π. (2005), **Συστήματα Μεταφορών**, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Γαράφας, Α. (2008), **Πόσο πληρώνουμε για ένα καλύτερο Περιβάλλον: Διερεύνηση της πρόθεσης των μετακινούμενων με τη μέθοδο της δεδηλωμένης προτίμησης**, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Ρογκάν, Ι. (2007), **Σύγκριση Μικτού και Πολυωνομικού Logit Μοντέλου, και εφαρμογή στην εκτίμηση της αξίας του χρόνου μετακίνησης**, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Ρούσση, Π. (2006), **Ανάπτυξη Οικονομετρικών Μοντέλων για τον Προσδιορισμό της Αξίας Χρόνου των Ελλήνων Οδηγών σε Υπεραστικές Μετακινήσεις**, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας αρχείου δικτύου που συντάχθηκε σε μορφή απλού κειμένου, προς εισαγωγή στο λογισμικό SATURN. Ο κώδικας αυτού του υποθετικού σεναρίου, όπως και ο κώδικας όλων των υπολοίπων σεναρίων, συντάχθηκε εξ' ολοκλήρου από μηδενική βάση, καθώς δεν προσφέρεται αξιόπιστη αυτοματοποιημένη μέθοδος από το λογισμικό SATURN. Το σενάριο που παρουσιάζεται έχει παραμετροποίηση όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Μεταβλητές	Παραμετροποίηση
Μοντέλο καταμερισμού	Στοχαστικό
Κατανομή κόστους	Ορθογωνική
Διασπορά κόστους	0.2*C
Επαναλήψεις αλγόριθμου	20
Ταχύτητα ελεύθερης ροής N. Εθνικής Οδού	120 χλμ./ώρα
Ταχύτητα κορεσμού N. Εθνικής Οδού	90 χλμ/ώρα
Ταχύτητα ελεύθερης ροής Π. Εθνικής Οδού	60 χλμ/ώρα
Ταχύτητα κορεσμού Π. Εθνικής Οδού	40 χλμ/ώρα
Χωρητικότητα συνδέσμων N. Εθνικής Οδού	4500 οχήματα/ώρα
Χωρητικότητα συνδέσμων Π. Εθνικής Οδού	1600 οχήματα/ώρα
Ταχύτητα ελεύθερης ροής συνδέσμων κεντροειδούς	80 χλμ/ώρα
Ταχύτητα κορεσμού συνδέσμων κεντροειδούς	80 χλ/ώρα
Χωρητικότητα συνδέσμων κεντροειδούς	9999 οχήματα/ώρα
Κόστος διοδίου	0,04 ευρώ(24 δευτερόλεπτα)

Πίνακας 1: Στοιχεία παραμετροποίησης κωδικοποιημένου σεναρίου

```

&OPTION
&END
TITLE
&PARAM
AUTOX = T
SHANDY = T
ATLAS = T
LEFTDR = F
LIST = T
PRINT = T
PRINTF = T
SUZIE = T
&END
33333

```

D		116	45	2520	S		3.8	1
D		112	45	2430	S		3.8	2
D		71	35	1270	S		2.0	3
D		68	25	1730	S		3.7	4
D		48	25	500	S		1.5	5
D		49	25	780	S		1.6	6
D		34	15	630	S		1.7	7
D		66	30	1300	S		3.0	8
D		57	30	1000	S		3.4	9
D		47	30	880	S		2.5	10
C	300	202	80	50	4000	1s	500	1
C	300	102	80	50	4000	1s	500	1
C	301	202	80	50	4000	1s	500	1
C	302	103	80	50	4000	1s	500	1
C	303	104	80	50	4000	1s	500	1
C	304	205	80	50	4000	1s	500	1
C	305	105	80	50	4000	1s	500	1
C	306	107	80	50	4000	1s	500	1
C	307	208	80	50	4000	1s	500	1
C	308	210	80	50	4000	1s	500	1
C	309	209	80	50	4000	1s	500	1
C	310	236	80	50	4000	1s	500	1
C	311	211	80	50	4000	1s	500	1
C	313	110	80	50	4000	1s	500	1
C	314	213	80	50	4000	1s	500	1
C	315	239	80	50	4000	1s	500	1
C	316	240	80	50	4000	1s	500	1
C	317	214	80	50	4000	1s	500	1
C	318	113	80	50	4000	1s	500	1
C	319	217	80	50	4000	1s	500	1
C	320	504	80	50	4000	1s	500	1
C	321	501	80	50	4000	1s	500	1
C	322	235	80	50	4000	1s	500	1
C	323	122	80	50	4000	1s	500	1
C	324	120	80	50	4000	1s	500	1
C	325	121	80	50	4000	1s	500	1
	102	103	120	90	4500	1s	11201	1
	102	202	60	40	1600	1s	255	1
	102C	300	80	50	4000	1s	500	1
	103	204	60	40	1600	1s	1148	1
	103	104	120	90	4500	1s	856	1
	103C	302	80	50	4000	1s	500	1
	103	102	120	90	4500	1s	11201	1
	103	202	60	40	1600	1s	11919	1
	104	105	120	90	4500	1s	6271	1
	104C	303	80	50	4000	1s	500	1
	104	204	60	40	1600	1s	475	1

104	103	120	90	4500	1s	856	1
105	106	120	90	4500	1s	934	1
105C	305	80	50	4000	1s	500	1
105	104	120	90	4500	1s	6271	1
106	208	120	90	4500	1s	3436	1
106	107	120	90	4500	1s	339	1
106	105	120	90	4500	1s	934	1
107	210	60	40	1600	1s	1383	1
107	108	120	90	4500	1s	1373	1
107	106	120	90	4500	1s	339	1
107	205	60	40	1600	1s	4709	1
107C	306	80	50	4000	1s	500	1
108	110	120	90	4500	1s	20656	1
108	208	60	40	1600	1s	2635	1
108	107	120	90	4500	1s	1373	1
110	111	120	90	4500	1s	13636	1
110C	313	80	50	4000	1s	500	1
110	211	60	40	1600	1s	1356	1
110	108	120	90	4500	1s	20656	1
111	112	120	90	4500	1s	28221	1
111	213	60	40	1600	1s	353	1
111	110	120	90	4500	1s	13636	1
112	113	120	90	4500	1s	9796	1
112	214	60	40	1600	1s	159	1
112	111	120	90	4500	1s	28221	1
113	114	120	90	4500	1s	13412	1
113	215	60	40	1600	1s	122	1
113C	318	80	50	4000	1s	500	1
113	112	120	90	4500	1s	9796	1
114	503	120	90	4500	1s	6121	1
114	217	60	40	1600	1s	705	1
114	113	120	90	4500	1s	13412	1
117	118	120	90	4500	1s	211	1
117	218	60	40	1600	1s	126	1
117	502	120	90	4500	1s	22975	1
118	120	120	90	4500	1s	1788	1
118	117	120	90	4500	1s	211	1
118	122	120	90	4500	1s	842	1
120	121	120	90	4500	1s	352	1
120C	324	80	50	4000	1s	500	1
120	118	120	90	4500	1s	1788	1
121C	325	80	50	4000	1s	500	1
121	120	120	90	4500	1s	352	1
121	218	60	40	1600	1s	2993	1
122C	323	80	50	4000	1s	500	1
122	118	120	90	4500	1s	842	1
122	235	60	40	1600	1s	287	1
202	103	60	40	1600	1s	11919	1
202	102	60	40	1600	1s	255	1
202C	301	80	50	4000	1s	500	1
202C	300	80	50	4000	1s	500	1
204	205	60	40	1600	1s	3549	1
204	104	60	40	1600	1s	475	1
204	103	60	40	1600	1s	1148	1
205	107	60	40	1600	1s	4709	1
205	209	60	40	1600	1s	3549	1
205	204	60	40	1600	1s	3549	1
205C	304	80	50	4000	1s	500	1
208	108	60	40	1600	1s	2635	1
208	106	120	90	4500	1s	3436	1
208C	307	80	50	4000	1s	500	1

209	236	60	40	1600	1s	7496	1
209C	309	80	50	4000	1s	500	1
209	210	60	40	1600	1s	755	1
209	205	60	40	1600	1s	3549	1
210	209	60	40	1600	1s	755	1
210C	308	80	50	4000	1s	500	1
210	107	60	40	1600	1s	1383	1
211	213	60	40	1600	1s	14053	1
211C	311	80	50	4000	1s	500	1
211	110	60	40	1600	1s	1356	1
211	236	60	40	1600	1s	9207	1
213	239	60	40	1600	1s	13794	1
213	111	60	40	1600	1s	353	1
213C	314	80	50	4000	1s	500	1
213	211	60	40	1600	1s	14053	1
214	215	60	40	1600	1s	9866	1
214	112	60	40	1600	1s	159	1
214C	317	80	50	4000	1s	500	1
214	240	60	40	1600	1s	7015	1
215	217	60	40	1600	1s	14527	1
215	113	60	40	1600	1s	122	1
215	214	60	40	1600	1s	9866	1
217	504	60	40	1600	1s	6312	1
217	114	60	40	1600	1s	705	1
217	215	60	40	1600	1s	14527	1
217C	319	80	50	4000	1s	500	1
218	117	60	40	1600	1s	126	1
218	235	60	40	1600	1s	701	1
218	121	60	40	1600	1s	2993	1
218	501	60	40	1600	1s	23196	1
235	218	60	40	1600	1s	701	1
235C	322	80	50	4000	1s	500	1
235	122	60	40	1600	1s	287	1
236	211	60	40	1600	1s	9207	1
236	209	60	40	1600	1s	7496	1
236C	310	80	50	4000	1s	500	1
239	240	60	40	1600	1s	8295	1
239	213	60	40	1600	1s	13794	1
239C	315	80	50	4000	1s	500	1
240	214	60	40	1600	1s	7015	1
240	239	60	40	1600	1s	8295	1
240C	316	80	50	4000	1s	500	1
501	218	60	40	1600	1s	23196	1
501	504	60	40	1600	1s	4610	1
501C	321	80	50	4000	1s	500	1
501	502	120	90	4500	1s	1	1
502	117	120	90	4500	1s	22975	1
502	503	120	90	4500	1s	4629	1
502	504	120	90	4500	1s	4629	1
502	501	120	90	4500	1s	1	1
503	502	120	90	4500	1s	4629	1
503	114	120	90	4500	1s	6121	1
504	501	60	40	1600	1s	4610	1
504	502	120	90	4500	1s	4629	1
504C	320	80	50	4000	1s	500	1
504	217	60	40	1600	1s	6312	1
99999							
44444							
102	103		269				
103	102		269				
103	104		21				

104	103	21	
104	105	151	
105	104	151	
105	106	22	
106	105	22	
106	107	8	
107	106	8	
106	208	83	
208	106	83	
107	108	33	
108	107	33	
108	110	496	
110	108	496	
110	111	327	
111	110	327	
111	112	677	
112	111	677	
112	113	235	
113	112	235	
113	114	322	
114	113	322	
114	503	147	
503	114	147	
502	504	111	
504	502	111	
502	117	551	
117	502	551	
117	118	5	
118	117	5	
118	120	43	
120	118	43	
120	121	9	
121	120	9	
118	122	20	
122	118	20	
502	503	111	
503	502	111	
99999			
55555			
C 300	4238	406	0
C 301	4063	175	0
C 302	3927	549	0
C 303	3705	127	0
C 304	3482	656	0
C 305	3486	101	0
C 306	3150	404	0
C 307	3137	50	0
C 308	2946	539	0
C 309	2746	678	0
C 310	2554	688	0
C 311	2326	685	0
C 313	2306	258	0
C 314	2116	717	0
C 315	1945	285	0
C 316	1746	285	0
C 317	1541	707	0
C 318	1312	251	0
C 319	1134	705	0
C 320	992	717	0
C 321	837	723	0
C 322	631	847	0



C 323	474	844	0
C 324	293	275	0
C 325	71	602	0
102	4063	477	
103	3909	378	
104	3709	285	
105	3480	222	
106	3333	235	
107	3147	229	
108	2941	226	
110	2314	385	
111	2116	394	
112	1539	406	
113	1323	410	
114	1139	418	
117	627	426	
118	464	426	
120	307	426	
121	226	603	
122	474	717	
202	4064	307	
204	3702	490	
205	3486	563	
208	3140	-100	
209	2747	566	
210	2937	435	
211	2327	573	
213	2116	577	
214	1544	584	
215	1333	582	
217	1134	578	
218	626	600	
235	625	710	
236	2556	567	
239	1951	582	
240	1758	582	
501	846	595	
502	847	424	
503	1003	422	
504	998	588	
99999			
99999			
99999			

**Κώδικας αρχείου πίνακα προέλευσης - προορισμού που συντάχθηκε σε μορφή απλού κειμένου, προς εισαγωγή στο λογισμικό SATURN. Ο κώδικας αυτού του πίνακα προέλευσης προορισμού, όπως και ο κώδικας όλων των υπολοίπων πινάκων, συντάχθηκε εξ' ολοκλήρου από μηδενική βάση, καθώς δεν προσφέρεται αξιόπιστη αυτοματοποιημένη μέθοδος από το λογισμικό SATURN. Στον πίνακα που παρουσιάζεται ορίζονται μετακινήσεις 300 οχήματα ανά ώρα από Κόρινθο προς Πάτρα και 100 οχήματα ανά ώρα προς όλους τους ενδιάμεσους προορισμούς.**

```

RUN DIODIA
  &PARAM
  LONG = F
  NROWS=25
  NCOLS=25
  MPNEXT=T, &END
  TRIPS   PCUH
DIODIA
300      0  100  100  100  100  100  100  100  100  100  100  100  100  100
100  100  100  100  100  100  100  100  100  100  100  300
301      0    0
302      0    0
303      0    0
304      0    0
305      0    0
306      0    0
307      0    0
308      0    0
309      0    0
310      0    0
311      0    0
312      0    0
313      0    0
314      0    0
315      0    0
316      0    0
317      0    0
318      0    0
319      0    0
320      0    0
321      0    0
322      0    0
323      0    0
324      0    0
325      0    0

```

Κώδικας αρχείου δικτύου εμπειρικής μεθοδολογίας που συντάχθηκε σε μορφή απλού κειμένου, προς εισαγωγή στο λογισμικό SATURN. Ο κώδικας αυτού του υποθετικού σεναρίου, όπως και ο κώδικας όλων των υπολοίπων σεναρίων, συντάχθηκε εξ' ολοκλήρου από μηδενική βάση, καθώς δεν προσφέρεται αξιόπιστη αυτοματοποιημένη μέθοδος από το λογισμικό SATURN. Το σενάριο που παρουσιάζεται έχει παραμετροποίηση όπως φαίνεται στον πίνακα 2

Μεταβλητές	Παραμετροποίηση
Μοντέλο καταμερισμού	Στοχαστικό
Κατανομή κόστους	Ορθογωνική
Διασπορά κόστους	0.2*C
Επαναλήψεις αλγόριθμου	20
Ταχύτητα ελεύθερης ροής N. Εθνικής Οδού	120 χλμ./ώρα
Ταχύτητα κορεσμού N. Εθνικής Οδού	90 χλμ/ώρα
Ταχύτητα ελεύθερης ροής Π. Εθνικής Οδού	60 χλμ/ώρα
Ταχύτητα κορεσμού Π. Εθνικής Οδού	40 χλμ/ώρα
Χωρητικότητα συνδέσμων N. Εθνικής Οδού	4500 οχήματα/ώρα
Χωρητικότητα συνδέσμων Π. Εθνικής Οδού	1600 οχήματα/ώρα
Ταχύτητα ελεύθερης ροής συνδέσμων κεντροειδούς	80 χλμ/ώρα
Ταχύτητα κορεσμού συνδέσμων κεντροειδούς	80 χλ/ώρα
Χωρητικότητα συνδέσμων κεντροειδούς	9999 οχήματα/ώρα
Κόστος διοδίου	0,04 ευρώ(24 δευτερόλεπτα)

Πίνακας 2: Στοιχεία παραμετροποίησης κωδικοποιημένου σεναρίου

```

&OPTION
&END
TITLE
&PARAM
AUTOX = T
SHANDY = T
ATLAS = T
NOMADS = 8
PRINT = T
PRINTF = T
LIST = T
SUZIE = T
SUET = 0.2
&END

```

```
33333
```

D		116	45	2520	S		3.8	1
D		112	45	2430	S		3.8	2
D		71	35	1270	S		2.0	3
D		68	25	1730	S		3.7	4
D		48	25	500	S		1.5	5
D		49	25	780	S		1.6	6
D		34	15	630	S		1.7	7
D		66	30	1300	S		3.0	8
D		57	30	1000	S		3.4	9
D		47	30	880	S		2.5	10
C	300	202	80	80	9999	1s	500	1
C	300	102	80	80	9999	1s	500	1
C	301	601	80	80	9999	1s	500	1
C	301	600	80	80	9999	1s	500	1
C	302	602	80	80	9999	1s	500	1
C	302	603	80	80	9999	1s	500	1
C	303	604	80	80	9999	1s	500	1
C	303	605	80	80	9999	1s	500	1
C	304	205	80	80	9999	1s	500	1
C	305	105	80	80	9999	1s	500	1
C	306	107	80	80	9999	1s	500	1
C	307	107	80	80	9999	1s	500	1
C	307	108	80	80	9999	1s	500	1
C	307	106	80	80	9999	1s	500	1
C	308	210	80	80	9999	1s	500	1
C	309	209	80	80	9999	1s	500	1
C	310	236	80	80	9999	1s	500	1
C	311	608	80	80	9999	1s	500	1
C	311	609	80	80	9999	1s	500	1
C	314	610	80	80	9999	1s	500	1
C	314	611	80	80	9999	1s	500	1
C	315	239	80	80	9999	1s	500	1
C	316	240	80	80	9999	1s	500	1
C	317	613	80	80	9999	1s	500	1
C	317	612	80	80	9999	1s	500	1
C	318	615	80	80	9999	1s	500	1
C	318	614	80	80	9999	1s	500	1
C	319	616	80	80	9999	1s	500	1
C	319	617	80	80	9999	1s	500	1
C	320	619	80	80	9999	1s	500	1
C	320	618	80	80	9999	1s	500	1
C	321	620	80	80	9999	1s	500	1
C	321	621	80	80	9999	1s	500	1
C	322	235	80	80	9999	1s	500	1
C	323	122	80	80	9999	1s	500	1
C	324	120	80	80	9999	1s	500	1

C	325	121	80	80	9999	1s	500	1
	239	240	60	40	1600	1s	8295	1
	239C	315	80	80	9999	1s	500	1
	239	213	60	40	1600	1s	13794	1
	102	103	120	90	4500	1s	11201	1
	102	600	120	90	4500	1s	1	1
	102	202	60	40	1600	1s	255	1
	102C	300	80	80	9999	1s	500	1
	103	104	120	90	4500	1s	856	1
	103	203	60	40	1600	1s	1	1
	103	602	120	90	4500	1s	1	1
	103	102	120	90	4500	1s	11201	1
	104	105	120	90	4500	1s	6271	1
	104	204	60	40	1600	1s	475	1
	104	604	120	90	4500	1s	1	1
	104	103	120	90	4500	1s	856	1
	105	106	120	90	4500	1s	934	1
	105C	305	80	80	9999	1s	500	1
	105	104	120	90	4500	1s	6271	1
	106	107	120	90	4500	1s	339	1
	106C	307	80	80	9999	1s	500	1
	106	105	120	90	4500	1s	934	1
	107	210	60	40	1600	1s	1383	1
	107	108	120	90	4500	1s	1373	1
	107	106	120	90	4500	1s	339	1
	107C	307	80	80	9999	1s	500	1
	107C	306	80	80	9999	1s	500	1
	107	205	60	40	1600	1s	4709	1
	108	110	120	90	4500	1s	20656	1
	108	107	120	90	4500	1s	1373	1
	108C	307	80	80	9999	1s	500	1
	110	111	120	90	4500	1s	13636	1
	110	211	60	40	1600	1s	1356	1
	110	608	120	90	4500	1s	1	1
	110	108	120	90	4500	1s	20656	1
	111	112	120	90	4500	1s	28221	1
	111	213	60	40	1600	1s	353	1
	111	610	120	90	4500	1s	1	1
	111	110	120	90	4500	1s	13636	1
	112	214	60	40	1600	1s	159	1
	112	113	120	90	4500	1s	9796	1
	112	612	120	90	4500	1s	1	1
	112	111	120	90	4500	1s	28221	1
	113	114	120	90	4500	1s	13412	1
	113	614	120	90	4500	1s	1	1
	113	215	60	40	1600	1s	122	1
	113	112	120	90	4500	1s	9796	1
	114	503	120	90	4500	1s	6121	1
	114	217	60	40	1600	1s	705	1
	114	616	120	90	4500	1s	1	1
	114	113	120	90	4500	1s	13412	1
	117	218	60	40	1600	1s	126	1
	117	118	120	90	4500	1s	211	1
	117	502	120	90	4500	1s	22975	1
	118	120	120	90	4500	1s	1788	1
	118	117	120	90	4500	1s	211	1
	118	122	120	90	4500	1s	842	1
	120	121	120	90	4500	1s	352	1
	120C	324	80	80	9999	1s	500	1
	120	118	120	90	4500	1s	1788	1
	121C	325	80	80	9999	1s	500	1

121	120	120	90	4500	1s	352	1
121	624	60	40	1600	1s	1	1
122	118	120	90	4500	1s	842	1
122	623	60	40	1600	1s	1	1
122C	323	80	80	9999	1s	500	1
202	203	60	40	1600	1s	11919	1
202	601	60	40	1600	1s	1	1
202	102	60	40	1600	1s	255	1
202C	300	80	80	9999	1s	500	1
203	204	60	40	1600	1s	1148	1
203	103	60	40	1600	1s	1	1
203	603	60	40	1600	1s	1	1
203	202	60	40	1600	1s	11919	1
204	606	60	40	1600	1s	3549	1
204	605	60	40	1600	1s	1	1
204	104	60	40	1600	1s	475	1
204	203	60	40	1600	1s	1148	1
205	607	60	40	1600	1s	3549	1
205	606	60	40	1600	1s	1	1
205	107	60	40	1600	1s	4709	1
205C	304	80	80	9999	1s	500	1
209	236	60	40	1600	1s	7496	1
209	607	60	40	1600	1s	1	1
209C	309	80	80	9999	1s	500	1
209	210	60	40	1600	1s	755	1
210	209	60	40	1600	1s	755	1
210	107	60	40	1600	1s	1383	1
210C	308	80	80	9999	1s	500	1
211	650	60	40	1600	1s	14053	1
211	110	60	40	1600	1s	1356	1
211	609	60	40	1600	1s	1	1
211	236	60	40	1600	1s	9207	1
213	239	60	40	1600	1s	13794	1
213	111	60	40	1600	1s	353	1
213	650	60	40	1600	1s	1	1
213	611	60	40	1600	1s	1	1
214	215	60	40	1600	1s	9866	1
214	112	60	40	1600	1s	159	1
214	613	60	40	1600	1s	1	1
214	240	60	40	1600	1s	7015	1
215	217	60	40	1600	1s	14527	1
215	615	60	40	1600	1s	1	1
215	113	60	40	1600	1s	122	1
215	214	60	40	1600	1s	9866	1
217	504	60	40	1600	1s	6312	1
217	114	60	40	1600	1s	705	1
217	617	60	40	1600	1s	1	1
217	215	60	40	1600	1s	14527	1
218	624	60	40	1600	1s	2993	1
218	117	60	40	1600	1s	126	1
218	235	60	40	1600	1s	701	1
218	622	60	40	1600	1s	1	1
235	218	60	40	1600	1s	701	1
235C	322	80	80	9999	1s	500	1
235	623	60	40	1600	1s	287	1
236	211	60	40	1600	1s	9207	1
236C	310	80	80	9999	1s	500	1
236	209	60	40	1600	1s	7496	1
240	214	60	40	1600	1s	7015	1
240	239	60	40	1600	1s	8295	1
240C	316	80	80	9999	1s	500	1

501	622	60	40	1600	1s	23196	1
501	621	60	40	1600	1s	1	1
501	502	60	40	1600	1s	1	1
501	504	60	40	1600	1s	4610	1
502	117	120	80	4500	1s	22975	1
502	620	120	90	4500	1s	1	1
502	501	60	40	1600	1s	1	1
502	503	120	90	4500	1s	4629	1
503	502	120	90	4500	1s	4629	1
503	504	60	40	1600	1s	1	1
503	618	120	90	4500	1s	1	1
503	114	120	90	4500	1s	6121	1
504	501	60	40	1600	1s	4610	1
504	503	60	40	1600	1s	1	1
504	619	60	40	1600	1s	1	1
504	217	60	40	1600	1s	6312	1
600	102	120	90	4500	1s	1	1
600C	301	80	80	9999	1s	500	1
601	202	60	40	1600	1s	1	1
601C	301	80	80	9999	1s	500	1
602	103	120	90	4500	1s	1	1
602C	302	80	80	9999	1s	500	1
603	203	60	40	1600	1s	1	1
603C	302	80	80	9999	1s	500	1
604	104	120	90	4500	1s	1	1
604C	303	80	80	9999	1s	500	1
605	204	60	40	1600	1s	1	1
605C	303	80	80	9999	1s	500	1
606	205	60	40	1600	1s	1	1
606	204	60	40	1600	1s	3549	1
607	209	60	40	1600	1s	1	1
607	205	60	40	1600	1s	3549	1
608	110	120	90	4500	1s	1	1
608C	311	80	80	9999	1s	500	1
609	211	60	40	1600	1s	1	1
609C	311	80	80	9999	1s	500	1
610	111	120	90	4500	1s	1	1
610C	314	80	80	9999	1s	500	1
611C	314	80	80	9999	1s	500	1
611	213	60	40	1600	1s	1	1
612	112	120	90	4500	1s	1	1
612C	317	80	80	9999	1s	500	1
613	214	60	40	1600	1s	1	1
613C	317	80	80	9999	1s	500	1
614	113	120	90	4500	1s	1	1
614C	318	80	80	9999	1s	500	1
615	215	60	40	1600	1s	1	1
615C	318	80	80	9999	1s	500	1
616	114	120	90	4500	1s	1	1
616C	319	80	80	9999	1s	500	1
617	217	60	40	1600	1s	1	1
617C	319	80	80	9999	1s	500	1
618C	320	80	80	9999	1s	500	1
618	503	120	90	4500	1s	1	1
619	504	60	40	1600	1s	1	1
619C	320	80	80	9999	1s	500	1
620	502	120	90	4500	1s	1	1
620C	321	80	80	9999	1s	500	1
621	501	60	40	1600	1s	1	1
621C	321	80	80	9999	1s	500	1
622	218	60	40	1600	1s	1	1

622	501	60	40	1600	1s	23196				1
623	235	60	40	1600	1s	287				1
623	122	60	40	1600	1s	1				1
624	121	60	40	1600	1s	1				1
624	218	60	40	1600	1s	2993				1
650	213	60	40	1600	1s	1				1
650	211	60	40	1600	1s	14053				1
99999										
44444										
102	103		269	269	269	269	269	269	269	269
103	102		269	269	269	269	269	269	269	269
103	104		21	21	21	21	21	21	21	21
104	103		21	21	21	21	21	21	21	21
104	105		151	151	151	151	151	151	151	151
105	104		151	151	151	151	151	151	151	151
105	106		22	22	22	22	22	22	22	22
106	105		22	22	22	22	22	22	22	22
106	107		8	8	8	8	8	8	8	8
107	106		8	8	8	8	8	8	8	8
107	108		33	33	33	33	33	33	33	33
108	107		33	33	33	33	33	33	33	33
108	110		496	496	496	496	496	496	496	496
110	108		496	496	496	496	496	496	496	496
110	111		327	327	327	327	327	327	327	327
111	110		327	327	327	327	327	327	327	327
111	112		677	677	677	677	677	677	677	677
112	111		677	677	677	677	677	677	677	677
112	113		235	235	235	235	235	235	235	235
113	112		235	235	235	235	235	235	235	235
113	114		322	322	322	322	322	322	322	322
114	113		322	322	322	322	322	322	322	322
114	503		147	147	147	147	147	147	147	147
503	114		147	147	147	147	147	147	147	147
502	117		551	551	551	551	551	551	551	551
117	502		551	551	551	551	551	551	551	551
118	120		43	43	43	43	43	43	43	43
120	118		43	43	43	43	43	43	43	43
120	121		9	9	9	9	9	9	9	9
121	120		9	9	9	9	9	9	9	9
502	503		111	111	111	111	111	111	111	111
503	502		111	111	111	111	111	111	111	111
202	601		1	-2						
203	603		1	-2						
204	605		1	-2						
211	609		1	-2						
213	611		1	-2						
214	613		1	-2						
215	615		1	-2						
217	617		1	-2						
504	619		1	-2						
501	621		1	-2						
623	122		1	-2						
121	120		1	-2						
204	104		-1	0	0	0	0	0	0	-1
209	210		-1	-1	0	0	0	0	0	1
203	204		0	1	0	0	0	0	0	0
205	107		-1	0	1	0	0	0	0	1
607	209		0	0	1	1	0	0	0	0
650	213		0	0	0	0	1	1	0	0
622	218		0	0	0	0	0	0	1	-1
624	121		0	0	0	0	0	0	0	1



202	102	-2							
102	202	-2							
203	103	-2							
103	203	-2							
104	204	-1	1	-2					
211	110	-2							
110	211	-2							
213	111	-2							
111	213	-1	-1	-1	-1	0	0	-2	
214	112	-2							
112	214	-2							
215	113	-2							
113	215	-2							
217	114	-2							
114	217	-2							
504	503	-2							
503	504	-2							
501	502	-2							
502	501	-2							
122	118	-2							
118	122	-2							
210	209	-1	0	0	0	0	0	0	0
218	117	-2							
117	118	0	-2						
107	210	-1	0	0	0	-1	-1	0	0
210	107	-2							
99999									
55555									
C 300	8173	468	0						
C 301	8029	468	0						
C 302	7586	475	0						
C 303	7148	465	0						
C 304	6470	755	0						
C 305	6642	133	0						
C 306	6193	453	0						
C 307	6193	116	0						
C 308	6085	541	0						
C 309	5821	870	0						
C 310	5522	897	0						
C 311	5565	500	0						
C 314	4974	513	0						
C 315	4406	471	0						
C 316	3980	467	0						
C 317	3667	436	0						
C 318	3219	458	0						
C 319	2701	418	0						
C 320	2216	410	0						
C 321	1825	418	0						
C 322	1113	905	0						
C 323	746	922	0						
C 324	273	123	0						
C 325	49	613	0						
239	4427	611							
102	7802	276							
103	7361	279							
104	6931	275							
105	6654	280							
106	6336	283							
107	6196	286							
108	6045	289							
110	5304	290							

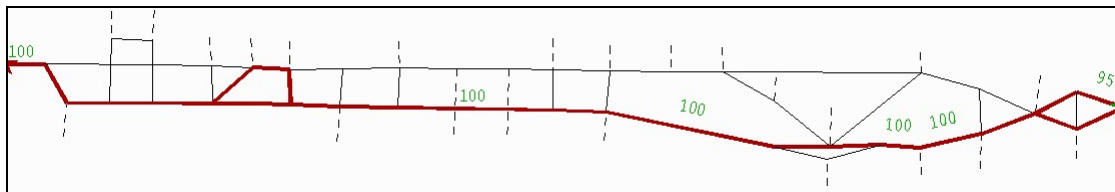
111	4702	276		
112	3407	267		
113	2918	258		
114	2438	257		
117	1129	257		
118	738	261		
120	280	271		
121	290	606		
122	756	788		
202	7793	613		
203	7373	617		
204	6948	632		
205	6480	630		
209	5838	634		
210	5982	514		
211	5317	632		
213	4740	607		
214	3428	585		
215	2935	578		
217	2454	591		
218	1114	600		
235	1115	785		
236	5516	634		
240	3990	599		
501	1562	599		
502	1559	255		
503	1979	257		
504	1986	589		
600	7896	392		
601	7904	522		
602	7480	404		
603	7480	541		
604	7055	392		
605	7052	553		
606	6559	631		
607	5986	639		
608	5441	431		
609	5437	546		
610	4859	432		
611	4868	563		
612	3551	360		
613	3557	506		
614	3070	368		
615	3072	536		
616	2577	324		
617	2582	502		
618	2089	332		
619	2091	507		
620	1700	337		
621	1704	517		
622	1254	602		
623	970	787		
624	427	600		
650	4964	616		
99999				
88888				
1	1	1.00	1.00	0.00
2	2	1.00	1.00	0.00
3	3	1.00	1.00	0.00
4	4	1.00	1.00	0.00
5	5	1.00	1.00	0.00

6	6	1.00	1.00	0.00
7	7	1.00	1.00	0.00
8	8	1.00	1.00	0.00

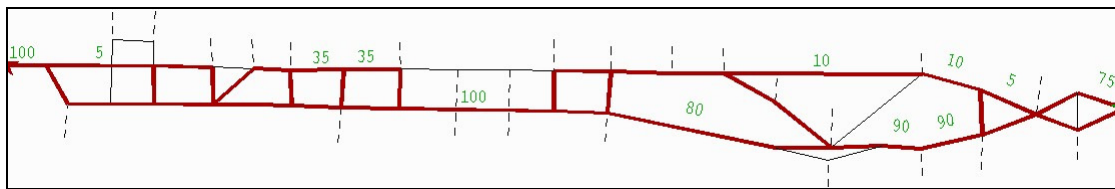
99999  
99999

Παρατίθενται επιπλέον δένδρα διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα μέρους, των υποθετικών σεναρίων που εφαρμόστηκαν, όπως αυτά παρουσιάζονται στο λογισμικό SATURN. Λόγο του μεγάλου αριθμού υποθετικών σεναρίων που εφαρμόστηκαν και αναλύθηκαν, δεν είναι η δυνατή η παράθεση στο σύνολό τους. Τα δένδρα διαδρομών παρουσιάζονται με την εξής μορφή:

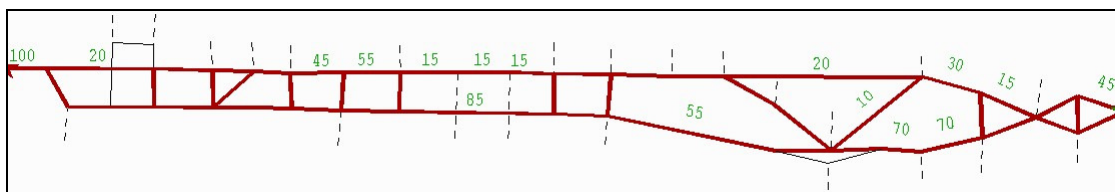
«Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE (ντετερμινιστικό μοντέλο) ή SUE (στοχαστικό μοντέλο)/ 0.1 ή 0.2 ή 0.4 (διασπορά κόστους\*C)/0 (ορθογωνική κατανομή σφάλματος) ή 1 (κανονική κατανομή σφάλματος)/50 ή 60 (ταχύτητα ελεύθερης ροής Παλαιάς Εθνικής Οδού σε χλμ ανά ώρα)/300 ή 500 ή 800 (πίνακας Π-Π που εφαρμόστηκε σε οχήματα ανά ώρα))»



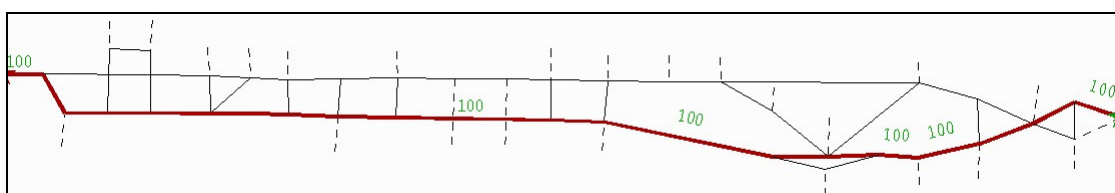
Σχήμα 1: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/0 /50/300)



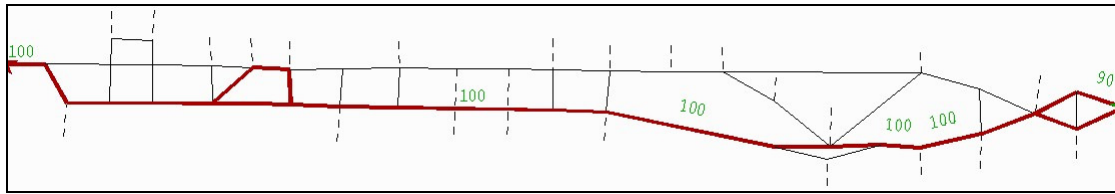
Σχήμα 2: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/0/50 /300)



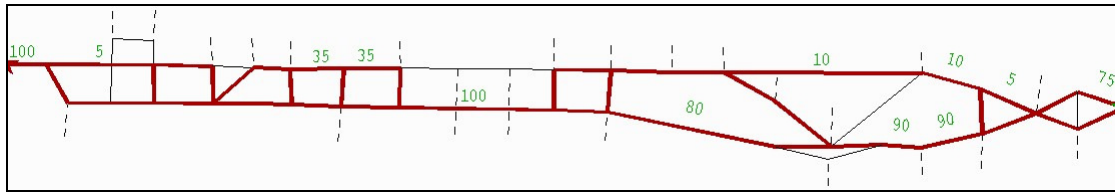
Σχήμα 3: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/0/50 /300)



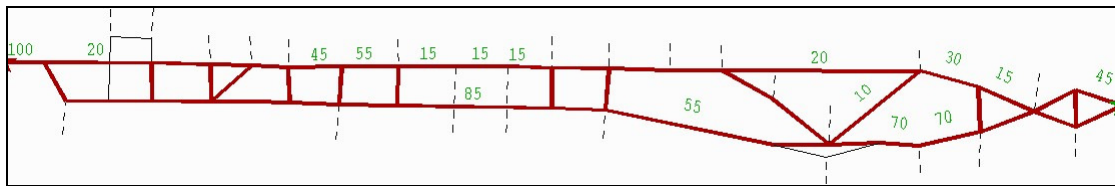
Σχήμα 4: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/-/50 /300)



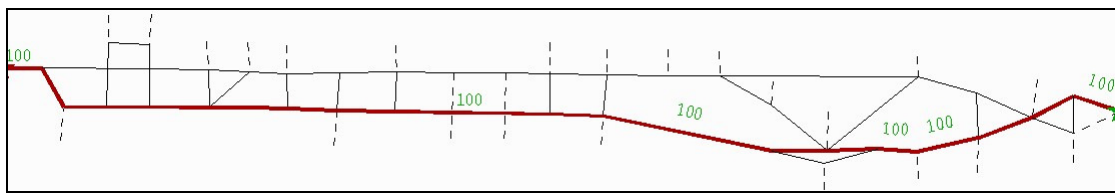
Σχήμα 5: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/0/50 /500)



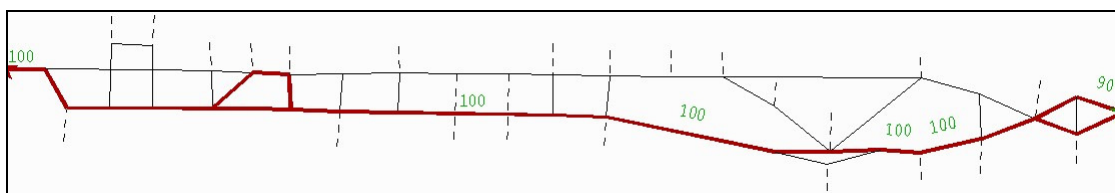
Σχήμα 6: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/0/50 /500)



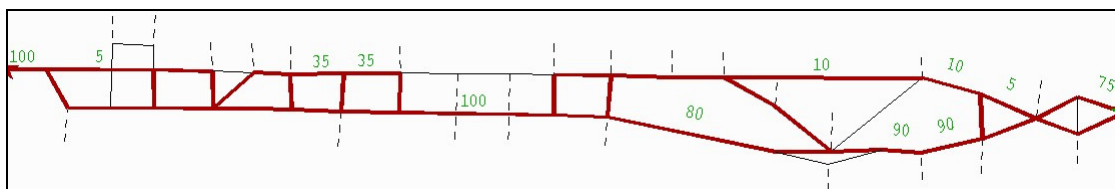
Σχήμα 7: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/0/50 /500)



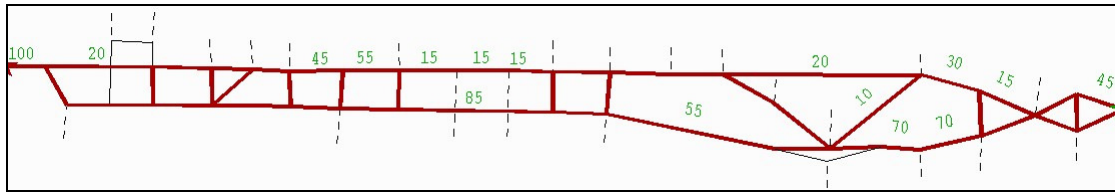
Σχήμα 8: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/50 /500)



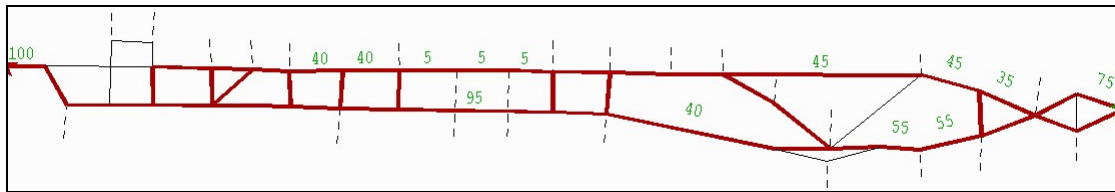
Σχήμα 9: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/0/50 /800)



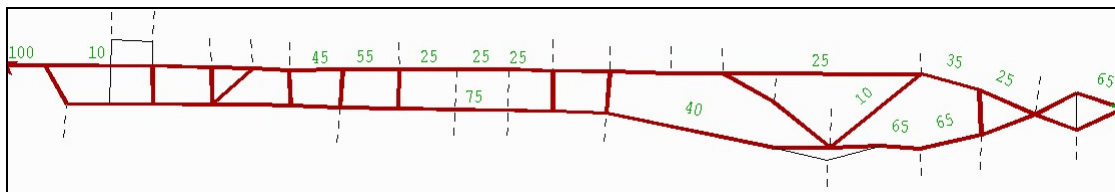
Σχήμα 10: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/0/50 /800)



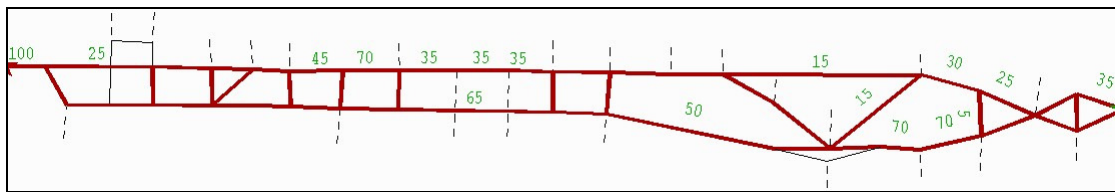
**Σχήμα 11:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/0/50 /800)



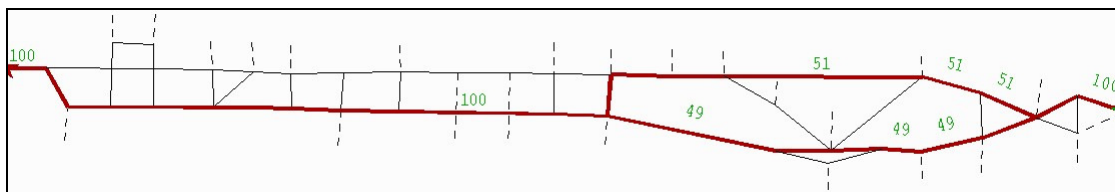
**Σχήμα 12:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/0/60 /300)



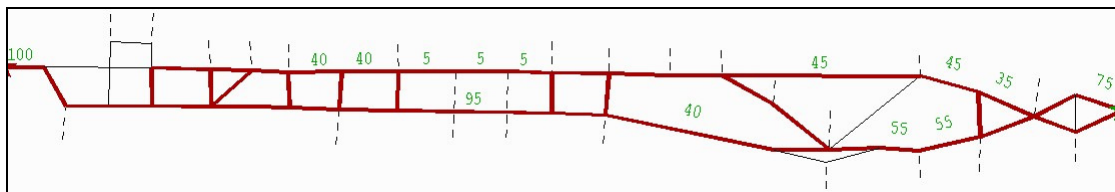
**Σχήμα 13:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/0/60 /300)



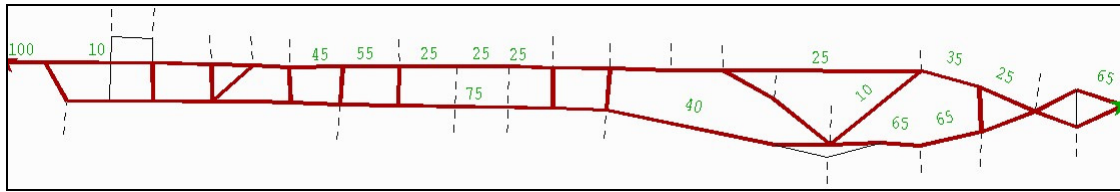
**Σχήμα 14:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/0/60 /300)



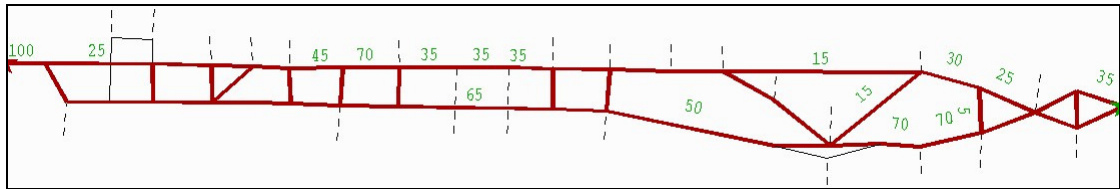
**Σχήμα 15:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/-/60 /300)



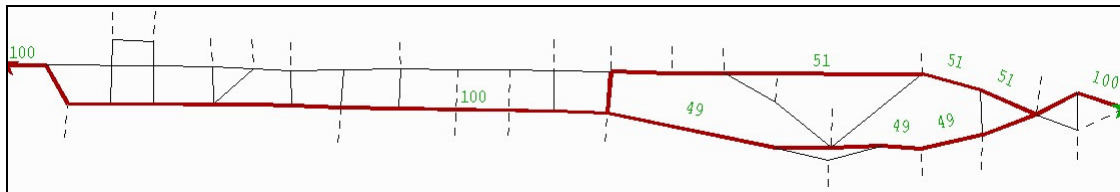
**Σχήμα 16:** Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/0/60 /500)



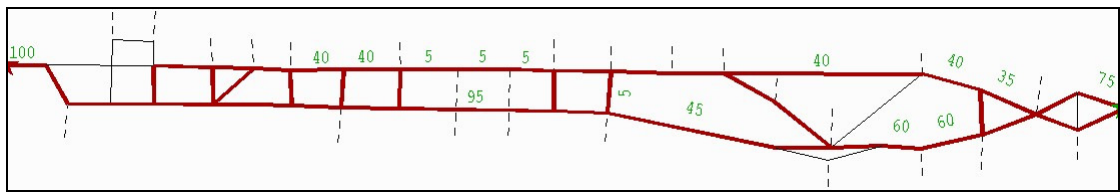
Σχήμα 17: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/0/60 /500)



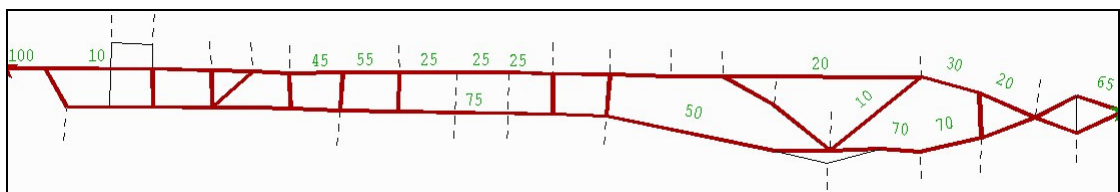
Σχήμα 18: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/0/60 /500)



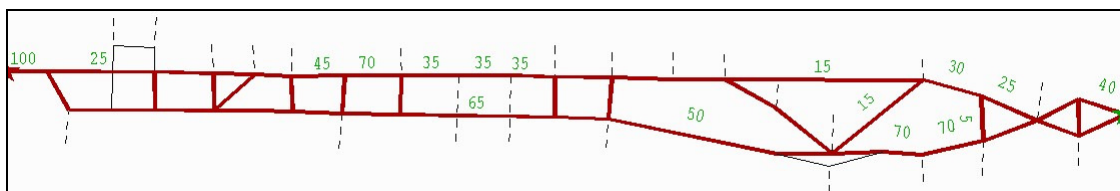
Σχήμα 19: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/60 /500)



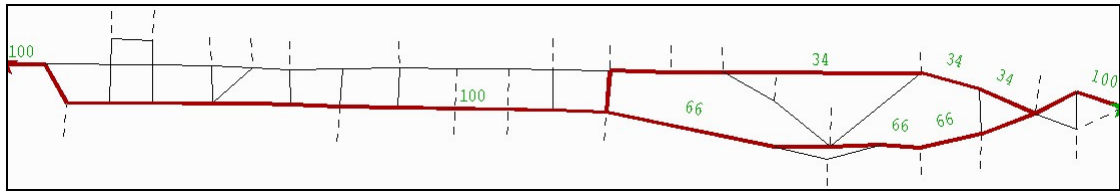
Σχήμα 20: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/0/60 /800)



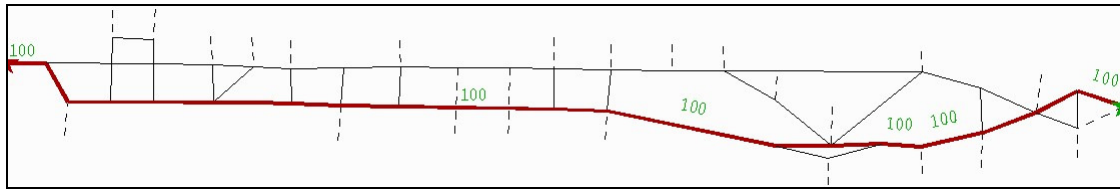
Σχήμα 21: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/0/60 /800)



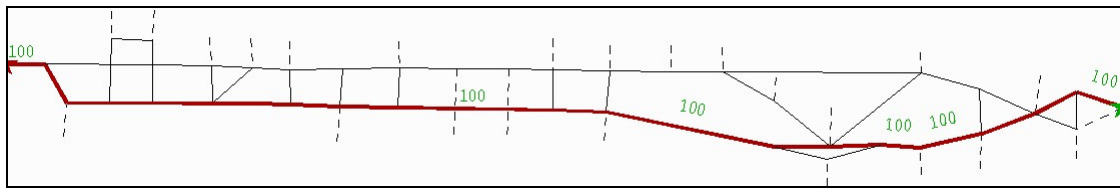
Σχήμα 22: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/0/60 /800)



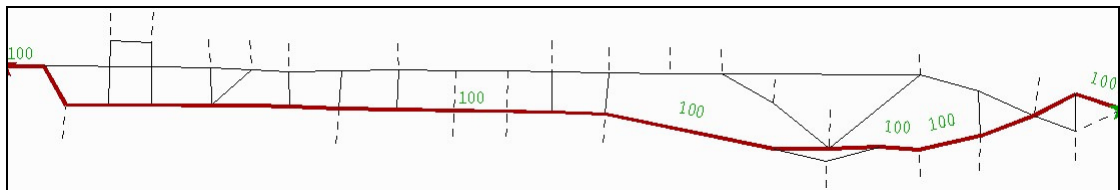
Σχήμα 23: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/-/60 /800)



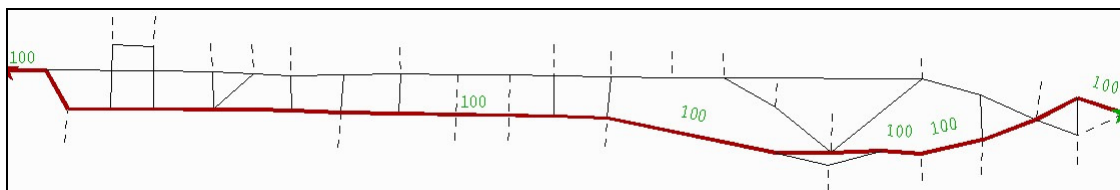
Σχήμα 24: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/1/50 /300)



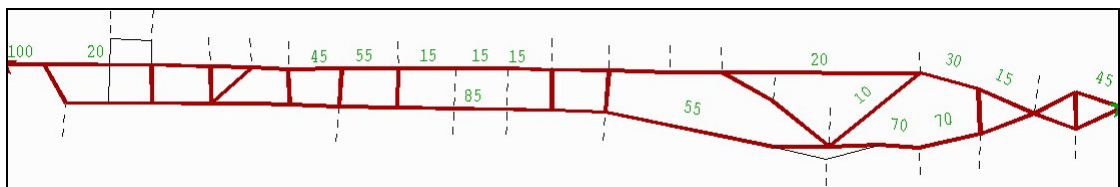
Σχήμα 25: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/1/50 /300)



Σχήμα 26: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/1/50 /300)

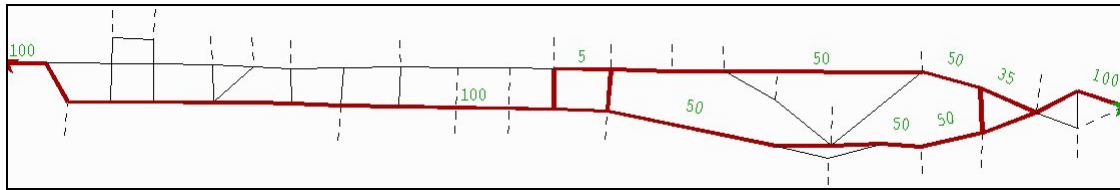


Σχήμα 27: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/-/50 /300)

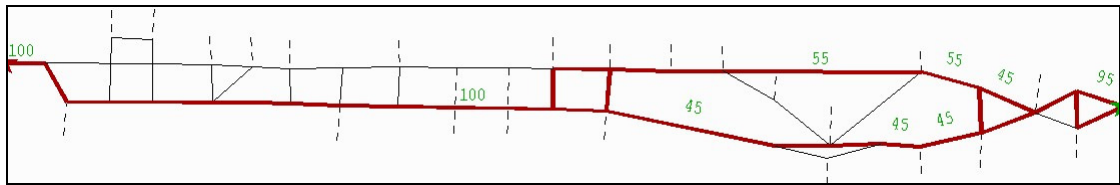


Σχήμα 28: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/1/60 /300)

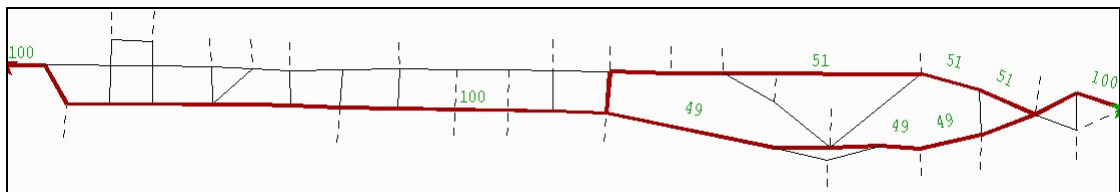




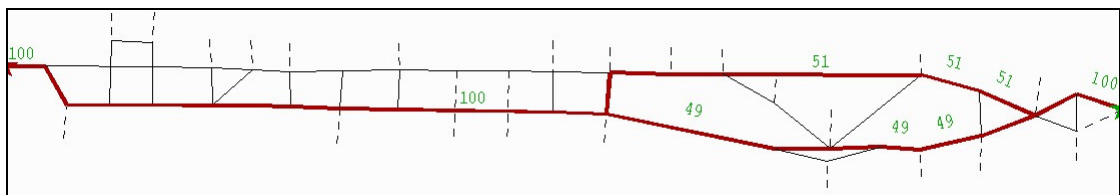
Σχήμα 29: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/1/60 /300)



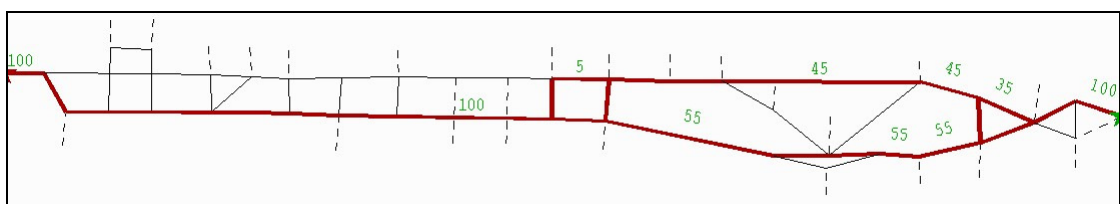
Σχήμα 30: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/1/60 /300)



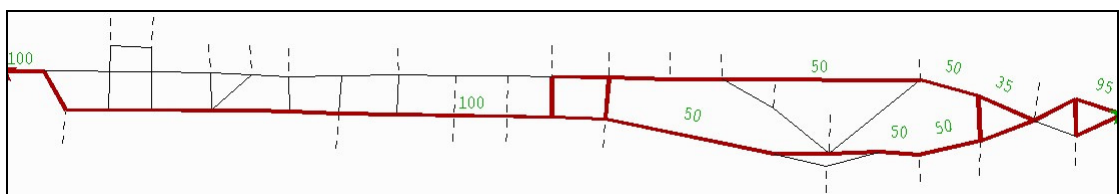
Σχήμα 31: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/60 /300)



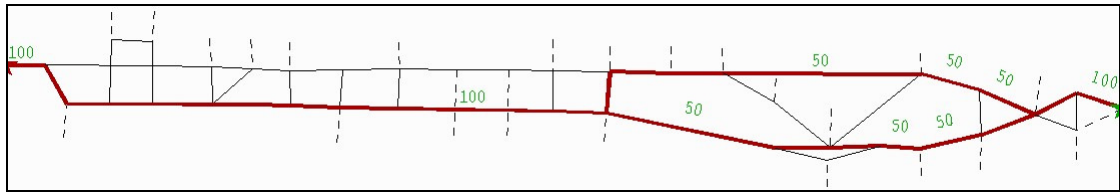
Σχήμα 32: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/1/60 /500)



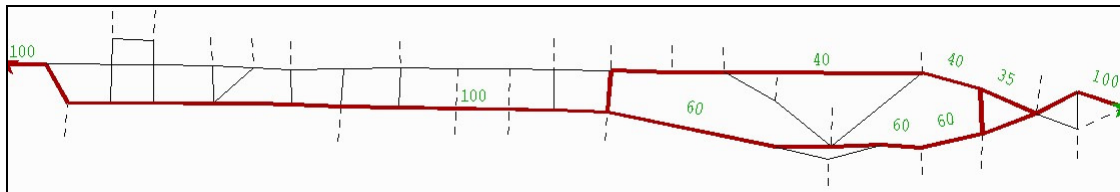
Σχήμα 33: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/1/60 /500)



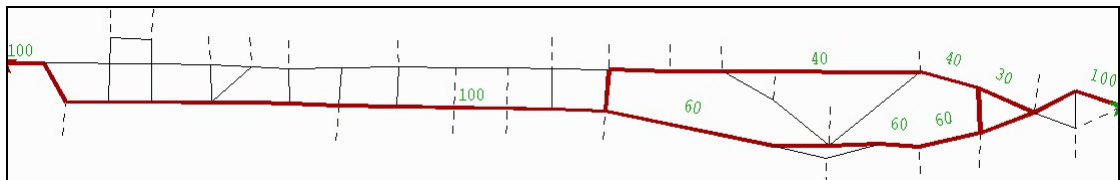
Σχήμα 34: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/1/60 /500)



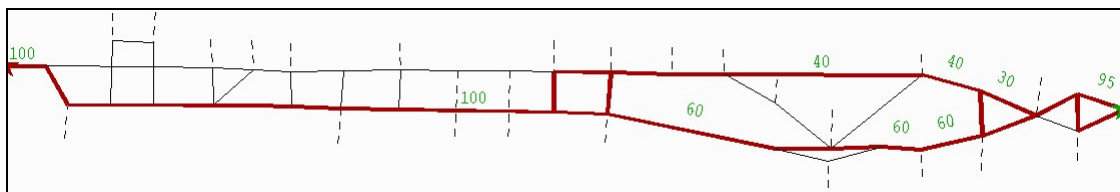
Σχήμα 35: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/60 /500)



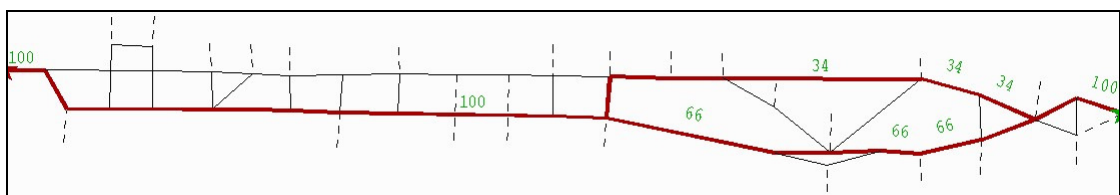
Σχήμα 36: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.1/1/60 /800)



Σχήμα 37: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.2/1/60 /800)



Σχήμα 38: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (SUE/0.4/1/60 /800)



Σχήμα 39: Δένδρο διαδρομών από Κόρινθο προς Πάτρα (UE/-/60 /800)