

Μετακινήσεις Πεζών διά μέσου Άτακτα Διατεταγμένης Ουράς Αναμονής στο Πλαίσιο Εκκένωσης Χώρου

Ι. ΤΖΟΥΒΑΛΑΚΗΣ

Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΡΕΝΤΖΟΣ

Πολιτικός Μηχανικός

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετήσει το φαινόμενο της συμπεριφοράς και της κίνησης πεζών ατόμων σε άτακτα διατεταγμένη ουρά αναμονής. Στόχος της είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τον ορθολογιστικό σχεδιασμό στον αστικό χώρο είτε έργων υποδομής (πεζοδρόμια, πεζογέφυρες κ.λπ.) είτε χώρων αναμονής και κυκλοφορίας πλήθους κοινού σε κτιριακά έργα (αποβάθρες σταθμών, προσβάσεις και έξοδοι ανάγκης σε χώρους συγκέντρωσης πλήθους ατόμων, στεγασμένους ή μη, όπως εκκλησίες, αθλητικές εγκαταστάσεις, χώροι θεαμάτων κ.λπ.). Η έρευνα περιλαμβάνει την ανάλυση χαρακτηριστικών παραμέτρων κίνησης πεζών σε άτακτα διατεταγμένη ουρά αναμονής, σε μεγάλης σημασίας θρησκευτική εκδήλωση, κατά τη λήψη αγιασμού, μετά την τελετή αγιασμού των υδάτων, στην εκκλησία της Αγ. Παρασκευής, στο δήμο Ν. Σμύρνης στην Αθήνα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέχρι σήμερα έρευνα στις αστικές μετακινήσεις των πεζών είχε ως κύριο αντικείμενο την ανάλυση παραμέτρων θεωρώντας τους πεζούς κυρίως όχι ως μεμονωμένα άτομα, αλλά ως ομάδα πεζών που, χωρίς να το έχουν συνειδητά επιδιώξει, συμβαδίζουν στο πλαίσιο μιας τυχαίας φάλαγγας, η οποία δημιουργείται συχνά από φωτεινούς σηματοδότες ή άλλους κυκλοφοριακούς παράγοντες. Οι παράμετροι, που βασικά εξετάζονται, είναι η ταχύτητα, η πυκνότητα, η ροή και ο χώρος, τον οποίο καταλαμβάνει η ομάδα των μετακινούμενων πεζών [5],[7]. Επίσης, έχει θεωρητικά μελετηθεί το φαινόμενο της ουράς αναμονής αρχικά για οχήματα και αργότερα, κατ' επέκταση, για ομάδες πεζών ατόμων [8], [9], [10].

Τα μέχρι σήμερα εξεταζόμενα μεγέθη, όπως ταχύτητα, ροή κ.λπ., δεν απαιτούσαν εξειδικευμένο εξοπλισμό, αλλά αρκούσαν κάποιοι παρατηρητές με χρονόμετρα και ίσως και κάποιο ερωτηματολόγιο για να αποτυπώσουν, πέρα από τα χαρακτηριστικά της κίνησης, και τον ακριβή σκοπό μετακίνησης των πεζών [9].

Η εισαγωγή της εικόνας (φωτογραφική, κινηματογραφική μηχανή καθώς και το μαγνητοσκόπιο) επιτρέπει σήμερα στο μελετητή λεπτότερες και ακριβέστερες αναλύσεις των χαρακτηριστικών κίνησης του δείγματος των πεζών που εξετάζει [1], [2], [3], [4], [6].

Η παρούσα έρευνα έρχεται να συμπληρώσει ένα κενό της βιβλιογραφίας, διότι εξετάζει και αναλύει χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του ίχνους της κίνησης πεζών ατόμων στο εσωτερικό μιας άτακτα διατεταγμένης ουράς αναμονής.

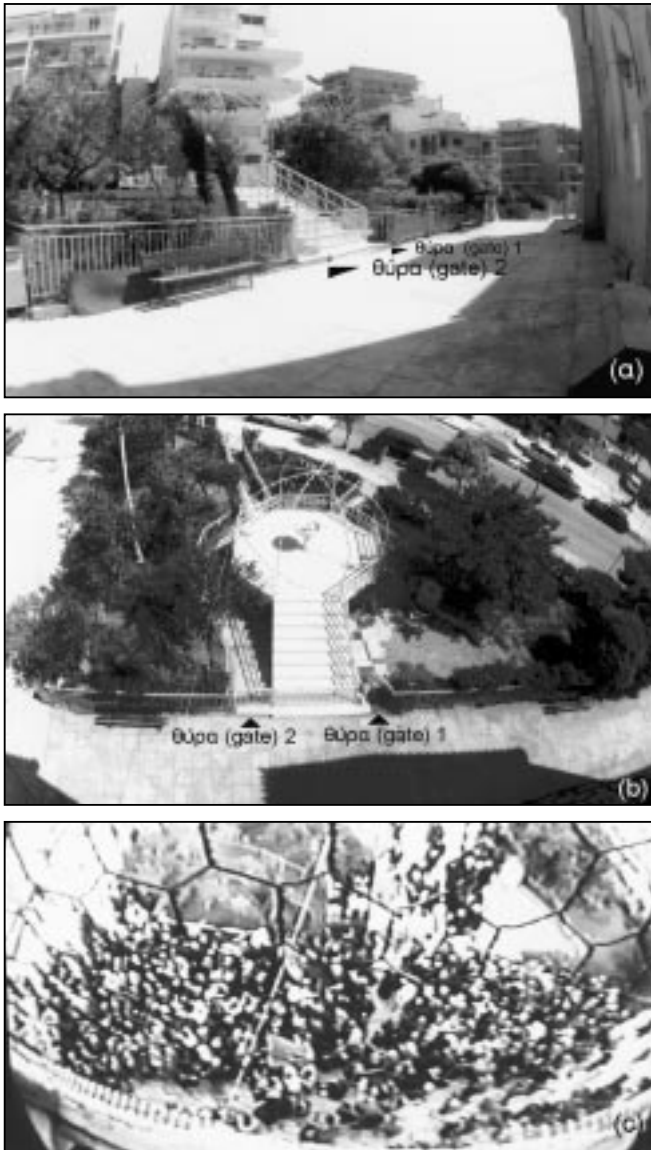
2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1. Η οργάνωση του πειράματος

Με δεδομένη τη χρήση μαγνητοσκοπίου για την αποτύπωση της κίνησης των πεζών αποφασίστηκε το δείγμα της έρευνας να προέρχεται από άτομα που είχαν κοινό σκοπό μετακίνησης. Αρχικά είχε εξετασθεί η ιδέα να αποτυπωθεί ομάδα ατόμων κατά την πορεία τους προς την έξοδο γηπέδου και στη συνέχεια η ιδέα αποτύπωσης ομάδων ατόμων σε αποβάθρες που προσπαθούν να εισέλθουν σε συρμούς. Τελικά αποφασίστηκε η αποτύπωση ομάδας ατόμων σε κάποια θρησκευτική εκδήλωση. Η απόφαση αυτή ελήφθη με το σκεπτικό ότι παρείχε πλήθος ατόμων:

- Με κοινό σκοπό μετακίνησης.
- Σχετικά ήρεμο στις εκδηλώσεις συμπεριφοράς του (λόγω ευλάβειας προς τη θρησκευτική τελετή σε αντίθεση π.χ. με τις εκδηλώσεις οπαδών σε γήπεδο).
- Ικανοποιητική συνεχή ροή πεζών (σε αντίθεση με τις αποβάθρες που λόγω των συρμών οι πεζοί καταφθάνουν κατά κύματα).
- Σταθερές σε θέση «πύλες» διέλευσης (σε αντίθεση με τις αποβάθρες όπου οι θύρες των συρμών μετατοπίζονται ελαφρά σε κάθε νέα άφιξη τρένου).

Επιπλέον, το δάπεδο του περιβάλλοντος της εκκλησίας ήταν



Εικόνα 1: (α) Ο χώρος από το ύψος των πεζών. (β) Ο χώρος από το ύψος του παρατηρητή χωρίς πεζούς. (γ) Ο χώρος από το ύψος του παρατηρητή με μία τυχαία εικόνα δείγματος με πεζούς στην ουρά αναμονής.

Picture 1: (a) The area viewed from the pedestrian's height. (b) The area viewed from the observer's height without pedestrians. (c) The area viewed from the observer's height with random view of the sample with pedestrians in the waiting queue.

επίπεδο, οριζόντιο, στρωμένο με πλάκες τσιμέντου δεδομένων διαστάσεων που διευκόλυνε το πείραμα δημιουργώντας ένα φυσικό κάναβο.

2.2. Καταγραφή φαινομένου

Η καταγραφή του φαινομένου έγινε την 6^η Ιανουαρίου 1993, τις προμεσημβρινές ώρες, στην εκκλησία Αγ. Παρασκευής, παρά τις οδούς Ελ. Βενιζέλου και Θ. Σοφούλη, στο δήμο Ν. Σμύρνης στην Αθήνα. Μαγνητοσκοπήθηκε μετά την

τελετή αγιασμού των υδάτων η λήψη αγιασμού από πλήθος ατόμων που ήταν πυκνά συγκεντρωμένο και περίμενε σε άτακτα διατεταγμένη ουρά έξω από την εκκλησία, κατά μήκος του κιγκλιδώματος του περιβόλου.

Για να λάβει τον αγιασμό, έπρεπε να διέλθει από κάποια από τις δύο μικρές θύρες που υπήρχαν στο κιγκλιδώμα, δρασκελώντας ένα μικρό σκαλί ύψους περίπου 16 cm (εικ. 1 (α) & (β)).

Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν ήταν πολύ δυσμενείς: έκανε κρύο, χιόνιζε ελαφρά και φυσούσε έντονα.

Η ιδέα κατακόρυφης λήψης από ύψος με ασύρματη μηχανή λήψης μικρών διαστάσεων (εικ. 2), αν και αρχικά φάνηκε ενδιαφέρουσα πρόταση, γιατί θα έδινε εικόνες κεντρικές κατακόρυφες χωρίς παραμόρφωση, απορρίφθηκε, γιατί δεν στάθηκε εύκολο σε προκαταρκτικές δοκιμές να κρατήσουμε τον ελαφρύ και μικρό σε μέγεθος εξοπλισμό αφ' ενός ακίνητο στον αέρα και αφ' ετέρου χωρίς να γίνει αντιληπτός από το πλήθος.

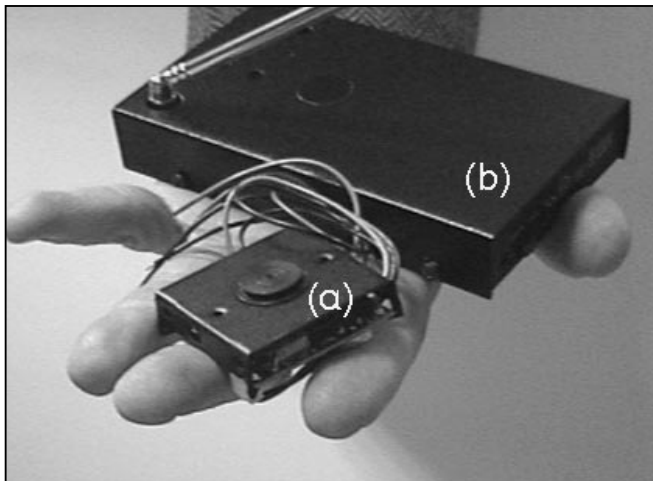
Η καταγραφή έγινε τελικά με ερασιτεχνική μηχανή λήψης εικόνας (μαγνητοσκόπηση). Ως θέση παρατήρησης ορίστηκε το κωδωνοστάσιο της εκκλησίας που παρείχε πανοραμική θέα στο χώρο που εξετάζαμε, χωρίς ο παρατηρητής και ο εξοπλισμός του να γίνονται αντιληπτοί από τα άτομα που παρακολουθούσε.

Χρησιμοποιήθηκε ευρυγώνιος φακός για να καλύψουμε όλη την ανωτέρω περιοχή. Η χρήση του φακού αυτού, ενώ βοηθούσε στη γενική καταγραφή από τα δρώμενα σε χώρο μεγάλης έκτασης, δημιούργησε καμπύλες προοπτικές παραμορφώσεις στην εικόνα. Χρειάστηκε λοιπόν στη συνέχεια οι καταγραφές των εικόνων να αναμορφωθούν αναλογικά σε μορφή κατόψεων υπό κλίμακα (εικ. 3). Ως φυσικός κάναβος για την παρακολούθηση του φαινομένου και την αναμόρφωση της εικόνας χρησιμοποιήθηκε η πλακόστρωση του δαπέδου του χώρου (πλάκες διαστάσεων 0.50X0.50 του μέτρου). Ο κάναβος αυτός έχει αποτυπωθεί στα διαγράμματα των κατόψεων που παρουσιάζουν τα ίχνη της πορείας των πεζών και τις ισόχρονες καμπύλες. Ουσιαστικά ο χώρος, που ενδιέφερε την έρευνα, ήταν περίπου 90 μ² με διαστάσεις (6X15)μ. και αποτυπώθηκε στη συνέχεια, με ακρίβεια, μαζί με τη γύρω περιοχή, με χρήση τοπογραφικού οργάνου.

Η διαδικασία καταγραφής λήψης του αγιασμού είχε διάρκεια 45 min, ενώ το φαινόμενο της ουράς διήρκεσε 30 min. Στο χρόνο των 30 min εξυπηρετήθηκαν 225 περίπου άτομα, τα οποία ανέμεναν σε ουρά για να εξυπηρετηθούν. Στη συνέχεια, μετά την αποσυμφόρηση του χώρου και την εξάλειψη του φαινομένου της ουράς σποραδικά εξυπηρετήθηκαν άλλα περίπου 100 άτομα.

2.3. Η ανάλυση των δεδομένων

Η επιλογή του δείγματος των ατόμων, των οποίων τα χαρακτηριστικά κίνησης μελετήθηκαν, ήταν τυχαίος. Σε



Εικόνα 2: (α) Μηχανή λήψης εικόνας, (β) ασύρματος μεταδότης εικόνας. Το σύστημα λειτουργεί με μικρό συσσωρευτή. Απόσταση ασύρματης μετάδοσης εικόνας περίπου 70μ.

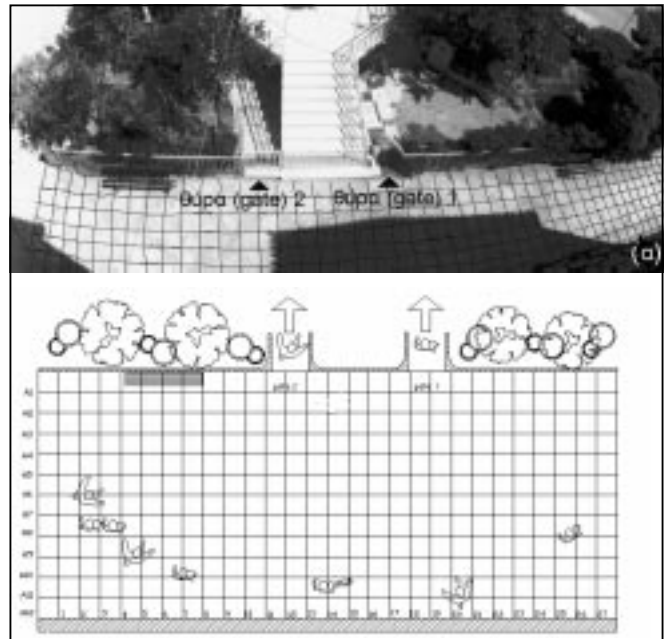
Picture 2: (a) Picture recording device, (b) wireless transmitter of the picture. The system operates with a small accumulator. Transmission distance of the picture 70 m approximately.

δεδομένες στιγμές του χρόνου επιλέγαμε στην τύχη άτομα, τα οποία ευρίσκονταν σε τμήμα περιφέρειας κύκλου κάποιας ακτίνας, προσέχοντας έτσι ώστε αυτή η περιφέρεια να είναι παντού μέσα και κοντά στα όρια της ουράς αναμονής. Δηλαδή κανένα σημείο της περιφέρειας δεν ήταν εκτός της μάζας του πλήθους που περίμενε να εξυπηρετηθεί. Τελικά χρειάστηκε ορισμός δύο τέτοιων τμημάτων περιφερειών (αλληλοτεμνομένων) με αντίστοιχα κέντρα το μέσον της καθεμίας εκ των δύο διόδων, απ' όπου τα άτομα έπρεπε να περάσουν για να εξυπηρετηθούν (εικ. 4). Η καταγραφή περιελάμβανε ουσιαστικά την αποτύπωση της κίνησης του πεζού από την περιφέρεια προς το κέντρο, όπου ήταν ουσιαστικά η είσοδος προς το χώρο λήψης του αγιασμού.

Για τον κάθε πεζό που επιλεγόταν καταγράφαμε το πλήρες ίχνος της πορείας του από την περιφέρεια προς το κέντρο (δηλαδή τη είσοδο) και σημειώναμε τη θέση του κάθε λεπτό της ώρας σε διαφάνειες επάνω στην οθόνη, όπου προβάλλονταν διαδοχικά οι εικόνες. Για την καταγραφή του ίχνους θεωρούσαμε τον πεζό ως σημείο που ταυτιζόταν χοντρικά με το κέντρο βάρους του περιγράμματος της εικόνας του. Μόλις και ο τελευταίος επιλεγμένος πεζός της περιφέρειας που εξετάζαμε περνούσε τη είσοδο, ξεκινούσε νέος κύκλος παρατήρησης, επιλέγοντας καινούργια άτομα σε νέα τμήματα περιφερειών επαναλαμβάνοντας ακριβώς την ίδια διαδικασία.

Από την ανωτέρω καταγραφή μπορούμε να εξάγουμε με σχετική ακρίβεια τα εξής στοιχεία:

- Τη συμπεριφορά του πλήθους.
- Τη μορφή του ίχνους (συντεταγμένες) της πορείας του κάθε πεζού.



Εικόνα 3: Μετατροπή του στρεβλού προοπτικού κανάβου της εικόνας (α) σε ορθοκανονικό (β).

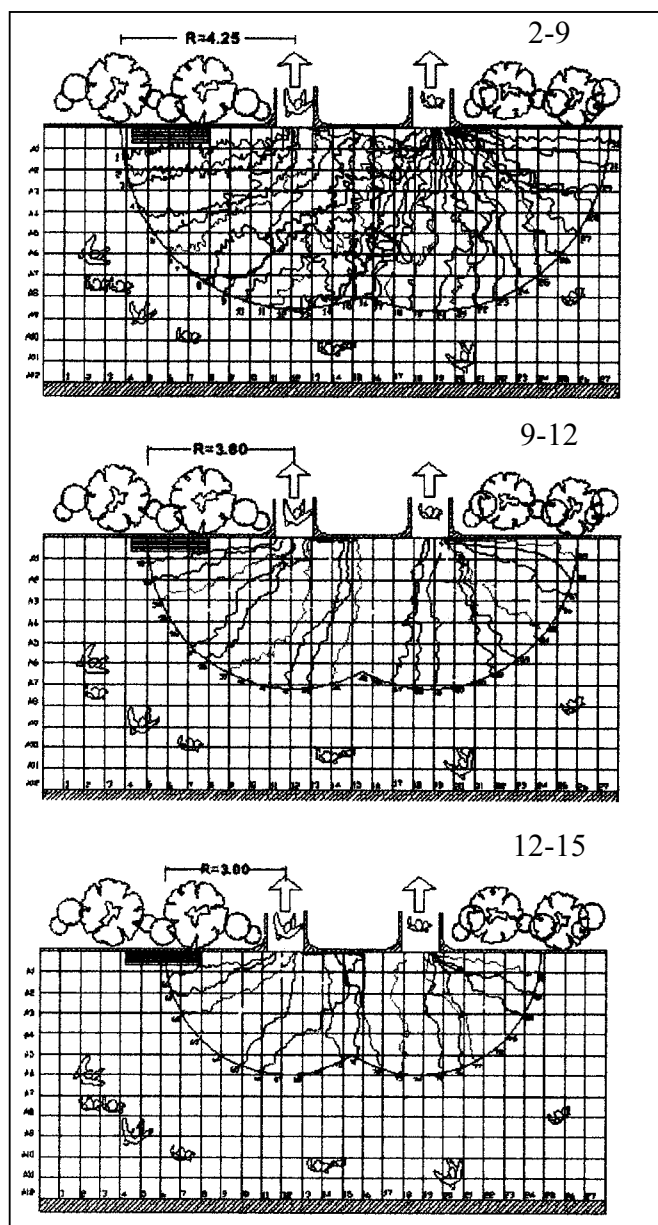
Picture 3: Conversion of the oblique coordinate network (a) of the picture to a rectangular coordinate network (b).

- Την επιμήκυνση της πορείας του κάθε ατόμου (τεθλασμένη πορεία), η οποία προκύπτει από τις πλάγιες ωθήσεις που δέχεται το άτομο από το πλήθος που το περιβάλλει, στην προσπάθειά του να προσεγγίσει τη είσοδο. Η επιμήκυνση της πορείας εκφράζεται σε ποσοστό του ευθυγράμμου τμήματος (ακτίνας) που θα ακολουθούσε ο πεζός από την περιφέρεια προς τη είσοδο, αν δεν υπήρχε το πλήθος των άλλων ατόμων.
- Τον χρόνο που χρειάστηκε για να διανύσει την απόσταση από την περιφέρεια προς τη είσοδο, καθώς και τη θέση του ανά λεπτό της ώρας (βλέπε εικ. 7).
- Την ταχύτητα κίνησης (πραγματική και φαινόμενη) για κάθε άτομο καθώς και τη μέση φαινόμενη ταχύτητα του πλήθους.
- Το επίπεδο εξυπηρέτησης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1. Συμπεριφορά του πλήθους

Λόγω της φύσης της εκδήλωσης, κατά την αναμονή το πλήθος προσπαθούσε να υπομένει τις κακές καιρικές συνθήκες με καρτερία σχεδόν αγόγγυστα. Δεν έλειψαν, όμως, σχετικά χαμηλόφωνα, σχόλια, παρατηρήσεις, νουθεσίες και κριτικές του πλήθους, καθώς και, διακριτικά ή μη, σκουνημάτα και πιέσεις προς τα προπορευόμενα άτομα, πάντοτε με τη δικαιολογία ότι και οι ίδιοι υφίστανται πιέσεις από τους ακολουθούντες. Οι πάσης φύσεως εκδηλώσεις (πιέσεις και κρι-



Εικόνα 4: Ίχνη πορείας πεζών: μαγνητοσκόπηση 2^{ου}-9^{ου} λεπτού, 9^{ου}-12^{ου} λεπτού, 12^{ου}-15^{ου} λεπτού.

Picture 4: Traces of the routing of pedestrians: recordings of 2nd-9th minute, 9th-12th minute, 12th-15th minute.

τικές) γίνονταν πιο έντονες, όσο τα άτομα πλησίαζαν τις διόδους.

Δεν αποφεύχθηκαν και κάποιες διακριτικές μικροπροστριβές. Δυσκολία στην κίνηση δημιούργησαν μερικά άτομα με ανοικτές ομπρέλες, διότι πολλοί συσπειρώνονταν γύρω τους για να επωφεληθούν της προστασίας της ομπρέλας, όπως και άλλοι, οι οποίοι ήταν ενταγμένοι στο πλαίσιο κάποιας παρέας ή συνόδευαν παιδιά, προσπαθούσαν να μην διασπασθούν από τη συνοδεία τους υπό τις πιέσεις του πλήθους.

Είναι χαρακτηριστικό ότι κάποια άτομα δεν ακολούθησαν πορεία που θα τους έφερε στην πλησιέστερη διόδο, αλλά καθ' οδόν επέλεγαν την άλλη διόδο, για την οποία εκτίμησαν ότι παρουσίαζε καλύτερη ροή, έστω και αν ήταν σε μεγαλύτερη απόσταση. Κάποια άλλα άτομα, ενώ περίμεναν για κάποιο χρονικό διάστημα, εγκατέλειψαν την ουρά, βρήκαν καταφύγιο στην εκκλησία και επανήλθαν, όταν αργότερα το πλήθος είχε μειωθεί αισθητά.

3.2. Μορφή του ίχνους της πορείας των πεζών

Η αποκωδικοποίηση των δεδομένων έγινε χειρονακτικά σε διαφάνειες τοποθετημένες επάνω σε μεγάλη οθόνη τηλεόρασης. Εκεί καταγραφόταν η πορεία του πεζού, όπως μεταφερόταν η εικόνα στην οθόνη από το μαγνητοσκόπιο.

Οι διαφάνειες αυτές απεικόνιζαν, επίσης, τον κάναβο και τα σταθερά όρια του χώρου παρατήρησης. Σημειώνεται ότι η φάση αυτή της εργασίας και οι διαδικασίες ήταν εξαιρετικά χρονοβόρες και επίπονες για τα μάτια, γιατί αφ' ενός η εργασία αυτή απαιτούσε μεγάλη ακρίβεια και προσοχή, αφ' ετέρου ο φωτισμός και η σάρωση της οθόνης σε κοντινή απόσταση και επί μακρόν καταπονούσαν την όραση. Η εικόνα που λαμβανόταν μετατρεπόταν στη συνέχεια αναλογικά από καμπύλη προοπτική εικόνα (λόγω του φακού) σε εικόνα κάτοψης με ορθογώνιο κάναβο υπό κλίμακα (εικ. 3). Όπως ήδη αναφέραμε, ο κάναβος αντιπροσωπεύει τις πλάκες πεζοδρομίου του δαπέδου του χώρου όπου έγινε η έρευνα.

Είναι χαρακτηριστική η τεθλασμένη κίνηση του κάθε ατόμου (εικ. 4). Όσο μεγαλύτερες αποκλίσεις από την ευθεία έχουμε, τόσο πιο μεγάλες είναι οι πιέσεις (αντίσταση) που δέχεται το άτομο στην προσπάθεια κίνησής του προς την κατεύθυνση της εισόδου. Παρατηρήθηκαν ακόμα και περιπτώσεις άπωσης και στάσης ή και μικρής οπισθοχώρησης.

3.2.1. Επιμήκυνση της διαδρομής

Σε περίπτωση που κανένα εμπόδιο δεν θα παρεμβαλλόταν στην πορεία του πεζού που θα μετατοπιζόταν από το τέλος της ουράς μέχρι τη διόδο, η διαδρομή αυτή λογικά θα ήταν ευθεία γραμμή (η μικρότερη δυνατή απόσταση) και θα ήταν ίση με την ακτίνα της περιφέρειας που οριοθετεί χοντρικά τα όρια της ουράς με κέντρο, δηλαδή, τη διόδο.

Το ποσοστό επιμήκυνσης της πορείας του κάθε πεζού (τεθλασμένη γραμμή) εκφράζει κατά κάποιο τρόπο ένα μέτρο της προβαλλόμενης αντίστασης του περιβάλλοντος της ουράς στην προσπάθεια του ατόμου να προσεγγίσει τη διόδο. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό της επιμήκυνσης, τόσο μεγαλύτερες φαίνεται να είναι οι δυνάμεις αντίστασης, τόσο μεγαλύτεροι οι κλυδωνισμοί και οι πλάγιες ωθήσεις που δέχεται ο πεζός από το σύνολο της μάζας των ατόμων της ουράς.

Από την ανάλυση τυχαίου δείγματος 82 διαδρομών πεζών (σε σύνολο 225 πεζών σε αναμονή) διαπιστώσαμε ότι

η διαδρομή του πεζού προς την «πύλη-στόχο» εντός των ορίων της ουράς αναμονής αυξάνει σημαντικά και σε κακές καιρικές συνθήκες η αύξηση αυτή ξεκινά από 127% και φθάνει έως και 367%. (εικ. 5).

Η ανάλυση του δείγματος ξεκίνησε από το 2^ο λεπτό, γιατί στην αρχή, με την αποχώρηση των ιερέων μετά την τελετή διά μέσου της μάζας των πιστών που ανέμεναν στην ουρά, δημιουργήθηκε σύγχυση και ανατάραξη στην επικρατούσα διάταξη, η οποία επανήλθε στα πρότερα σε ελάχιστο χρόνο.

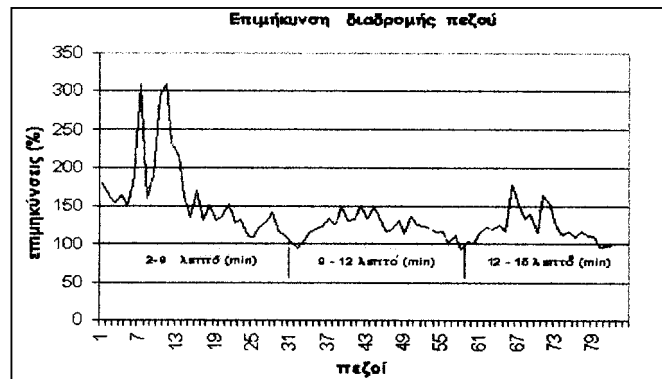
Η ανάλυση έγινε σε τρεις φάσεις (εικ. 4):

- Η πρώτη φάση ξεκίνησε από το 2^ο λεπτό της ώρας και είχε διάρκεια μέχρι το τέλος του 8^{ου} λεπτού. Στη φάση αυτή η ουρά είχε μια περιβάλλουσα ακτίνα κατά μέσο όρο 4,25 m και 31 άτομα, που ξεκίνησαν από την περιφέρεια, διήλθαν από τις δύο θύρες του κιγκλιδώματος.
- Η δεύτερη φάση ξεκίνησε από το 9^ο λεπτό της ώρας και είχε διάρκεια μέχρι το τέλος του 11^{ου} λεπτού. Στη φάση αυτή η ουρά είχε μια περιβάλλουσα ακτίνα κατά μέσο όρο 3,60 m και 28 άτομα, που ξεκίνησαν από την περιφέρεια, διήλθαν από τις δύο θύρες του κιγκλιδώματος.
- Η τρίτη φάση ξεκίνησε από το 12^ο λεπτό της ώρας και είχε διάρκεια μέχρι το τέλος του 14^{ου} λεπτού. Στη φάση αυτή η ουρά είχε μια περιβάλλουσα ακτίνα κατά μέσο όρο 3,00 m και 23 άτομα, που ξεκίνησαν από την περιφέρεια, διήλθαν από τις δύο θύρες του κιγκλιδώματος.

Μετά το 15^ο λεπτό η ουρά διατηρήθηκε για περίπου 15 λεπτά ακόμα με πολύ μικρότερες περιβάλλουσες ακτίνες και δεν κρίθηκε σκόπιμη περαιτέρω πρόσθετη ανάλυση.

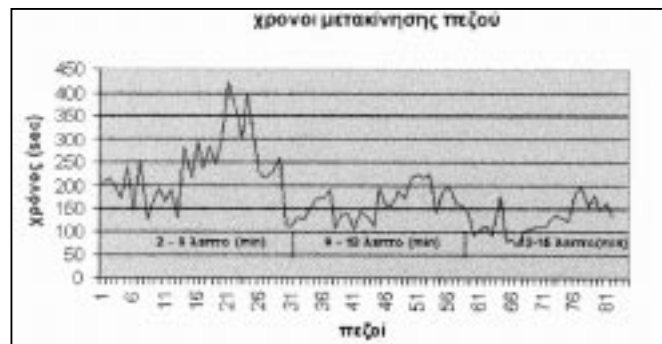
3.2.2. Χρόνος διαδρομής

Ως χρόνος διαδρομής θεωρείται ο χρόνος, τον οποίο χρειάστηκε ο πεζός για να φθάσει από την περιφέρεια στη δίοδο. Ο χρόνος αυτός είναι διαφορετικός για κάθε πεζό, διότι είναι συνάρτηση της απόστασης, την οποία διάνυσε, λόγω των τριβών και των καθυστερήσεων που δημιουργήθηκαν στη μάζα της ουράς αναμονής. Για κάθε πεζό ο χρόνος αυτός καταγράφηκε σε πίνακα. Μια χαρακτηριστική δυναμική εικόνα της κατάστασης μετακίνησης δίνεται στο διάγραμμα (εικ. 7) όπου εμφανίζονται, ανά πρώτο λεπτό της ώρας, σε ισόχρονες καμπύλες οι θέσεις ομάδας πεζών που ξεκίνησαν ταυτόχρονα από την περιφέρεια προς τη δίοδο. Οι καμπύλες αυτές δεν είναι τμήματα περιφερειών, όπως η αρχική (χρονική στιγμή μηδέν), αλλά διατηρούν κάποια σχετική αναλογία μορφής. Η θέση εκκίνησης του κάθε πεζού στην περιφέρεια φαίνεται κάπως να επηρεάζει τη μετέπειτα μετακίνησή του. Διακρίνονται κάποιες θέσεις όπου οι ασκούμενες πιέσεις φαίνεται να είναι εντονότερες, με αποτέλεσμα μέσα στη μάζα να δημιουργούνται ρεύματα ταχύτερης μετακίνησης. Παρατηρούνται, επίσης, τοπικές επικαλύψεις καμπυλών που



Εικόνα 5: Επιμήκυνση της διαδρομής των ατόμων στο πλαίσιο της ουράς αναμονής. Παρατηρείται γενικά σημαντική αύξηση του διανυόμενου δρόμου.

Picture 5: Elongation of the routing of individuals in the frame of the waiting queue. In general a significant increase of the route covered may be observed.

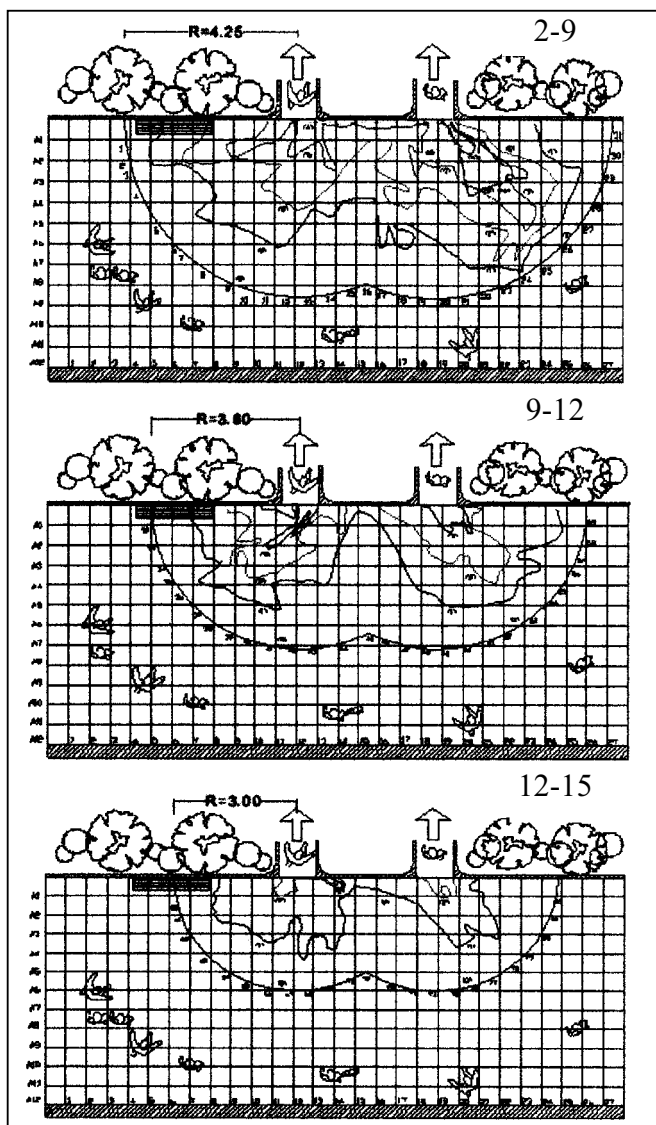


Εικόνα 6: Χρόνοι μετακίνησης των πεζών στην ουρά αναμονής.

Picture 6: Time interval of pedestrian displacement in the waiting queue.

σημαίνει ότι άτομα που ακολουθούσαν βρέθηκαν να προηγούνται. Οι επικαλύψεις αυτές εντοπίζονται κυρίως κοντά στις διόδους όπου και οι πλάγιες πιέσεις αυξάνονται, καθώς και η πυκνότητα των πεζών ανά τετραγωνικό μέτρο είναι οριακή. Παρατηρούμε ότι με την παρέλευση του χρόνου κάποια μορφή τάξης δημιουργείται εκ των πραγμάτων, την οποία αποδέχονται τα μέλη της ουράς αναμονής. Διαπιστώνουμε ότι στο τρίτο διάγραμμα (12^ο-15^ο λεπτό καταγραφής) οι ισόχρονες ομαλοποιούνται κάπως και διακρίνονται αλληλων, χωρίς η μία να εμπλέκεται με άλλη.

Εκτιμάται, επίσης, ότι η γεωμετρία του χώρου (διάταξη και γεωμετρία του χώρου αναμονής, θέση εκκίνησης πεζών, θέση και αριθμός διόδων, η μορφή της ουράς αναμονής) πρέπει να παίζει ρόλο στα χαρακτηριστικά της μετακίνησης, χωρίς όμως αυτό να μπορεί να αποδειχτεί πλήρως με τα υπάρχοντα δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι πεζοί, που ξεκίνησαν από την περιφέρεια από θέση συμμετρική ως προς τις δύο διόδους, εξυπηρετήθηκαν αισθητά ταχύτερα από άλλους. Από τις τρεις αυτές ταχύτερες μεγα-



Εικόνα 7: Ισόχρονες καμπύλες εκκένωσης χώρου. Μαγνητοσκόπηση 2^{ου}-9^{ου}, 9^{ου}-12^{ου}, 12^{ου}-15^{ου} λεπτού.

Picture 7: Isochronal curves of area evacuation: recordings of 2th-9th minute, 9th-12th minute, 12th-15th minute.

λύτερη αξία έχει η τρίτη, γιατί αντιπροσωπεύει ουσιαστικά την ταχύτητα ενός “καμπύλου μετώπου” πεζών από την εκκίνησή του από την περιφέρεια μέχρι να διέλθει τη δίοδο (εικ. 8).

3.2.3. Ταχύτητα μετακίνησης

Εδώ διακρίνουμε ουσιαστικά τρεις ταχύτητες:

- Την πραγματική ταχύτητα, η οποία προκύπτει ως το αποτέλεσμα της διαίρεσης της τεθλασμένης πορείας (πλήρες μήκος), που ουσιαστικά διάνυσε ο κάθε πεζός του δείγματος από την περιφέρεια μέχρι τη δίοδο, με τον αντίστοιχο χρόνο που χρειάστηκε για τη μετακίνησή του αυτή.

- Τη φαινόμενη ταχύτητα, η οποία προκύπτει ως το αποτέλεσμα της διαίρεσης της ευθείας απόστασης, μεταξύ περιφερείας και δίοδου (ακτίνας), με τον αντίστοιχο χρόνο που χρειάστηκε για τη μετακίνησή του αυτή ο κάθε πεζός του δείγματος.
- Τη μέση ταχύτητα, η οποία προκύπτει ως ο μέσος όρος της φαινόμενης ταχύτητας του δείγματος των πεζών που συμμετέχουν στην ουρά αναμονής.

3.2.4. Πυκνότητα πεζών και στάθμες εξυπηρέτησης

Οι πολύ κακές καιρικές συνθήκες, το κρύο αλλά και η αραιή χιονόπτωση, τα βρεγμένα ρούχα, η χρήση, από αρκετά άτομα, ομπρέλας (που στάζει στην περίμετρό της και απομακρύνει τα άτομα, ενώ τα ωθεί να συμπιεστούν ανά δύο ή τρία στο κέντρο της) φαίνεται να ήταν βασικές αιτίες, ώστε να παρατηρηθεί αρχικά πυκνότητα 3 ατόμων/μ² (στάθμη εξυπηρέτησης D). Πολύ σύντομα η πυκνότητα αυτή έπεσε σε 1,5 άτομα/μ² (στάθμη εξυπηρέτησης C), για να καταλήξει λίγο πριν τη διάλυση της ουράς αναμονής σε 0,75 άτομα/μ² (στάθμη εξυπηρέτησης A).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1. Ως προς τη μεθοδολογία και την οργάνωση της έρευνας

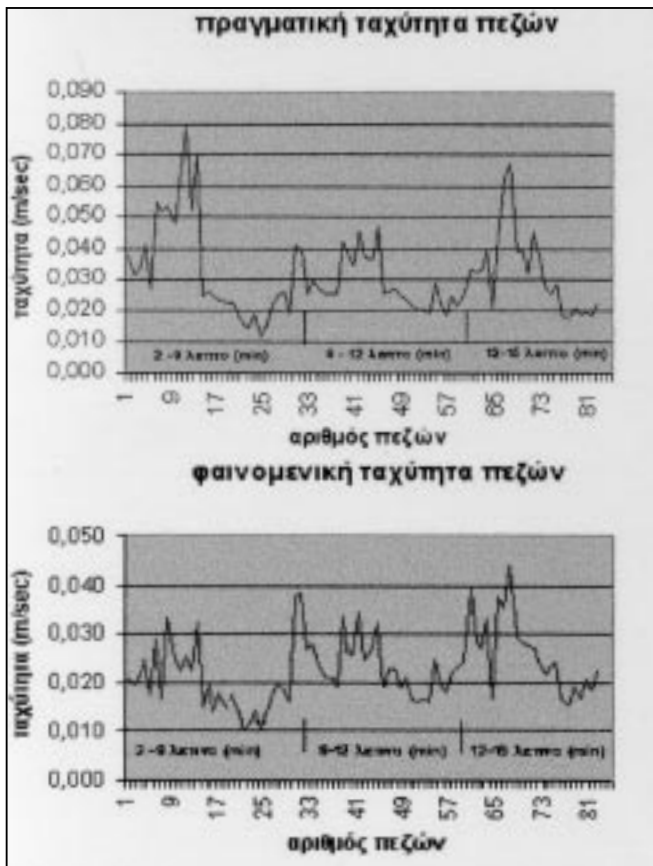
Η μεθοδολογία, που ακολουθήθηκε και στηρίχθηκε στην ανάλυση μεγάλου πλήθους φωτογραφιών ενός γεγονότος, μας οδήγησε ασφαλώς στη δυνατότητα ανάλυσης του φαινομένου της ουράς αναμονής και την εξαγωγή συμπερασμάτων, και ως εκ τούτου μπορεί να θεωρηθεί επιτυχής.

Η χειροκίνητη, όμως, διαδικασία καταγραφής, επί διαφανειών, των ιχνών πορείας των πεζών από την οθόνη οπτικής απεικόνισής της και η μετατροπή των δεδομένων της έρευνας σε εικόνα από στρεβλό σε ορθοκανονικό κάναβο υπήρξαν εξαιρετικά επίπονες και χρονοβόρες. Έδωσε, όμως, τα πρώτα ερεθίσματα για μια μελλοντική αυτοματοποίηση των διαδικασιών μέσω H/Y.

4.2. Ως προς την ίδια την έρευνα

ι) Διαπιστώνεται ότι σε ένα αρχικά άναρχο και άμορφο, ως προς το σχήμα, σύστημα ουράς αναμονής γρήγορα υιοθετούνται εξ ανάγκης ακούσια κάποιοι κανόνες συμπεριφοράς κυκλοφορίας, ακόμα και όταν οι καιρικές συνθήκες είναι κακές και ο καθένας επιδιώκει να εξυπηρετηθεί γρήγορα. (Δεν υπήρξε φυσικά στην περίπτωση μας καμία κατάσταση πανικού ή υστερίας του πλήθους).

Έτσι ενώ στην αρχή, στο πρώτο δείγμα του 2^{ου}-9^{ου} λεπτού (πεζοί 1-31), παρατηρούμε μεγάλες επιμηκύνσεις της διαδρομής, μεγάλους χρόνους αναμονής και χαμηλή στάθμη εξυπηρέτησης (D), η κατάσταση στα επόμενα λεπτά της ώρας (δείγματα: 9^{ου}-12^{ου} και 12^{ου}-15^{ου} λεπτού) βαίνει βελ-



Εικόνα 8: Ταχύτητες πεζών: πραγματική και φαινόμενη ταχύτητα.
Picture 8: Pedestrian's velocities: actual and apparent velocity.

τιούμενη: μικραίνουν οι επιμηκύνσεις, μειώνονται οι χρόνοι αναμονής και βελτιώνεται προοδευτικά η στάθμη εξυπηρέτησης από C σε A.

ii) Επιβεβαιώνεται για μια ακόμη φορά ότι στην πεζή μετακίνησή του ο πεζός είναι απρόβλεπτος. Αποφασίζει κάθε στιγμή την κατεύθυνσή του ανάλογα με τα ερεθίσματα και την κρίση της στιγμής. Έτσι αποφασίζει αίφνης να διασχίσει μεγαλύτερη απόσταση, διαγώνια προς τη μάζα των ατόμων που είναι στην ουρά (π.χ. πεζός 9, δείγμα 2^{ου}-9^{ου} λεπτού) ή και περιμετρικά ακόμα της ουράς, ώστε να βρει το συντομότερο, από άποψη χρόνου (κατά την εκτίμηση της στιγμής), δρομολόγιο.

iii) Γενικά η διαδρομή, την οποία διανύει ο πεζός, είναι πάντα μεγαλύτερη αυτής που λογικά θα διάνυε, αν ο χώρος μπροστά του ήταν ελεύθερος. Η επιμήκυνση αυτή παρατηρείται να κυμαίνεται από 127% έως 367% της ευθείας διαδρομής προς την πλησιέστερη δίοδο.

iv) Το ποσοστό επιμήκυνσης της πορείας του κάθε πεζού (τεθλασμένη γραμμή) μπορεί να εκφράσει, κατά κάποιο τρόπο, ένα μέτρο της προβαλλόμενης «αντίστασης» του περιβάλλοντος της ουράς στην προσπάθεια του ατόμου να προσεγγίσει τη δίοδο.

Η «αντίσταση» αυτή προς την πορεία, με κατεύθυνση προς τις πύλες-στόχο, διακρίνεται πολύ έντονη στα πρώτα λεπτά και μειώνεται προοδευτικά, όσο περνά η ώρα, όταν ακούσια κάποιοι κανόνες συμπεριφοράς αναμονής δημιουργούνται και επιβάλλονται στο πλήθος.

v) Η θέση του πεζού στην ουρά κατά τη στιγμή της εκκίνησής του φαίνεται να επηρεάζει καταλυτικά την εξέλιξη της πορείας του. Και στα τρία δείγματα τα άτομα, που ήταν δίπλα στο κιγκλίδωμα (π.χ. τα άτομα με αριθμό 1 έως 5, 28 έως 32, 54 έως 62, 78 έως 82), διάνυσαν την απόσταση με μικρού μήκους, ομαλές σχετικά διαδρομές και σε μικρούς γενικά χρόνους. Το γεγονός δηλαδή ότι μερικά άτομα, που από τη μία πλευρά είχαν ένα σταθερό όριο (το κιγκλίδωμα του φράχτη του κήπου) και αντιμετώπιζαν μονόπλευρα μόνο «τριβές» από τα άλλα άτομα της ουράς, τα οδηγούσε ομαλότερα και ταχύτερα προς την πρόσβαση-στόχο που είχαν επιλέξει. Αυτό το συμπέρασμα είναι εμφανές σε όλα τα διαγράμματα που παρατίθενται, όπου φαίνεται ότι άτομα κινούμενα «από τα πλάγια» ή από το κέντρο έφταναν γρηγορότερα στον προορισμό τους.

Ανάλογη ήταν και η εξέλιξη της πορείας των ατόμων που ήταν σε αρχική θέση εκκίνησης ανάμεσα στις δύο πύλες-στόχο. Αυτοί εξυπηρετούντο γρηγορότερα από τους υπολοίπους, γιατί είχαν δύο δυνατότητες επιλογής.

vi) Τα διαγράμματα των ισοχρόνων αποδεικνύονται εικόνες από τις πλέον παραστατικές για την περιγραφή του φαινομένου εκκένωσης ενός χώρου και προτείνεται σε κάθε σχετική έρευνα να παράγονται και να παρατίθενται ως τα χαρακτηριστικά «διαγράμματα εξέλιξης εκκένωσης χώρου αναμονής ατόμων».

vii) Από τα διαγράμματα των ταχυτήτων προτείνεται να μνημονεύεται μόνο η φαινόμενη ταχύτητα (και όχι η πραγματική ταχύτητα), γιατί αυτή εκτιμούμε ότι αποδίδει γλαφυρότερα το φαινόμενο της μετακίνησης των πεζών.

5. ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Abdelaziz Manar, Karsten Baass, "Les capteurs video du trafic; les principales réalisations", *Routes et transports*, vol. 20, no 2 (1990), pp. 12-24.
2. Acosta Ad., Figueroa Lud, Mullen Rob., "Low-cost video image processing system for evaluation pavement surface distress", *Transportation research record*, No 1348 (1992), pp. 63-72.
3. Acosta Ad., Figueroa Lud, Mullen Rob., "Algorithms for pavement distress classification by video image analysis", *Transportation research record*, No 1505 (July 1995), pp. 27-38.
4. Διονυσόπουλος Ν., "Κίνηση πεζών στο κέντρο της Αθήνας - Μελέτη συμπεριφοράς με χρήση μαγνητοσκόπησης", διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Αθήνα, 1986.
5. Mensebach W., "Κυκλοφοριακή Τεχνική", Μ. Γκιούρδας, Αθήνα 1979.
6. Ρέντζος Κ., "Συμβολή στη βελτίωση των συνθηκών αναμονής σε χώρους θρησκευτικών εκδηλώσεων", διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Μάθημα Αρχιτεκτονικής - Κτιριολογίας, Τομέας Συνθέσεων Τεχνολογικής Αιχμής, Αθήνα, 1986.

7. Τζουβαδάκης Ι., “**Μεταφορές με ανθρώπινη ενέργεια, πεζόδρομοι-ποδηλατόδρομοι**”, Σεμινάριο 6 Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις στους Δήμους, 15-19 Μαΐου 1995, Ε.Μ.Π., 5^ο Πρόγραμμα Συνεχιζόμενης Εκπαίδευσης, 8 Μαΐου-27 Ιουνίου 1995, Αθήνα, 1995.

8. Τσαμπούλας Δ., “**Διαχείριση συστημάτων μεταφορών (λεωφορεία, πεζοί, ποδήλατα)**”, Σημειώσεις, Αθήνα, 1990, σελ. 103-105.

9. Φραντζεσκάκης Ι.Μ. - Γιαννόπουλος Γ.Α., “**Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Ροή**”, Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη, 1986.

10. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., “**Συστήματα ελέγχου οδικών δικτύων**”, Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα, 1984.

Ι. Τζουβαδάκης,

Επίκουρος καθηγητής Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, οδός Ικονίου 77, 171 23 Ν. Σμύρνη, Αθήνα.

Κ. Ρέντζος,

Πολιτικός μηχανικός Ε.Μ.Π., οδός Κανάρη 2, 155 62 Χολαργός, Αθήνα.

Extended summary

Displacements of Pedestrians within a Randomly Arranged Waiting Queue in the Frames of an Area Evacuation

I. TZOUVADAKIS

Assistant Professor N.T.U.A.

K. RENTZOS

Civil Engineer

Abstract

The purpose of this paper is to study the behavior and the displacement of pedestrians within a randomly arranged waiting queue. Its purpose is to deduce useful conclusions for the rational design in urban areas of substructure projects (walkways, bridges for pedestrians etc.), or in waiting and circulation areas of people in building projects (station platforms, access and emergency exits in areas of assembly, indoor and outdoor, such as churches, athletic installations, show areas etc.) The research includes the analysis of the characteristic parameters of motion of pedestrians inside a randomly arranged waiting queue in a very importante religious ceremony, during the reception of the holy water in the celebration of the blessing of the water in the church of Aghia Paraskevi, in the municipality of Nea Smyrni in Athens.

1. INTRODUCTION

Previous research into the urban displacements of pedestrians had as main purpose the analysis of the parameters of motion of the pedestrian, considering them mainly not as individuals, but as a group which, without aiming at a particular target, moves together in the frame of a randomly arranged group which is created by traffic lights or other urban traffic factors. The parameters to be examined are the velocity, the density, the flow and the area occupied by the group of pedestrians under displacement. Also, the phenomenon of the waiting queue has been thoroughly studied initially for vehicles and afterwards, by extension, for groups of pedestrians.

This research was carried out in order to complete the existing literature, because it examines and analyses the characteristics of the geometry of the trace of the pedestrians displacement inside a randomly arranged waiting queue.

It was decided to record a group of persons in a religious ceremony. This decision was taken having in mind that it

provided a group of persons with:

- Common displacement purpose.
- Relatively calm in their behavior.
- A satisfactory number of pedestrians for examination.
- Fixed entrance' gates.
- In addition the floor of the area around the church was paved with cement plates of certain dimensions, facilitating the experiment and creating a natural coordinate network.

2. THE ORGANIZATION OF THE EXPERIMENT

2.1. The recording

The recording of the phenomenon was carried out on 6th January 1993, the hours before midday, in the church of Aghia Paraskevi in the municipality of Nea Smyrni in Athens. It was recorded the holy water reception by the people who were assembled in large numbers and were waiting in a randomly arranged queue outside the church along the balustrade of the contour, after the celebration of the blessing of the water. In order that someone take the holy water he had to pass through one of the two small doors in the balustrade (picture 1 (a) & (b)).

The weather conditions were very bad: it was very cold, a small quantity of snow was falling and there was a strong wind.

The recording was carried out by an amateur camera (video-recording). Regarding the place of observation the bell tower of the church was selected, because it provided a panoramic view of the area under examination, without the persons under examination seeing the observer and the equipment used by him.

A super wide angle lens was used in order to cover the overall area. The use of this lens, while helpful for the general recording and the actions carried out in a wide area, it was created curved perspective deformations in the picture. Therefore, afterwards the pictures recorded needed to be readjusted in plan views under a scale (picture 3). As a natural coordinate network the paving of the floor of the area was used (plates of dimensions 0,50 m x 0,50 m). This coordinate network has been recorded in the diagrams of the plan views, which present the trace of the motion of the pedestrians and the isochronal curves. In fact, the area of interest of the research was 90 m², with dimensions 6 m x 15 m and was recorded afterwards accurately with the overall area by use of a Surveyor instrument.

The procedure of the recording of the reception of the holy water had a duration of 45 min., while the phenomenon of the queue had a duration of 30 min. Within this interval of 30 min. Approximately 225 persons waiting in the queue were served. Afterwards, after the decongestion of the area and the elimination of the phenomenon of the queue another 100 persons, approximately, were served randomly.

2.2. Data analysis

The selection of the sample of persons, the characteristics of the displacement which was studied, was random. At certain moments we selected at random persons, who were in a portion of a circle circumference of a certain radius, taking care that this circumference also included the border of the waiting queue. I.e. no point of the circumference was outside the mass of the people waiting to be served. Finally it was necessary to define two such portions of circumference, cutting each other, with corresponding centers at the middle point of each one of the access ways, through which the persons had to pass in order to be served (picture 4). The recording included effectively the recording of the displacement of the pedestrian from the circumference to the center, which was effectively the access way to the area of the reception of the holy water.

For each pedestrian selected we recorded the complete trace of his routing, from the circumference to the center (i.e. to the access way) and we noted his position every minute on transparencies on the screen, where the pictures were projected consecutively. For the recording of the trace we considered the pedestrian as a point coarsely identified with the center of gravity of the contour of his picture. As soon as the last selected pedestrian of the circumference under examination passed through the entrance way, a new observation cycle was started, by selecting new persons in new portions of circumferences repeating exactly the same procedure.

3. CONCLUSIONS OF THE RESEARCH.

3.1. Regarding the methodology and the organization of the research

The methodology followed, and on which was based the analysis of lounge number of pictures of an event, led certainly to the possibility of analysis of the phenomenon of the waiting queue and the determination of results and therefore can be considered as successful. But the procedure of the manual recording on transparencies of the traces of the pedestrian routing from the visual representation screen and the conversion of the data of the research from a picture in a curved coordinate network to a picture in a rectangular coordinate network was extremely time consuming. Nevertheless, it has given the first stimulation for a future treatment of the procedures through a computer.

3.2. Regarding the research itself

i) It is observed that in an initially orderless and shapeless system of a waiting queue some traffic behavior rule are created very quick due to the existing needs; unintentionally, even if the weather conditions are bad and each one attempts to be served quickly (of course, in our case there was no panic situation or hysteria of the mass).

In this way, at the beginning in the first sample of the 2th-9th minute (number of pedestrians 1-31), we observe big elongation of the routing, long waiting time and low service level (D), the elongation in the next minutes (samples: 9th-12th minute and 12th-15th) starts to improve: the elongation became smaller, the waiting time is reduced and the service level improves progressively from C to A.

ii) It is confirmed again that we cannot predict the pedestrian's displacement. He decides his direction according to the judgment of the moment. In this way he decides suddenly to cover bigger distance, in the direction of the diagonal in relation to the mass of individuals which are in the queue (for example pedestrian No 9, sample of 2th-9th minute) or even along the perimeter of the queue, in order to find the shortest routing (according to the estimation of the moment).

iii) In general the routing covered by the pedestrian is always bigger than that which he would cover if the area in front of him was free. The elongation varies from 127% up to 367% of the straight routing towards the nearest entrance door.

iv) The percentage of elongation of the routing of each pedestrian (crooked line) may express in some way a measure of "the resistance" of the other individuals of the queue to the attempt of the individual to approach the entrance door.

This "resistance" against walking towards the entrance doors is bigger during the first few minutes and afterwards it

reduces progressively as time passes and when some rules of behavior of waiting are created involuntarily.

v) The position of the pedestrian in the queue during the time of starting seems to influence the development of his routing. In the three samples, the individuals which were near the balustrade (for example the individuals with numbers 1 to 5, 28 to 32, 54 to 62, 78 to 82) had covered the distance with small, relatively regular routing and in general in a small time interval. This fact i.e. that some individuals which from one side had a steady limit (the balustrade of the fence of the garden) and had been subject only to “friction” from the other individuals of the queue guided them regularly and faster to the entrance door target which was chosen by them. This conclusion is evident in all diagrams here attached.

Similar was the development of individuals who were at initial starting position between and symmetrically in relation to both entrance doors targets. These were serviced faster

because the mass in front of them was separated and it was possible to be served from either entrance doors.

vi) The isochronal diagrams prove the existence of pictures of description of the phenomenon and it is proposed that they be used as characteristic “diagrams of development of the evacuation of the waiting area”.

vii) From the diagrams of velocity it is important to note only the apparent velocity (and not the actual velocity), because this seems to represent better the routing of each pedestrian. Also the average velocity of groups of pedestrian is important, either between samples, or between groups of individuals of the same sample.

Also in the case of the velocity we can see that individuals moving from “the side” or from the center (case of two doors) are moved faster towards their final target.

J. Tzouvadakis,

Assistant professor, National Technical University of Athens, Faculty of Civil Engineering, Department of Transportation Planning and Engineering, 77 Ikoniou str., 171 23 N. Smyrni, Athens.

K. Rentzos,

Civil engineer, 2 Kanari str., 155 62 Xolargos, Athens.