

1.1 Είδη κυκλοφοριακής ροής

Μια αρχική και βασική διάκριση για την μελέτη της Κυκλοφοριακής Ροής της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας γίνεται με κριτήριο αν η ροή σε μια οδό διακόπτεται ή καθυστερεί από τη συμβολή άλλων οδών. Δύο είδη οδών διακρίνονται με βάση αυτό το κριτήριο:

- I. Οδοί με *μη διακοπτόμενη κυκλοφοριακή ροή (uninterrupted-flow)*. Αφορά οδούς με γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που δεν δημιουργούν «διακοπές» στην ροή των οχημάτων. Απουσιάζουν κατά μήκος τους, για παράδειγμα, ισόπεδες διασταυρώσεις, σήμανση προτεραιότητας, σηματοδότες, κα. Τέτοια παραδείγματα είναι οι αυτοκινητόδρομοι αλλά και αστικές ή υπεραστικές αρτηρίες που σε μεγάλα τμήματα τους δεν εμφανίζουν οποιαδήποτε διάταξη (γεωμετρική ή ρυθμιστική-ελέγχου) που εμποδίζει την κυκλοφοριακή ροή.
- II. Οδοί με *διακοπτόμενη κυκλοφοριακή ροή (interrupted-flow)*. Αφορά οδούς με γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που δημιουργούν πυκνές ή μη «διακοπές» στην ροή των οχημάτων που κινούνται σε αυτές. Κάθε ισόπεδη διασταύρωση, με ή χωρίς σηματοδότη ή σήμανση είναι σημείο όπου διακόπτονται οι ροές των οδών πρόσβασης σε αυτήν. Παραδείγματα είναι όλες οι αστικές οδοί.

Η διάκριση των οδικών τμημάτων σε διακοπτόμενης και μη ροής, αφορά την κατηγορία και τα χαρακτηριστικά της οδού και όχι την ποιότητα της κυκλοφορίας. Για παράδειγμα ένας αστικός αυτοκινητόδρομος όπως η Λ. Κηφισού στην Αθήνα, παρουσιάζει συχνά φαινόμενα συμφόρησης άρα και «διακοπής» της ροής. Μελετάται όμως με την θεωρία της μη διακοπτόμενης ροής αφού πρόκειται για αυτοκινητόδρομο, χωρίς κόμβους στους οποίους διακόπτεται η ροή του από διασταυρώσεις ή σηματοδότες. Η ανάσχεση ή «διακοπή» της κυκλοφορίας σε αυτήν την περίπτωση αφορά αποκλειστικά την ανισορροπία ζήτησης και προσφοράς δηλαδή ότι η ζήτηση σε αριθμό οχημάτων είναι μεγαλύτερη από αυτήν που μπορεί να εξυπηρετήσει ο αυτοκινητόδρομος και έτσι δημιουργούνται ουρές και καθυστερήσεις.

Η βασική αυτή διάκριση είναι κάτι που διατρέχει όλη τη θεωρία της κυκλοφοριακής ροής και της ανάλυσης χωρητικότητας των οδών. Οι δύο κατηγορίες έχουν μεν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά κυρίως σε ότι αφορά τη θεώρηση των βασικών μεγεθών της κυκλοφοριακής ροής αλλά συνιστούν ειδοποιό διαφορά στη μελέτη μας καθώς η κάθε μια αναλύεται με διαφορετική μεθοδολογία κάτι που θα γίνει περισσότερο σαφές στη συνέχεια του συγγράμματος.

1.2 Ζήτηση, χωρητικότητα και κυκλοφοριακός φόρτος

Η *ζήτηση D (Demand)*, είναι το μέγεθος που μετρά οχήματα ή πρόσωπα που «επιθυμούν» να μετακινηθούν στη μονάδα του χρόνου. Η ζήτηση επηρεάζεται από ευρύτερους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες αλλά και από παράγοντες όπως η ώρα της ημέρας, ο σκοπός μετακίνησης, οι συνθήκες στη λειτουργία της οδού.

Σε μακροσκοπικό επίπεδο θα μπορούσαμε, για παράδειγμα, να πούμε, ότι η ζήτηση στο λεκανοπέδιο της Αττικής είναι 1,5 εκατ. μετακινήσεις ανά εργάσιμη ημέρα με όλα τα μέσα (IX, Μετρό, Λεωφορεία, πεζή⁷). Σε μικρότερη κλίμακα, αν ορίσουμε ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα μελέτης, η ζήτηση καθορίζεται από τον αριθμό των οχημάτων που επιθυμεί να διέλθει από αυτό το τμήμα. Για παράδειγμα, η ζήτηση στην Περιφερειακή Οδό Θεσσαλονίκης, στη σήραγγα Πυλαίας την πρωινή ώρα αιχμής 8:00-9:00 πμ, στην κατεύθυνση προς Καλαμαριά, είναι όσα από τα οχήματα μετακινούνται στην πόλη και έχουν σκοπό να διέλθουν από τη σήραγγα σε αυτό το διάστημα (η σήραγγα είναι μέρος της διαδρομής τους).

Η *κυκλοφοριακή ζήτηση (traffic demand)* είναι ο αριθμός των οχημάτων που φτάνουν σε μια διατομή της οδού στη μονάδα του χρόνου.

⁷ πεζή: με τα πόδια (επίρρημα)-δοτική πτώση. Κάποιος βαδίζει πεζός. Στο εξής θα χρησιμοποιείται ο όρος «πεζή» της νεοελληνικής που διατηρεί τον τύπο όχι όμως την ορθογραφία.

Ο φόρτος V (*Volume: όγκος*), είναι το μέγεθος που εκφράζει τί εξυπηρετείται από τη ζήτηση και μετρίεται σε αριθμό οχημάτων ή προσώπων στη μονάδα του χρόνου, συνήθως την ώρα. Για παράδειγμα, στην προηγούμενη περίπτωση στη Περιφερειακή Οδό Θεσσαλονίκης αν μετρούσαμε τι διέρχεται από τη σήραγγα Πυλαίας τη συγκεκριμένη ώρα, θα είχαμε σε αριθμό οχημάτων τον κυκλοφοριακό φόρτο του οδικού αυτού τμήματος.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος (*traffic volume*) είναι ο αριθμός των οχημάτων που διέρχεται από μια διατομή της οδού στην μονάδα του χρόνου. Άλλως, είναι ο αριθμός των οχημάτων που αναχωρούν από τη διατομή στη μονάδα του χρόνου.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος μπορεί να είναι όσος και η ζήτηση, δηλαδή να μετρήσουμε στη διατομή το σύνολο των οχημάτων που ζητούν να διέλθουν αλλά μπορεί και να είναι μικρότερος. Αυτό εξαρτάται από τη χωρητικότητα της διατομής.

Χωρητικότητα C , (*Capacity*) ή *κυκλοφοριακή ικανότητα* ορίζεται ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορούν να διέλθουν από διατομή της οδού, στη μονάδα του χρόνου.

Πρόκειται για ένα μέγεθος που καθορίζει την προσφορά, προκαθορισμένο και γνωστό τις περισσότερες φορές, εξ αρχής. Οι αμερικάνικες προδιαγραφές το ορίζουν ως τη μέγιστη διατηρήσιμη ωριαία τιμή με την οποία πρόσωπα ή οχήματα, ευλόγως αναμένεται να μπορούν να διασχίσουν ένα σημείο ή ένα ομοιόμορφο τμήμα μιας λωρίδας ή οδού, κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης ώρας υπό τις «επικρατούσες συνθήκες» - οδικές, περιβαλλοντικές, κυκλοφοριακές συνθήκες ελέγχου.

Η τιμή της χωρητικότητας, υπό προϋποθέσεις (για αυτό και το «ευλόγως» στον προηγούμενο ορισμό) μπορεί να ξεπεραστεί ή να υπολείπεται από τις όποιες θεωρητικές τιμές λαμβάνουμε με βάση τα εμπειρικά (κυρίως) αλλά και υπολογιστικά μοντέλα που ακολουθούμε. Κάποιες τυχαίες διακυμάνσεις της ζήτησης, η συμπεριφορά των χρηστών οδού, εξωτερικοί αστάθμητοι παράγοντες αλλά και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή μπορούν να επηρεάσουν τον τελικό αριθμό οχημάτων/προσώπων που μπορούν να εξυπηρετηθούν. Εντέλει, βέβαια, οι τιμές που λαμβάνουμε υπόψη στις αναλύσεις μας εκφράζουν τις περισσότερες φορές μια μέση μέγιστη τιμή «αναχωρήσεων» και η οποίος θεωρητικά μπορεί να διατηρηθεί επ' αόριστον, εφόσον διατηρείται σταθερή μια ισοδύναμη ζήτηση. Για παράδειγμα, θεωρούμε ότι η ακρότατη τιμή του αριθμού επιβατικών αυτοκινήτων (ΙΧ) που διέρχονται από λωρίδα αυτοκινητόδρομου (λωρίδα με συγκεκριμένα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά), είναι 2400 ΙΧ/ώρα. Αυτή η τιμή είναι η μέση μέγιστη παρατηρούμενη στις ίδιες συνθήκες και αποτελεί το σημείο αναφοράς της ανάλυσης μας αλλά οριακά εμφανίζεται είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω σε πολλές πραγματικές μετρήσεις.

Επικρατούσες συνθήκες

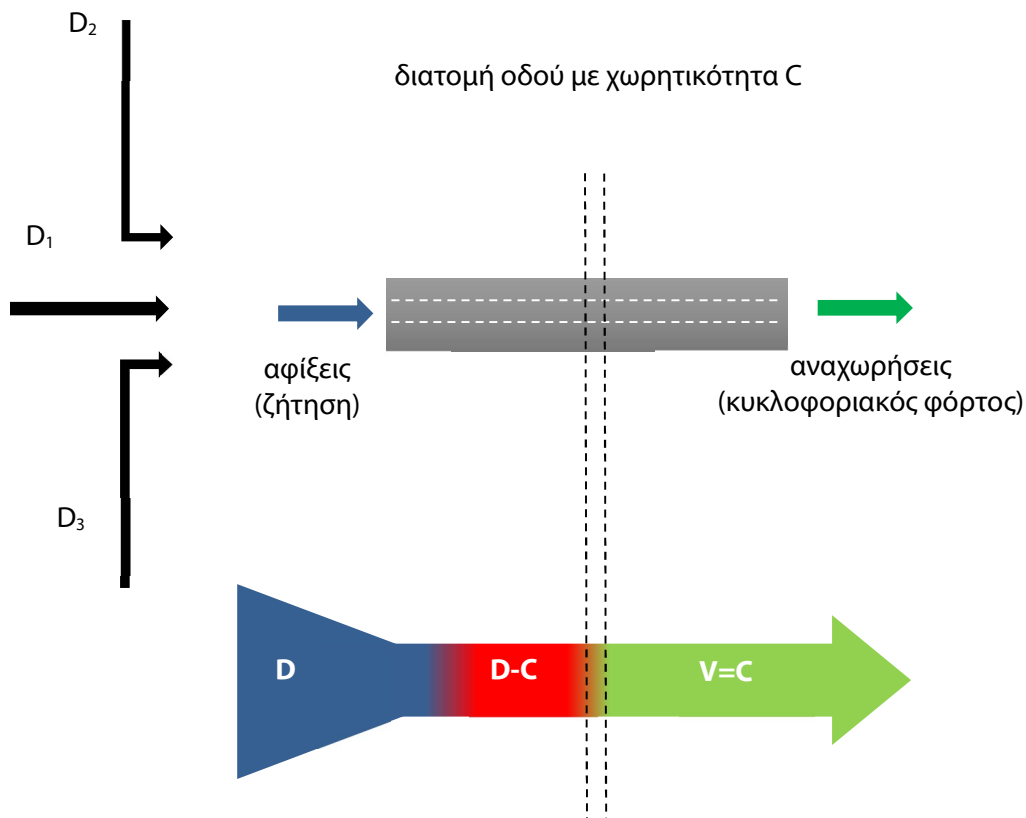
Ο όρος *επικρατούσες συνθήκες (prevailing conditions)*, με συχνή αναφορά στην Κυκλοφοριακή Μηχανική, αφορά ομοιόμορφες σε χώρο ή/και χρόνο συνθήκες ως προς τα εξής:

- Οι *οδικές – γεωμετρικές συνθήκες* αναφέρονται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, όπως η κατηγορία που ανήκει (πχ αστική, υπεραστική, αυτοκινητόδρομος, με ή χωρίς νησίδα διαχωρισμού των κατευθύνσεων), ο αριθμός λωρίδων, τα πλάτη, οι ταχύτητες σχεδιασμού κλπ
- Οι *περιβαλλοντικές συνθήκες* αναφέρονται στις καιρικές και τις συνθήκες φωτισμού. Δυσμενείς καιρικές συνθήκες (ισχυρή βροχώπτωση, άνεμοι, ομίχλη, χιόνι) πέραν της επιρροής στην οδική ασφάλεια επιδρούν σε κυκλοφοριακά μεγέθη όπως η ταχύτητα. Ο φωτισμός φυσικός (ημέρας - νύχτας) και τεχνητός (πχ σήραγγες) επίσης καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τη συμπεριφορά οδήγησης και τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης εν γένει
- Οι *συνθήκες κυκλοφορίας* αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των κυκλοφορούντων οχημάτων που χρησιμοποιούν την οδό, συμπεριλαμβανομένων των κατηγοριών αυτών (ΕΙΧ, δίκυκλα, λεωφορεία, φορτηγά κλπ) τις επιλεγόμενες ταχύτητες, τις οδηγικές συμπεριφορές, την κατανομή της κυκλοφορίας σε λωρίδες ή κατευθύνσεις της οδού κλπ
- Οι *συνθήκες ελέγχου* αναφέρονται στον τρόπο που ρυθμίζεται η κυκλοφορία δηλαδή τους κανόνες, τις σημάνσεις, τους σηματοδότες ή άλλους περιορισμούς και ρυθμίσεις

Οι πιθανές σχέσεις μεταξύ των προαναφερόμενων μεγεθών, ζήτησης, φόρτου και χωρητικότητας είναι οι εξής:

- I. αν $D > C$, τότε $V = C$ και σχηματισμός ουράς λόγω περίσσειας ζήτησης
- II. αν $D = C$, τότε $V = C$ και οριακή συνθήκη ισορροπίας προσφοράς-ζήτησης
- III. αν $D < C$, τότε $V = D$ και ροή ομαλή λόγω περίσσειας χωρητικότητας

Δηλαδή, όταν η ζήτηση D , είναι μεγαλύτερη της χωρητικότητας C , τότε ο κυκλοφοριακός φόρτος V (ο αριθμός των οχημάτων που μετρώνται να περνούν τελικά από τη διατομή), θα ισούται με την χωρητικότητα ως ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορεί αυτή να δεχθεί και να εξυπηρετήσει. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει έλλειμα χωρητικότητας ή περίσσεια ζήτησης και τα οχήματα που δεν διέρχονται από τη διατομή, πλεονάζουν και δημιουργούν *ουρά (queue)* (Διάγραμμα 1-1). Ουρά δεν δημιουργείται όταν οριακά η ζήτηση είναι ίση με την χωρητικότητα και φυσικά στην περίπτωση που η ζήτηση υπολείπεται της χωρητικότητας: όσα οχήματα φθάνουν στη διατομή εξυπηρετούνται και κατά συνέπεια ο φόρτος είναι τελικά ίσος με τη ζήτηση (περίσσεια ή επάρκεια χωρητικότητας)..



D_1, D_2, D_3 : Ο όγκος της κυκλοφορίας που ζητά να διέλθει από τη διατομή, από όλες τις κατευθύνσεις που οδηγούν σε αυτήν. Ζήτηση: $D = D_1 + D_2 + D_3$, C : η χωρητικότητα της διατομής, V : ο κυκλοφοριακός φόρτος, $D-C$: οχήματα σε ουρά αν $D > C$

Διάγραμμα 1-1 Σχέση ζήτησης, φόρτου, χωρητικότητας σε συνθήκες όπου $D > C$

Αν θέλαμε να παρουσιάσουμε με έναν δείκτη τις παραπάνω σχέσεις θα διαπιστώναμε ότι το κλάσμα φόρτου προς χωρητικότητα μπορεί να εκφράσει τις συνθήκες που περιεγράφηκαν. Ο *βαθμός κορεσμού* ο οποίος ορίζεται ως το κλάσμα του φόρτου προς την χωρητικότητα (V/C) και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 είναι ένα από τα κριτήρια που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής και γενικότερα τις συνθήκες κυκλοφορίας τόσο στη διακοπτόμενη και στη μη διακοπτόμενη ροή. Χαμηλή τιμή δείχνει ότι η χωρητικότητα επαρκεί για τη ζήτηση ενώ τιμή πλησίον του 1 αποτυπώνει συνθήκες στα όρια

κορεσμού της οδού ($V=C$). Θεωρητικά η τιμή αυτού του λόγου δεν μπορεί να ξεπεράσει την μονάδα δηλαδή δεν μπορεί να μετρηθεί κυκλοφοριακός φόρτος άνω της χωρητικότητας. Αν όμως ο αριθμητής εκφραστεί ως ζήτηση και όχι ως ο μετρημένος κυκλοφοριακός φόρτος (το αμερικάνικο εγχειρίδιο εισάγει την μεταβλητή V_d , ως «φόρτος» της ζήτησης), τότε το κλάσμα λαμβάνει τιμές άνω τις μονάδας και είναι ένδειξη ή ελλείματος χωρητικότητας ή υπερβάλλουσας ζήτησης. Ο δείκτης αυτός είναι σημαντικός και χρησιμοποιείται ως ένα από τα κριτήρια αξιολόγησης των κυκλοφοριακών συνθηκών και της εξυπηρέτησης όπως θα φανεί αναλυτικά στη συνέχεια του συγγράμματος.

1.3 Ο ρυθμός ροής και η σημασία του

Ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από τμήμα οδού στη μονάδα του χρόνου, ορίσθηκε ως κυκλοφοριακός φόρτος. Την ίδια σημασία έχει και ο όρος ροή (*flow*). Και οι δύο όροι σημαίνουν το ίδιο, δηλαδή την ποσότητα της κυκλοφορίας σε αριθμό οχημάτων σε κάποιο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά, σε πολλές μεθόδους ειδικά στο HCM⁸ υπάρχει διάκριση στα δύο μεγέθη και ειδικότερα διάκριση μεταξύ του μεγέθους του φόρτου και αυτού του ρυθμού ροής.

Ως *ρυθμός ροής* v (*flow rate*), ορίζεται ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από διατομή της οδού σε μικρότερη της ώρας χρονική διάρκεια, ανηγμένος στην ώρα. Στην πράξη, ως ρυθμός ροής συνήθως λαμβάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος ενός 15λέπτου που ανάγεται στη συνέχεια σε ωριαία μέτρηση πολλαπλασιαζόμενος επί τέσσερα (ή διαιρείται με 0,25). Η ωριαία αυτή τιμή ονομάζεται και *ισοδύναμος ωριαίος ρυθμός ροής*. Για παράδειγμα, μέτρηση 100 οχ. το 15λεπτο αντιστοιχεί σε ισοδύναμο ωριαίο ρυθμό ροής ή απλά ρυθμό ροής $v=100 \times 4 = 400$ οχήματα/ώρα. Συνηθέστατα, μάλιστα, όπως θα διαπιστωθεί στη συνέχεια του συγγράμματος λαμβάνουμε ως 15λεπτο ανάλυσης και κατ' επέκταση ωριαία τιμή ανάλυσης, τον ρυθμό ροής που προκύπτει από την αναγωγή σε ώρα του μέγιστου 15λεπτου της ώρας και μάλιστα της ώρας αιχμής (η αιχμή της αιχμής!).

Σε πολλές περιπτώσεις στην Κυκλοφοριακή Μηχανική χρησιμοποιούμε τη *θεωρία των ουρών αναμονής*⁹. Ας διατυπώσουμε ένα παράδειγμα που αυτή η θεωρία είναι κατάλληλη για να ερμηνεύσει τη σκοπιμότητα χρήσης του ρυθμού ροής αντί (ή συνδυαστικά) του κυκλοφοριακού φόρτου.

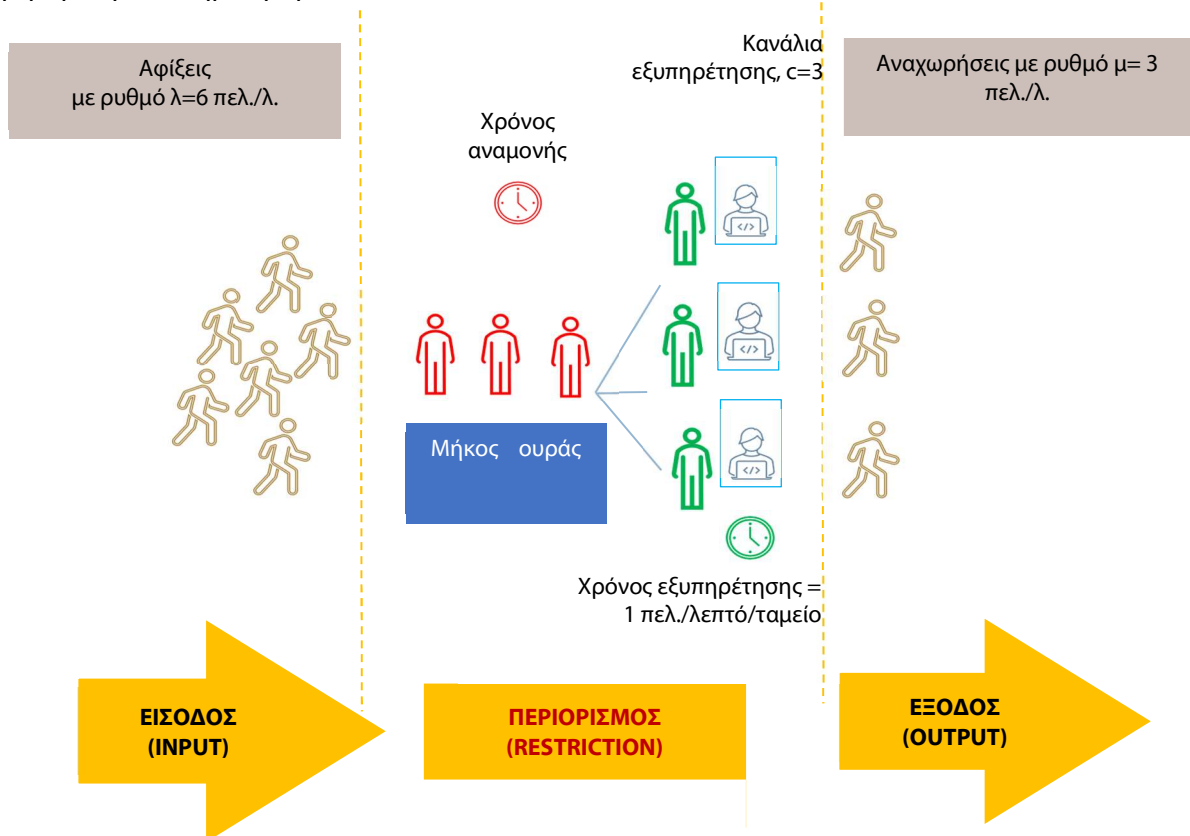
Το παράδειγμα σχηματικά αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 1-2. Σε μια τράπεζα, με 3 ταμεία (*κανάλια εξυπηρέτησης - channels*, λ) ο ρυθμός αφίξεων λ , είναι 3 πελάτες ανά λεπτό. Αν ο ρυθμός αναχωρήσεων μ , δηλαδή εξυπηρέτησης και τελικά αναχώρησης των πελατών, είναι 3 πελάτες το λεπτό (ή 1 πελάτης ανά ταμείο ανά λεπτό) τότε κανείς πελάτης δεν αναμένει σε ουρά αφού, όσοι εισέρχονται, εξυπηρετούνται και εξέρχονται ($\lambda=\mu$) την στιγμή που θα αφιχθούν οι επόμενοι. Αν σε κάποιο λεπτό φτάσουν 6 πελάτες, τότε οι 3 θα παραμείνουν σε ουρά έως ότου εξυπηρετηθούν οι (πρώτοι) 3 από τους 6 που μπήκαν μαζί το ίδιο λεπτό. Αν στο επόμενο λεπτό ο ρυθμός ξαναπέσει στους 3 πελάτες ανά λεπτό, 3 πελάτες θα βρίσκονται συνεχώς σε ουρά αναμονής. Αν για ένα λεπτό της ώρας ο ρυθμός αφίξεων μηδενισθεί, τότε η ουρά θα απορροφηθεί. Στο τέλος μιας ώρας, αν μετρήσουμε τον αριθμό των αφίξεων και αυτό των αναχωρήσεων θα διαπιστώσουμε ότι δεν περισσεύει κανείς πελάτης, δηλαδή ότι όσοι αφίχθηκαν, εξυπηρετήθηκαν και αναχώρησαν.

Στη διάρκεια όμως της ώρας, η λειτουργία της τράπεζας και οι πελάτες επηρεάστηκαν αφού για κάποιο διάστημα και έως ότου ο ρυθμός αφίξεων πέσει ώστε να ισορροπήσει το σύστημα, υπήρχε ουρά και αναμονή, δηλαδή *καθυστέρηση*, 3 διαφορετικών ανά λεπτό, πελατών. Αν κάποιος, λοιπόν, αξιολογούσε

⁸ *Highway Capacity Manual*. Στο εξής οι αναφορές σε αυτό θα γίνονται είτε ως «HCM» είτε ως «αμερικάνικο εγχειρίδιο». Η συνεχής αναφορά σε αυτό εξηγείται στον πρόλογο

⁹ Η *Θεωρία Ουρών Αναμονής (Queueing Theory)* είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που βρίσκεται στην τομή των Εφαρμοσμένων Μαθηματικών, των Επιστημών Μηχανικού, της Πληροφορικής καθώς και της Διοικητικής Επιστήμης. Αντικείμενο είναι η μελέτη συστημάτων εξυπηρέτησης (*service systems*), γνωστών και ως συστήματα ουρών αναμονής (*queueing systems*). Τα συστήματα αυτά είναι μαθηματικά πρότυπα που παριστάνουν μια συνθήκη εισόδου-εξόδου «πελατών» που δέχονται κάποια μορφής «εξυπηρέτηση» από «υπηρέτες» [8]. Οι εφαρμογές της θεωρίας είναι ποικίλες, πχ σε συστήματα μεταφορών, στην κυκλοφορία, σε συστήματα και διαδικασίες εξυπηρέτησης πελατών, σε δίκτυα μετάδοσης πληροφορίας στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή το διαδίκτυο, στην αποθήκευση και διάθεση των προϊόντων. Με τη χρήση της θεωρίας υπολογίζουμε στοιχεία των ουρών όπως ο χρόνος αναμονής, το πλήθος στοιχείων σε ουρά (ανθρώπων, οχημάτων, προϊόντων), ελάχιστους, μέσους και μέγιστους χρόνους καθυστέρησης, κόστος κλπ.

με χρονική αναφορά την ώρα, θα έβρισκε χωρίς πρόβλημα τη λειτουργία της τράπεζας. Αν όμως κάποιος ζητούσε την άποψη των πελατών η μελετούσε ένα μικρότερο της ώρας διάστημα, θα διαπίστωνε καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση.



Διάγραμμα 1-2 Τυπικό σύστημα ουράς την χρονική στιγμή υπερβάλλουσας ζήτησης

Το ίδιο θα συνέβαινε εάν αντί αύξησης του ρυθμού αφίξεων είχαμε μείωση του ρυθμού εξυπηρέτησης στα ταμεία. Για παράδειγμα κάποιος πελάτης να έχει χρόνο εξυπηρέτησης δύο αντί ενός λεπτού ή αν ένα ταμείο κλείσει για κάποιο χρονικό διάστημα¹⁰.

Οι γενικές συνθήκες του παραδείγματος είναι:

- I. $\lambda < \mu$, ομαλή λειτουργία
- II. $\lambda = \mu$, οριακή συνθήκη-κορεσμός
- III. $\lambda > \mu$, δημιουργία ουράς

Ένα ανάλογο παράδειγμα με στοιχεία κυκλοφορίας που δείχνει την ανάγκη αξιολόγησης του ρυθμού ροής αντί του ωριαίου φόρτου κατά την ανάλυση, σε πολλές περιπτώσεις σχεδιασμού, είναι το εξής: Έστω διατομή οδού 2 λωρίδων όπου η χωρητικότητα της είναι 4.500 οχ./ώρα και οι μετρήσεις οχημάτων ανά 15λεπτο είναι 1000 οχ., 1200 οχ., 1100 οχ., και 1000 οχ. από το 1ο έως το 4ο 15λεπτο, αντίστοιχα. Σε αυτή την περίπτωση ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος είναι το άθροισμα των οχημάτων κάθε 15λεπτου ίσος με 4.300 οχ./ώρα, τιμή μικρότερη της χωρητικότητας (<4.500 οχ./ώρα). Όμως ο ρυθμός ροής του 2ου 15λέπτου αντιστοιχεί σε ισοδύναμο ωριαίο φόρτο $1200 \times 4 = 4800$ οχ./ώρα τιμή άνω της χωρητικότητας. Έτσι, και παρότι η ωριαία θεώρηση δείχνει περίσσεια χωρητικότητας, παρατηρούνται ουρές, ενδιάμεσα της ώρας, λόγω αυξημένου ρυθμού ροής (μεγαλύτερου της χωρητικότητας) στο 2^ο 15λεπτο.

¹⁰ Η περίπτωση του «κλειστού ταμείου» στο οδικό δίκτυο, αφορά τον αποκλεισμό τμήματος της οδού λόγω ενός συμβάντος ή ατυχήματος. Σε αυτή την περίπτωση θα είχαμε μείωση της χωρητικότητας, δηλαδή της προσφοράς.

Είναι ανάγκη, λοιπόν, πολλές φορές να μελετήσουμε και να σχεδιάσουμε με βάση το μέγιστο 15λεπτο και τον ισοδύναμο ωριαίο φόρτο που αυτό παράγει αντί του συνολικού ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου. Στη συνέχεια του συγγράμματος θα δοθούν οι αναλυτικοί τρόποι υπολογισμού και οι εφαρμογές του ρυθμού ροής.

1.4 Η Στάθμη Εξυπηρέτησης

Η αμερικάνικη θεωρία, έχει εισαγάγει εδώ και δεκαετίες ένα δείκτη κοινό για τα δύο είδη ροής, ο οποίος χαρακτηρίζει ποιοτικά την κυκλοφορία. Η *Στάθμη Εξυπηρέτησης (ΣΕ)* ή *Επίπεδο Εξυπηρέτησης (ΕΕ)* από το αγγλικό όρο *Level of Service (LOS)*, εκφράζει την ποιότητα της ροής, δηλαδή αυτό που θα μπορούσε να ορισθεί ως «συνθήκες κυκλοφορίας» (καλές, μέτριες, κακές) και μάλιστα, από την πλευρά του χρήστη της οδού.

Ορίζονται έξι (6) Στάθμες - Επίπεδα Εξυπηρέτησης οι οποίες συμβολίζονται με τα γράμματα *A έως F*¹¹. Στη ΣΕ-A αντιστοιχίζονται οι βέλτιστες συνθήκες και στην ΣΕ-F οι δυσμενέστερες. Για κάθε Στάθμη Εξυπηρέτησης ορίζονται κατώφλια τιμών κυκλοφοριακών μεγεθών όπως π.χ. η πυκνότητα και ο ρυθμός ροής, που εντός των ορίων τους ορίζεται η κάθε Στάθμη. Για παράδειγμα, αν σε τμήμα αυτοκινητοδρόμου που κυκλοφορείται μόνο από ΙΧ οχήματα, η πυκνότητα έχει τιμή κάτω από 7 οχ/χλμ/λωρίδα τότε η ΣΕ είναι η A, αν έχει τιμή 7 - 11 οχ/χλμ/λωρίδα η ΣΕ είναι η B και φτάνοντας στην ΣΕ-E η πυκνότητα έχει όρια 22-28 οχ/χλμ/λωρίδα. Από τις τιμές και μόνο καταλαβαίνει κάποιος ότι να κυκλοφορούν 7 οχήματα ανά χιλιόμετρο οδού δηλαδή περίπου 1 όχημα ανά 170 μέτρα (ΣΕ-A) είναι ευνοϊκότερο από ότι να κυκλοφορούν 28 οχήματα ανά χιλιόμετρο οδού ή άλλως 1 όχημα ανά περίπου 35 μέτρα. Η κλιμάκωση προς τα πάνω του αριθμού των οχημάτων ανά χιλιόμετρο λωρίδας (αύξηση πυκνότητας) δυσχεραίνει την εξυπηρέτηση των χρηστών οδού καθώς περισσότερα οχήματα βρίσκονται στην οδό και έτσι πχ δεν είναι εφικτή η επιλογή ταχύτητας, η επιλογή λωρίδας (κοκ¹²).

Σημαντικό να τονισθεί σε αυτό το σημείο κάτι που αναλυτικά θα παρουσιασθεί αρκετές φορές στη συνέχεια του συγγράμματος, ότι η ΣΕ-F δεν εκφράζει μια σταθερή κατάσταση αλλά χαρακτηρίζει τις συμφορήσεις και τις απότομες μεταβολές μεγεθών της κυκλοφοριακής ροής. Στη ΣΕ-F τα οχήματα βρίσκονται κάποιες στιγμές ακινητοποιημένα, κάποιες κινούνται για λίγα μέτρα με πολύ χαμηλή ταχύτητα, και γενικά υπάρχουν καθυστερήσεις και πτώση του επιπέδου εξυπηρέτησης. Επιπλέον, είναι σημαντικό να διευκρινισθεί ότι η ΣΕ-E είναι η τελευταία που πρακτικά αναλύεται με τις μεθοδολογίες του αμερικάνικου εγχειριδίου για τον προσδιορισμό της ΣΕ των οδικών στοιχείων. Όταν η ΣΕ είναι η F ισχύουν άλλα πρότυπα, κυρίως στοχαστικά.

Σε κάθε ΣΕ η ανώτερη τιμή φόρτου, ορίζεται ως φόρτος εξυπηρέτησης. Ο *φόρτος εξυπηρέτησης (Service Volume, SV)* είναι ο μέγιστος αριθμός οχημάτων, επιβατών, πεζών κλπ τα οποία μπορούν να «εξυπηρετηθούν» σε ένα σημείο ή τμήμα οδού που χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα σχεδιαστικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, σε μια δεδομένη όμως, Στάθμη Εξυπηρέτησης. Το μέγεθος συνδέεται στενά με την έννοια της χωρητικότητας και συχνά συγχέεται με αυτήν και έτσι είναι σκόπιμο να τονισθεί ότι οι τιμές του φόρτου εξυπηρέτησης είναι διαφορετικές για κάθε Στάθμη (Διάγραμμα 1-3)¹³.

Για παράδειγμα ενώ η μέγιστη τιμή υπό συγκεκριμένες συνθήκες, του αριθμού των οχημάτων που μπορούν να διέλθουν από λωρίδα αυτοκινητόδρομου σε μια διατομή είναι 2400 οχ/ώρα, ο φόρτος εξυπηρέτησης για τη ΣΕ-A είναι 840 οχ/ώρα, για τη ΣΕ-B τα 1320 οχ/ώρα κοκ. Η τιμή 2400 οχ/ώρα αντιστοιχεί στην ΣΕ-E που είναι η οριακή Στάθμη στον κορεσμό (βλέπε οριακές συνθήκες $D=C=V$ προηγουμένως) και πριν την έναρξη συμφόρησης. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερος κρίσιμο συμπέρασμα και θα μας ακολουθεί σε μεγάλο μέρος του υπόλοιπου συγγράμματος. Μιλάμε δηλαδή για χωρητικότητα εννοώντας την τιμή του φόρτου που εμφανίζεται όταν η Στάθμη οριακά βρίσκεται εντός των ορίων της E και πριν την μετάβαση στην F ή άλλως η χωρητικότητα προσδιορίζει την τιμή -όριο μεταξύ της ΣΕ-E και της μετάβασης στις ασταθείς συμφορημένες συνθήκες.

¹¹ Στο σύγγραμμα χρησιμοποιούνται οι λατινικοί χαρακτήρες αντί των ελληνικών A, B, Γ...

¹² Πρωτύστερα, μπορεί κάποιος για την κατανόηση των γραφομένων εδώ να συμβουλευθεί και το διάγραμμα 9-2

¹³ Αντίστοιχα, ο ρυθμός ροής εξυπηρέτησης (service flow rate) είναι η μέγιστη τιμή ρυθμού ροής που μπορεί να εξυπηρετήσει μια οδός σε κάθε Στάθμη Εξυπηρέτησης.



C , η χωρητικότητα. SV , ο φόρτος εξυπηρέτησης σε κάθε Στάθμη Εξυπηρέτησης. Χρωματική κλιμάκωση από καλές (πράσινο) σε κακές συνθήκες κυκλοφορίας (έντονο κόκκινο). Στη ΣΕ- F οι συνθήκες είναι ασταθείς και δεν αντιστοιχίζονται τιμές

Διάγραμμα 1-3 Αντιστοίχιση χωρητικότητας, φόρτου εξυπηρέτησης και Στάθμης Εξυπηρέτησης

Είδη ροής ως προς τις κυκλοφοριακές συνθήκες

Το HCM που προσφέρει μεθόδους ανάλυσης της κυκλοφοριακής ροής σε *ποικίλες συνθήκες λειτουργίας (operating conditions)*, προτείνει τρεις ακόμη κατηγορίες ροής που όμως σχετίζονται με την κυκλοφορία και όχι το είδος του δικτύου.

Μη κορεσμένη ροή ορίζεται η κυκλοφοριακή ροή υπό τις εξής συνθήκες:

- ο ρυθμός αφίξεων των οχημάτων σε μια διατομή είναι μικρότερος της χωρητικότητας
- δεν υφίσταται ουρά από προηγούμενη χρονικά ανισορροπία ζήτησης-προσφοράς οποιασδήποτε αιτιολογίας (συμβάν, αυξημένη ζήτηση) και
- η ροή δεν επηρεάζεται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες κατάντι

Κορεσμένη ή υπερκορεσμένη ροή ορίζεται η κυκλοφοριακή ροή υπό τις εξής συνθήκες:

- ο ρυθμός αφίξεων των οχημάτων σε μια διατομή υπερβαίνει την χωρητικότητα
- υφίσταται (δεν έχει ακόμη λήξει) μια ουρά από προηγούμενη χρονικά ανισορροπία ζήτησης-προσφοράς
- η ροή επηρεάζεται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες κατάντι

Ροή εκφόρτισης ουράς είναι η ροή που εκφράζει τις συνθήκες που επικρατούν αμέσως μετά από ένα σημείο συμφόρησης και οι οποίες είναι συνθήκες ελεύθερης ροής, δηλαδή συνθήκες στις οποίες τα οχήματα κινούνται με την ταχύτητα ελεύθερης ροής και η οποία εμφανίζεται όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος έχει χαμηλές τιμές και η πυκνότητα κυκλοφορίας τείνει στο μηδέν. Το είδος αυτό της ροής σχετίζεται κυρίως με τις οδούς μη διακοπτόμενης ροής.

Περισσότερες διευκρινήσεις για τις ροές των παραπάνω καταστάσεων δίνονται στα επόμενα κεφάλαια του συγγράμματος