

Άρθρο

Πρόβλεψη κυκλοφοριακής συμφόρησης και αντιμετώπισή της με έξυπνα φανάρια και υπόγεια οδικά δίκτυα χρησιμοποιώντας τεχνολογίες IoT και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης

Δενεσίδης Γεώργιος (1), Δίσκος Γεώργιος (2), Ευθυμίου Βασίλειος (3)

(1). Φοιτητής Πανεπιστημίου Μακεδονίας, τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, κατεύθυνση: Πληροφοριακά Συστήματα, δεύτερο έτος, τέταρτο εξάμηνο σπουδών. Αριθμός Μητρώου: iis21096,

email: iis21096@uom.edu.gr

(2). Φοιτητής Πανεπιστημίου Μακεδονίας, τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, κατεύθυνση: Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών, δεύτερο έτος, τέταρτο εξάμηνο σπουδών. Αριθμός Μητρώου: ics20159,

email: ics20159@uom.edu.gr

(3). Φοιτητής Πανεπιστημίου Μακεδονίας, τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, κατεύθυνση: Επιστήμη και Τεχνολογία Υπολογιστών, δεύτερο έτος, τέταρτο εξάμηνο σπουδών. Αριθμός Μητρώου: ics21035

email: ics21035@uom.edu.gr

Περίληψη: Είναι γεγονός πως τις τελευταίες δεκαετίες η παγκόσμια κοινότητα αντιμετωπίζει το φαινόμενο του υπερπληθυσμού που εμμέσως οδηγεί στην αύξηση παραγωγής και χρήσης οχημάτων. Πολλά προβλήματα προκύπτουν από αυτή την εξέλιξη με κυριότερο από αυτά την κυκλοφοριακή συμφόρηση που έχει σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο, τόσο στον άνθρωπο (ψυχική και οικονομική επιβάρυνση, τραυματισμοί, θανάσιμες απώλειες), όσο και στο περιβάλλον (αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, κατανάλωση καυσίμων). Ο βαθμός χρήσης νευρωνικών δικτύων (ΝΔ) και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (ΜΜ) για την επίλυση μικρής και μεγάλης κλίμακας παγκόσμιων προβλημάτων αυξάνεται συνεχώς χάρη στη δυνατότητά τους να αλληλεπιδρούν με δυναμικές συμπεριφορές και να δέχονται μεγάλο αριθμό παραμέτρων και δεδομένων. Σε αυτό το άρθρο, η μηχανική μάθηση, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και η τεχνολογία Big Data σε συνδυασμό με σένσορες, κάμερες, google maps, τεχνολογίες IoT την V2X επικοινωνία καθώς και τα υπόγεια οδικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την κυκλοφοριακή ροή, να μειώσουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση και να διευκολύνουν την διέλευση οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Συνεπώς αυτή η μελέτη εστιάζει στην παραγωγή αλγορίθμων και επεξεργασία χρήσιμων δεδομένων για την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής

συμφόρησης σε μεγάλες πόλεις και οδικά δίκτυα ενώ παράλληλα αναλύει τις επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Λέξεις κλειδιά: έξυπνο σύστημα μεταφοράς, έξυπνη πόλη(smart city), πρόβλεψη κυκλοφοριακής ροής, φανάρια, μηχανική μάθηση, τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, τεχνητή νοημοσύνη, αναδρομικοί αλγόριθμοι, IoT, σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας, κυκλοφοριακή συμφόρηση, διαχείριση οδικών σημάτων, επιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, οχήματα έκτακτης ανάγκης, hyperloop

1. Εισαγωγή

Μία πόλη είναι ένα πολύπλοκο σύστημα το οποίο αποτελείται από πολλά αυτοεξαρτώμενα υποσυστήματα με αυτό της κυκλοφορίας να κατέχει σημαντικό ρόλο. Μελέτες αναφέρουν ότι είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της παγκόσμιας οικονομίας. Επιπλέον, έχει ανακηρυχθεί ως μία από τις μεγαλύτερες διαστάσεις της έξυπνης πόλης(smart city). Στη σύγχρονη εποχή, ο συνεχώς επιταχυνόμενος ρυθμός αύξησης του πληθυσμού και κατά συνέπεια του αριθμού οχημάτων στις πόλεις σε συνδυασμό με τους τεχνολογικούς περιορισμούς των σημάτων κυκλοφορίας έκαναν την κυκλοφοριακή συμφόρηση ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της καθημερινής ζωής. Αυτό το πρόβλημα έχει αρνητικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς με σημαντικότερους από αυτούς το περιβάλλον, την υγεία και την οικονομία.

Επομένως, είναι φανερή η ανάγκη για τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Σε μεγάλο αριθμό χωρών, η κυκλοφοριακή συμφόρηση αντιμετωπίζεται με τη χρήση προκαθορισμένων χρονοδιαγραμμάτων λειτουργίας των φαναριών ενώ σε μεγάλες πόλεις κάποιων αναπτυσσόμενων χωρών, η κίνηση διαχειρίζεται μέσω κεντρικά ελεγχόμενων συστημάτων.

Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία Internet of Things(IoT) έχει “εισαχθεί” στον τομέα των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας, τα συστήματα που χρησιμοποιούνται τώρα είναι κεντριοποιημένα και δεν αξιοποιούν αυτήν την τεχνολογία. Έτσι το σύστημα που προτείνεται διαχειρίζεται την κυκλοφορία σε τοπικούς και κεντρικούς διακομιστές(servers) εκμεταλλευόμενο την τεχνολογία Internet of Things(IoT) και τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης.

Σε αυτό το στάδιο προστίθεται και η ιδέα του “Έξυπνου Συστήματος Μεταφοράς”(Intelligent Transportation system, ή αλλιώς ITS/ΕΣΜ), ως ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την υποδομή των πόλεων. Χρησιμοποιώντας την πληροφορία που παράγεται από την τεχνολογία επικοινωνίας και των big data(μεγάλα δεδομένα) το ΕΣΜ μπορεί να παρέχει συνεχή ανάλυση των οδικών υποδομών και πιο αποδοτική διαχείριση της κυκλοφορίας. Αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης(deep learning) χρησιμοποιούν αρχιτεκτονικές πολλών επιπέδων ή “βαθιές” αρχιτεκτονικές(deep architectures) για να εξάγουν κληρονομούντα στοιχεία στα δεδομένα από το χαμηλότερο μέχρι το υψηλότερο επίπεδο και μπορούν να ανακαλύψουν μοτίβα και δομές. Παρά το γεγονός ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα αρκετά περίπλοκο πρόβλημα, οι αλγόριθμοι “βαθιάς” μάθησης(deep learning algorithms) μπορούν να παρέχουν το σύστημα με στοιχεία παραγόμενα από τα δεδομένα

ιστορικών παρατηρήσεων χωρίς προηγούμενη γνώση, πράγμα το οποίο αυξάνει τη λειτουργικότητα του ΕΣΜ. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην ανάπτυξη και υποστήριξη εφαρμογών αυτού του συστήματος, με κυριότερες από αυτές τον έλεγχο της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των φωτεινών σηματοδοτών στο οδικό δίκτυο.

Εμφανής είναι και ο ρόλος των υπόγειων οδικών δικτύων στη διάσπαση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και την ασφαλέστερη διέλευση οχημάτων. Το hyperloop είναι ένα “δημόσιο” σύστημα μεταφοράς εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας στο οποίο οι επιβάτες ταξιδεύουν σε αυτόνομους ηλεκτρικούς σταθμούς με εξακόσια και παραπάνω μίλια την ώρα. Μέχρι τώρα στα μεγάλα αστικά κέντρα υπάρχουν πολλά δημόσια μέσα μεταφοράς(μετρό,λεωφορεία,τραμ) ωστόσο δεν παρατηρείται μεγάλη βελτίωση στην διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής. Τα υπόγεια οδικά δίκτυα αξιοποιώντας τις προαναφερθείσες τεχνολογίες μπορούν τόσο να εκμηδενίσουν τις αποστάσεις όσο και να αποτρέψουν τη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης σε οποιοδήποτε οδικό δίκτυο.

Το υπόλοιπο άρθρο είναι δομημένο σε τέσσερις τομείς. Ο τομέας νούμερο δύο περιέχει μία ανασκόπηση του έργου και των τεχνολογιών που υπάρχουν, ο τομέας νούμερο τρία περιέχει το προτεινόμενο σύστημα, ο τομέας νούμερο τέσσερα περιλαμβάνει συμπεράσματα από τις ενότητες δυο και τρία, ο τομέας νούμερο πέντε εξετάζει τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για τη διευκόλυνση κυκλοφορίας των οχημάτων έκτακτης ανάγκης και τέλος ο τομέας νούμερο έξι αναλύει τις επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

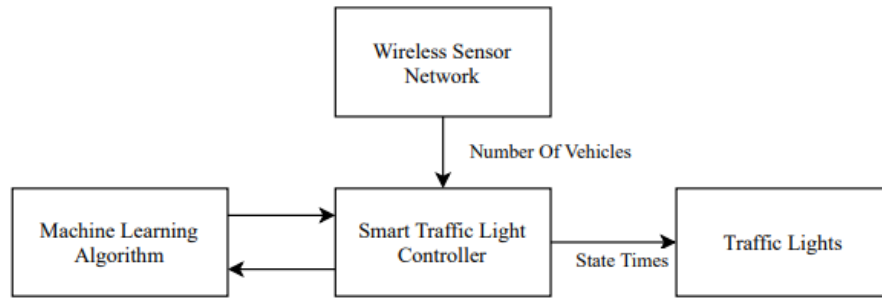
2.Ανασκόπηση έργου

Στην πόλη του Cambridge έχει αναπτυχθεί μερικώς ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας που ανιχνευτές θαμμένοι στο οδικό δίκτυο εντοπίζουν τον αριθμό αυτοκινήτων σε φανάρια και διασταυρώσεις και ενημερώνουν την κεντρική μονάδα ελέγχου η οποία λαμβάνει αποφάσεις αναλόγως. Το σύστημα αυτό ωστόσο είναι κεντριοποιημένο, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να μην λειτουργεί σωστά(στέλνοντας λανθασμένες πληροφορίες ή παύση λειτουργίας του για μεγάλο χρονικό διάστημα)εξαιτίας προβλημάτων δικτύου. Μερικοί ερευνητές πρότειναν τη χρήση καμερών και την οπτική αναγνώριση χαρακτήρων(OCR) για να ταυτοποιήσουν καθώς και να υπολογίσουν τον αριθμό οχημάτων μέσω της αναγνώρισης των πινακίδων τους.

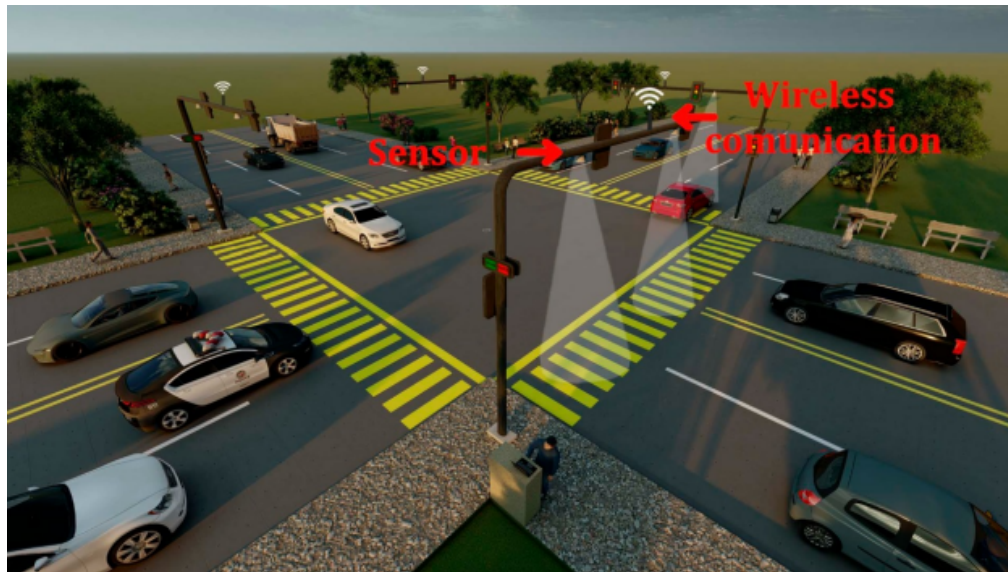
Στη συνέχεια, προτάθηκε ένα σύστημα το οποίο βασίζεται σε κάμερες παρακολούθησης του οδικού δικτύου για να εντοπιστεί η πυκνότητα της κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας MATLAB,έναν ελεγκτή κίνησης και έναν ασύρματο πομπό για την αποστολή εικόνων στον διακομιστή(server) ο οποίος με την σειρά του θα υπολογίσει την πυκνότητα της κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας τις εικόνες που του δόθηκαν από κάθε τομέα του οδικού δικτύου. Έπειτα, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος για να ορίσει το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των φαναριών με βάση την κυκλοφοριακή ροή στις λωρίδες του οδικού δικτύου στέλνοντας τα αποτελέσματά του(χρονοδιάγραμμα λειτουργίας) στους μικροελεγκτές και μετά στον διακομιστή.

Στη συνέχεια, αναλύθηκε ένα σύστημα που θα περιλάμβανε τον συγχρονισμό διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο, για τη διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής δυναμικά. Στο σύστημα αυτό, χρησιμοποιούνται σένσορες για να εντοπίσουν το βαθμό της κυκλοφοριακής πυκνότητας, όπου η επικοινωνία οχημάτων και οχήματος με υποδομή (Vehicle to vehicle and vehicle to infrastructure) πραγματοποιείται με τη χρήση ασύρματων συσκευών επικοινωνίας. Ένας ελεγκτής τοποθετημένος στο κέντρο κάθε διασταύρωσης (σε κόμβους, φανάρια και διασταυρώσεις) δέχεται πληροφορίες και αιτήματα από οχήματα και πεζούς και τα επεξεργάζεται χρησιμοποιώντας την μέθοδο first come first serve[3] (το [12] από το άρθρο).

Πάνω στο προαναφερόμενο σύστημα προτάθηκε επίσης η πρόσθεση μιας λειτουργίας η οποία θα διαλέγει τη συντομότερη διαδρομή για τους οδηγούς με σκοπό την αποφυγή της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Μοντέλα μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ελεγκτές “έξυπνων” φαναριών, δεχόμενα δεδομένα από σένσορες που μετρούν τον αριθμό των οχημάτων (με μία από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν) που περνούν από κάθε λωρίδα ανά ένα μικρό χρονικό διάστημα (για την παροχή συνεχούς ενημέρωσης). Πιο συγκεκριμένα για την συλλογή όλων αυτών των δεδομένων ερευνητές προτείνουν τη χρήση της υπολογιστικής νέφους, των RFIDs, του GPS και του WSN (wireless sensor network) και άλλα μοντέρνα εργαλεία. Θα δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων η οποία θα περιέχει κατά εβδομήντα πέντε τοις εκατό τα δεδομένα για επεξεργασία και εκπαίδευση και κατά είκοσι πέντε τοις εκατό χώρο για δοκιμές. Με το που δημιουργηθεί η βάση δεδομένων, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορούν να εκπαιδευτούν για κάθε διασταύρωση, παίρνοντας δύο ειδών δεδομένα από τη βάση για δύο κύριες λειτουργίες: την πυκνότητα της κυκλοφοριακής ροής σε πραγματικό χρόνο και την πρόβλεψή της μελλοντικής της κατάστασης. Σε πραγματικό χρόνο, το σύστημα, θα δέχεται συνεχή ανατροφοδότηση από τη βάση παρέχοντας παράλληλα στους οδηγούς τις κατάλληλες πληροφορίες για το οδικό δίκτυο. Από την άλλη πλευρά, η πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής βασίζεται στην επεξεργασία των ιστορικών δεδομένων (4) που είναι αποθηκευμένα στη βάση από αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης οι οποίοι αναγνωρίζοντας μοτίβα και δομές θα παράγουν προβλέψεις για την εξέλιξη της κυκλοφοριακής ροής. Από τη στιγμή που θα παραχθεί η πληροφορία για την κατάσταση του οδικού δικτύου σε πραγματικό καθώς και σε μελλοντικό χρόνο, θα επιτρέπει στο σύστημα να προγραμματίζει καλύτερα τη λειτουργία των φαναριών, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο για να υπολογίσει το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας τους. Αυτή η διαδικασία μπορεί να υποστηριχθεί πλήρως από την ασύρματη επικοινωνία του φαναριού με έναν κεντρικό σταθμό που βρίσκεται η βάση ή με έναν ελεγκτή. Η εικόνα 1.α δείχνει ένα διάγραμμα μπλοκ των κύριων στοιχείων που προτάθηκαν και το 1.β μία αναπαράσταση του συστήματος σε πραγματικό σενάριο.



(α)



(β)

Εικόνα 1. Προτεινόμενη χρήση. (α) Διάγραμμα μπλοκ, (β) αναπαράσταση του συστήματος σε πραγματικό σενάριο.

3.Προτεινόμενο σύστημα

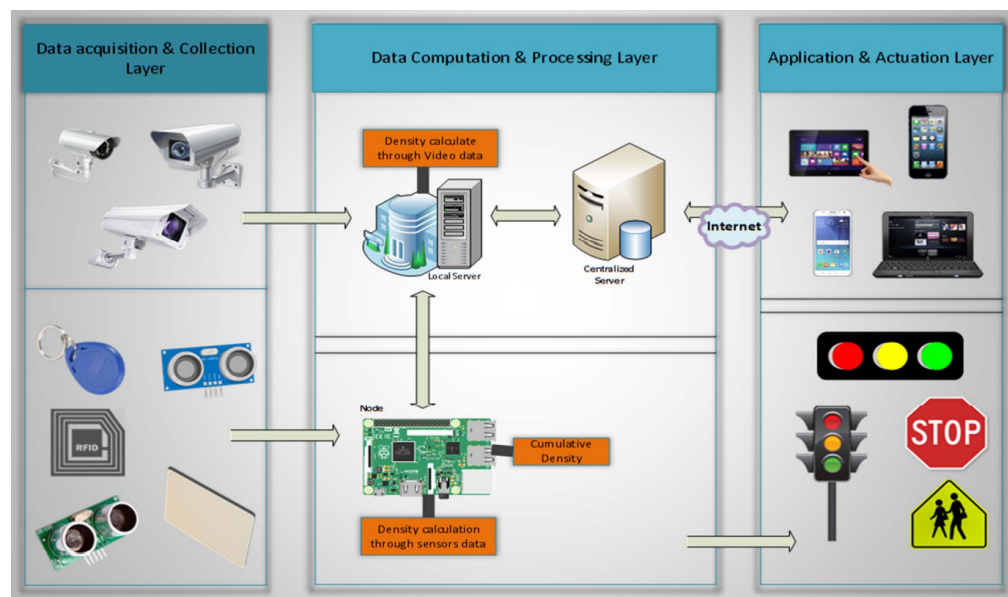
Το προτεινόμενο σύστημα, που φαίνεται στην εικόνα 2, είναι σχεδιασμένο να ελέγχει την κυκλοφορία και τα οδικά δίκτυα, με τη βοήθεια καμερών παρακολούθησης, σεναριων και των RFIDs που είναι ενσωματωμένα στις άκρες των δρόμων. Το σύστημα, λειτουργεί με κατανεμημένο τρόπο, επεξεργάζεται τα δεδομένα που παράγονται από τους σένσορες σε επίπεδο κόμβου, τα δεδομένα που παράγονται από τις κάμερες, στον τοπικό διακομιστή(server) και υπολογίζει την αθροιστική κυκλοφοριακή πυκνότητα των οδικών δικτύων για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας. Εκτός από αυτό, βοηθάει στην διέλευση οχημάτων έκτακτης ανάγκης όπως π.χ. ασθενοφόρο, πυροσβεστική. Βοηθάει επίσης τους χρήστες-οδηγούς να γνωρίζουν την κατάσταση της κυκλοφοριακής συμφοράρησης στον δρόμο μέσω πρόβλεψης. Το σύστημα είναι χωρισμένο σε τρία επίπεδα, Α) Στρώμα

απόκτησης και συλλογής δεδομένων, Β) Επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και λήψης αποφάσεων και Γ) Επίπεδο εφαρμογής και ενεργοποίησης.

Α. Απόκτηση και συλλογή δεδομένων

Πολλοί τρόποι εντοπισμού κυκλοφοριακής συμφόρησης έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές με τη βοήθεια της πιο προηγμένης τεχνολογίας η οποία αποτελείται από υπέρηχους σένσορες, RFIDs, κάμερες παρακολούθησης και δέσμες φωτός. Όλα αυτά τα εργαλεία έχουν έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ωστόσο, τα κατάλληλα εργαλεία στα πλαίσια του προτεινόμενου συστήματος είναι οι κάμερες παρακολούθησης, οι υπέρηχοι σένσορες, RFIDs καθώς και οι σένσορες καπνού και φωτιάς.

Η κάμερα παρακολούθησης είναι κατά μεγάλο ποσοστό η πηγή εντοπισμού κυκλοφοριακής συμφόρησης λόγω της αποδοτικότητάς της και της ευκολίας συντήρησής της. Χάρη της αποδοτικότητας του και της δυνατότητας του να μειώνει τον θόρυβο από τα βίντεο, για την καταγραφή ροής βίντεο (Video streaming) στον τοπικό διακομιστή (σερβερ) χρησιμοποιείται ο Blob detection algorithm. Μετά από την καταγραφή της κίνησης, ο τοπικός διακομιστής (σερβερ) στέλνει την πυκνότητα (κυκλοφορίας) που μετρήθηκε από την επεξεργασία εικόνας στον αντίστοιχο μικροελεγκτή.



Εικόνα 2. Μοντέλο του συστήματος

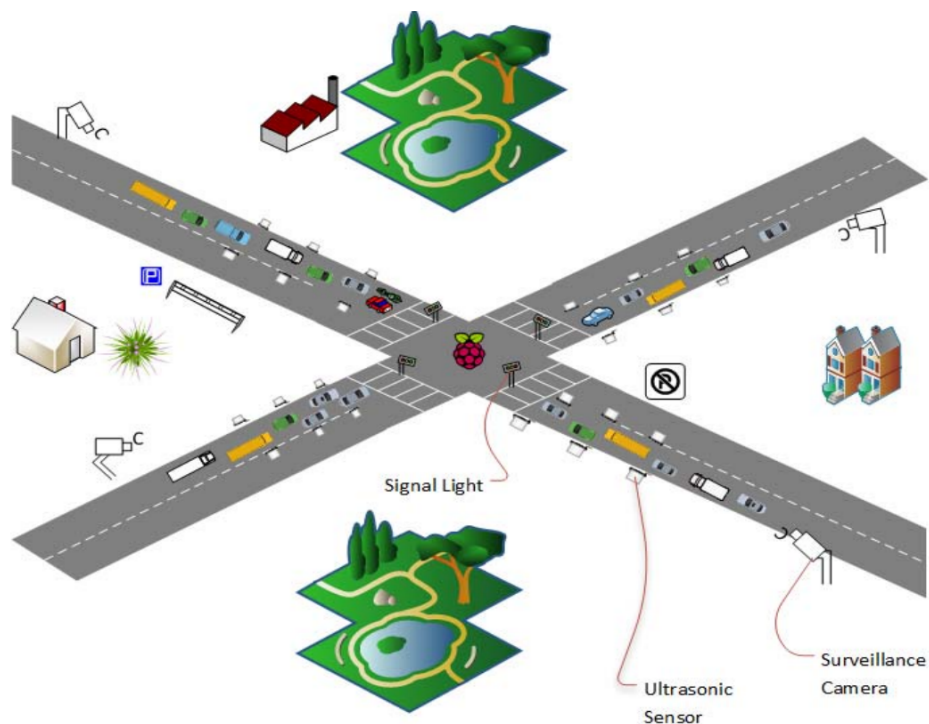
Πέρα από τις κάμερες, το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί επίσης υπέρηχους σένσορες για να επιτύχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι σένσορες είναι αναπόσπαστο κομμάτι που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής πυκνότητας σε πολλές εφαρμογές συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας. Μετρούν την απόσταση στέλνοντας ένα ηχητικό κύμα συγκεκριμένης συχνότητας περιμένοντας το να αναπηδησει πίσω. Το σύστημα, υπολογίζει την απόσταση χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Απόσταση} = ((\alpha \times \beta) / 2)$$

α =Ταχύτητα του ήχου

β =χρόνος που απαιτείται για να επιστρέψει το ηχητικό κύμα

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3, υπάρχουν τρία ζεύγη αισθητήρων σε συγκεκριμένη απόσταση τα οποία είναι ενσωματωμένα σε κάθε άκρη του δρόμου μιας διασταύρωσης για τον υπολογισμό της πυκνότητας κυκλοφορίας. Ο κάθε αισθητήρας “μεταφράζει” την πληροφορία που δέχεται σε 1 και 0, με το 1 να αναπαριστά την τιμή αληθής, ότι δηλαδή πέρασε αυτοκίνητο, και η τιμή 0 την τιμή ψευδής. Από την πλευρά του κόμβου, η πυκνότητα υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις ενδείξεις όλων των αισθητήρων που είναι ενσωματωμένοι.



Εικόνα 3. Δίκτυο αισθητήρων

$$\sum_{i=1}^3 (P_i) = P_i + P_{i+1} + P_{i+2}$$

P: είναι το ζεύγος των υπερήχων αισθητήρων. Ο πίνακας 1 δείχνει τις καταστάσεις των αισθητήρων και τα αποτελέσματά τους.

Condition / Sensors	P1	P2	P3	Status
Condition 1	1	0	0	Low
Condition 2	1	1	0	Medium
Condition 3	1	1	1	High

Πίνακας 1. Κατάσταση πυκνότητας κυκλοφορίας από υπέρηχους αισθητήρες

Ο μικροελεγκτής λαμβάνει τα αποτελέσματα των αισθητήρων και των βίντεο από έναν τοπικό διακομιστή για τον υπολογισμό της αθροιστικής πυκνότητας χρησιμοποιώντας τον πίνακα 2.

Situations	Sensors' Result	Camera's Result	Traffic Density
Situation 1	High	High	High
Situation 2	High	Medium	High
Situation 3	High	Low	Medium
Situation 4	Medium	High	High
Situation 5	Medium	Medium	Medium
Situation 6	Medium	Low	Medium
Situation 7	Low	High	Medium
Situation 8	Low	Medium	Medium
Situation 9	Low	Low	Low

Πίνακας 2. Αθροιστική πυκνότητα

B. Επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων και λήψης αποφάσεων

Το σύστημα διαχειρίζεται την οδική κυκλοφορία σύμφωνα με την κυκλοφοριακή κατάσταση που επικρατεί. α) Στην πρώτη περίπτωση, κάθε σήμα κυκλοφορίας(φανάρια) έχει μία προκαθορισμένη ώρα λειτουργίας, η οποία είναι α δευτερόλεπτα όταν η πυκνότητα κυκλοφορίας βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα. Κάθε σήμα γίνεται πράσινο στη σειρά του για α δευτερόλεπτα ενώ τα υπόλοιπα σήματα παραμένουν κόκκινα μέχρι όλα τα υπολειπόμενα κυκλοφοριακά σήματα στην διασταύρωση ολοκληρώσουν αυτόν τον κύκλο. Με την αναλογία κίνησης να αυξάνεται συνεχώς και το τρέχον σύστημα του προκαθορισμένου χρόνου λειτουργίας των σημάτων κυκλοφορίας να μην λειτουργεί σε αυτήν την κατάσταση, υπάρχει μια επιτακτική ανάγκη να προστεθεί ένα σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας που θα κατανέμει το χρόνο δυναμικά σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας με βάση την πυκνότητα του οδικού δικτύου και στην περίπτωση που η ροή της κυκλοφορίας είναι αυξημένη και δεν βρίσκεται σε φυσιολογικά επίπεδα, το σύστημα με την βοήθεια του πίνακα 2 υπολογίζει το επίπεδο πυκνότητας και ενημερώνει την ώρα λειτουργίας του σήματος κυκλοφορίας. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της κυκλοφορίας φαίνεται στην εικόνα 4

Algorithm:

Part(I) When no emergency vehicle detected

if (Traffic Density == high)

 if (Rush Interval==Yes)

$$\text{Time} = ((\alpha e^x \sin\theta) + \beta) + \gamma$$

 else

$$\text{Time} = (\alpha e^x \sin\theta) + (\cos\theta * \gamma) + \beta$$

else

 if (Rush Interval==Yes)

$$\text{Time} = (\alpha e^x \sin\theta) + \gamma$$

 else

Time= α

Part (II) When RFID tags detect emergency vehicle

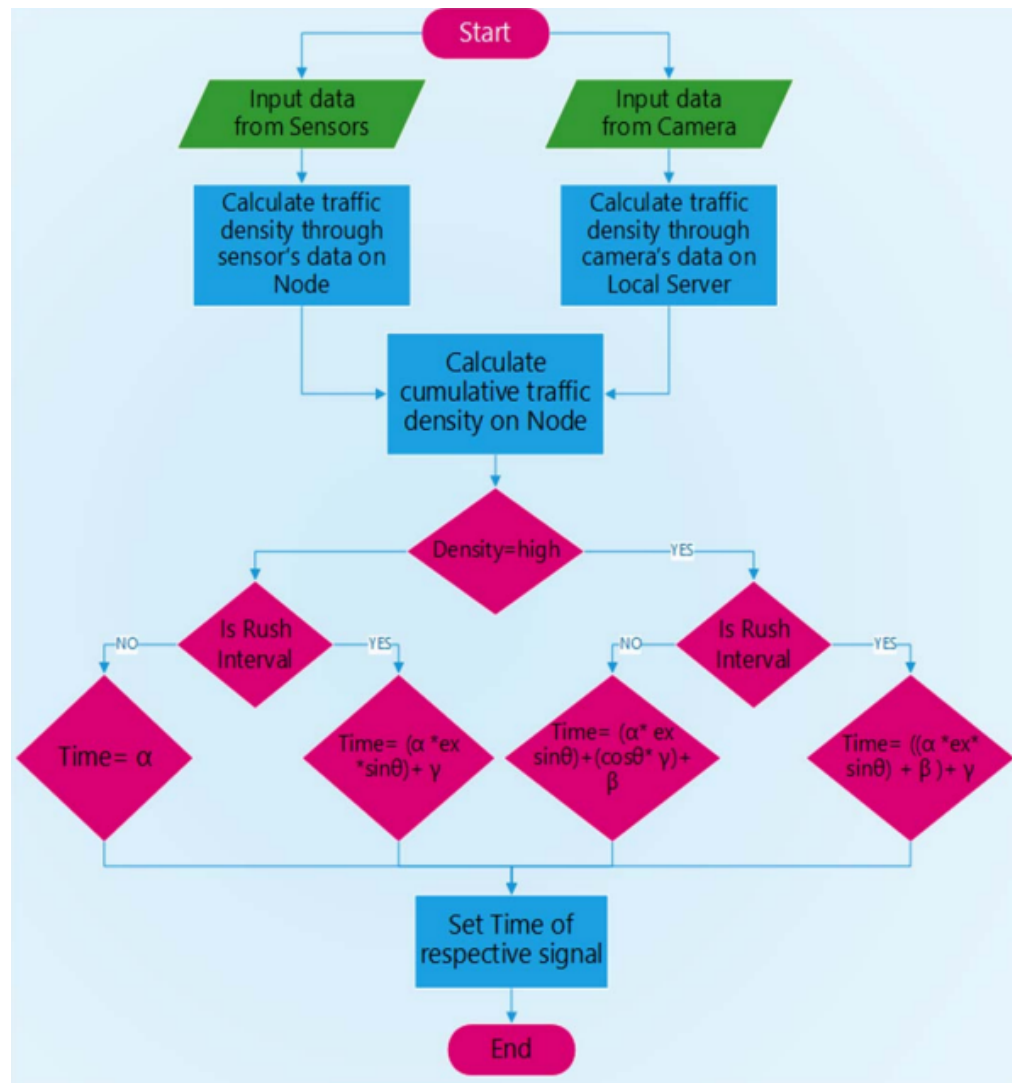
While (vehicle Exits)

Time != 0

Εικόνα 4. Αλγόριθμος διαχείρισης κυκλοφορίας

Όπου το α είναι ο προγραμματισμένος δοσμένος χρόνος λειτουργίας σημάτων, $\theta=90$, $\chi=0$, β ο επιπλέον χρόνος που προστίθεται σε περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης και γ ο προστιθέμενος χρόνος όταν υπάρχει ανάγκη να περάσει ένα όχημα έκτακτης ανάγκης.

Επιπλέον, αν εντοπιστεί ένα όχημα έκτακτης ανάγκης, το σύστημα σταματάει την κανονική του λειτουργία και απευθείας κάνει πράσινο το σήμα κυκλοφορίας έως ότου περάσει το όχημα έκτακτης ανάγκης. Παράλληλα με αυτό, υπάρχει και η λειτουργία όπου εάν εντοπιστεί φωτιά στο οδικό δίκτυο ο μικροελεγκτής της συγκεκριμένης διασταύρωσης επικοινωνεί μέσω του τοπικού διακομιστή με τον κεντρικό από όπου στέλνεται η πληροφορία για την κατάσταση του οδικού δικτύου στο αντίστοιχο τμήμα πυροσβεστικής και αστυνομίας της περιοχής. Η ροή του πως το σύστημα υπολογίζει το χρόνο λειτουργίας των οδικών σημάτων φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5. Διάγραμμα ροής του συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας

Γ.Επίπεδο εφαρμογής και ενεργοποίησης

Σε αυτό το επίπεδο παραδίδονται δύο ειδών πληροφορίες i)διάρκεια πράσινου σήματος από κόμβο σε σήμα κυκλοφορίας και ii)ημερήσιες, εβδομαδιαίες και ετήσιες αναφορές στη διοίκηση του έξυπνου συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας μέσω μιας διαδικτυακής εφαρμογής από έναν κεντρικό διακομιστή. Αρχικά, το σύστημα υπολογίζει το “διάστημα βιασύνης” χρησιμοποιώντας τον αναδρομικό Tree algorithm στα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στον τοπικό διακομιστή και τον ενημερώνει(τον διακομιστή) με αναφορές καθημερινά. Το “διάστημα βιασύνης” είναι το χρονικό διάστημα των τριάντα λεπτών. Η αναφορά ,που προαναφέρθηκε, εμφανίζεται στην διαδικτυακή εφαρμογή η οποία είναι συνδεδεμένη με έναν κεντρικό διακομιστή ο οποίος θα την παραδώσει στη διοίκηση του έξυπνου συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας. Η αναφορά αυτή περιέχει καθημερινή, εβδομαδιαία και ετήσια διαγράμματα που αναπαριστούν τα “διαστήματα βιασύνης” στο οδικό δίκτυο. Αυτή η πληροφορία είναι αρκετά σημαντική για τον μελλοντικό οδικό σχεδιασμό και την διαχείριση πόρων.

Επιπλέον, όταν το “διάστημα βιασύνης” αναγνωριστεί από την μονάδα ενεργοποίησης, ο τοπικός διακομιστής επικοινωνεί με τον αντίστοιχο μικροελεγκτή παρέχοντάς του το αναγνωριστικό του δρόμου(road id). Μετά τη λήψη της ενημέρωσης για το “διάστημα βιασύνης”, το κομμάτι λήψης αποφάσεων του συστήματος ενημερώνει την διάρκεια του πράσινου σήματος στο αντίστοιχο σήμα κυκλοφορίας(φανάρια).

4.Συμπεράσματα ενότητων δύο και τρία

Οι παραπάνω ενότητες παρουσιάζουν μία αποτελεσματική λύση για την ταχεία ανάπτυξη του “φαινομένου” της κυκλοφοριακής συμφόρησης, ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις, όπου τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας αποτυγχάνουν να διαχειριστούν επαρκώς την κυκλοφοριακή πυκνότητα. Συνεπώς, παρατηρείται πως το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει πολύ πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά. Διαχειρίζεται τα οδικά σήματα βασιζόμενο σε δεδομένα που αφορούν την πυκνότητα της κυκλοφορίας και ρυθμίζει τη ροή επικοινωνώντας με έναν τοπικό διακομιστή. Η χρήση τοπικών διακομιστών κάνει το σύστημα πιο αποδοτικό καθώς σε περίπτωση που υπάρξει τεχνικό σφάλμα στον κεντρικό διακομιστή συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά χάρη των τοπικών διακομιστών. Επίσης, ο κεντρικός διακομιστής μπορεί να επικοινωνήσει με τοπικά σώματα προστασίας του πολίτη σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης παρέχοντας έγκαιρη απόκριση. Ένας χρήστης μπορεί να πληροφορηθεί για το μελλοντικό επίπεδο κυκλοφορίας σε οποιονδήποτε δρόμο αποφεύγοντας έτσι την δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τέλος, το σύστημα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σε ανώτερες αρχές που μπορούν να αξιοποιηθούν για την σχεδίαση του οδικού δικτύου καθώς και για την βέλτιστη χρήση πόρων.

5. Οχήματα έκτακτης ανάγκης και κυκλοφορική συμφόρηση

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι σύνηθες φαινόμενο, ειδικά στα αστικά κέντρα. Τι γίνεται όμως όταν ο όγκος κυκλοφορίας είναι αυξημένος και εκείνη την στιγμή πρέπει να διασχίσει τον δρόμο, κάποιο όχημα έκτακτης ανάγκης; Δεδομένου ότι το όχημα ανάγκης μπορεί να αποτελεί κάποιο ασθενοφόρο που μεταφέρει τραυματία στο νοσοκομείο ή κάποιο πυροσβεστικό όχημα με αποστολή την κατάσβεση πυρκαγιάς, γίνεται αντιληπτό ότι η οποιαδήποτε καθυστέρηση αυτών των οχημάτων, έστω και μικρή, μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες. Βέβαια υπάρχουν και άλλες περιπτώσεις που μπορούν να αναφερθούν, όπως περιπολικό σε καταδίωξη, αλλά από το πλαίσιο της μελέτης. Το νόημα αυτής της εισαγωγής είναι ότι σε μία έξυπνη (τεχνολογικά) πόλη, όπου η κυκλοφορία αντιμετωπίζεται με σύγχρονες τεχνολογίες, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η παροχή προτεραιότητας σε οχήματα έκτακτης ανάγκης. Σε αυτήν την ενότητα λοιπόν αναφέρονται 3 παραδείγματα, όπου εταιρείες/οργανισμοί σε συνεργασία με κυβερνήσεις προσπαθούν να αποδώσουν μια λύση, στο πρόβλημα αυτής της ενότητας, δηλαδή την εξυπηρέτηση οχημάτων έκτακτης

ανάγκης. Έπειτα θα γίνει σύγκριση αυτών των λύσεων και στο τέλος θα επιλεγεί μία ως βέλτιστη.

5.A Applied Information Inc & Autotalks

Η πρώτη περίπτωση αφορά την συνεργασία μεταξύ της Applied Information Inc, με ειδικευση στις υποδομές μεταφορών, και της Autotalks, με αντικείμενο τις λύσεις επικοινωνίας Vehicle-to-Everything (V2X)(**άρθρο, Green Lights to Save Lives: Smart Emergency Vehicle System**). Αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος, το οποίο εξοικονομεί 1 επιπλέον λεπτό για τα οχήματα έκτακτης ανάγκης. Μπορεί αυτό να μην φαίνεται σημαντικό με μία πρώτη σκέψη, όμως εάν συλλογιστεί κάποιος ότι η μέση διάρκεια ανταπόκρισης ενός οχήματος έκτακτης ανάγκης είναι περίπου 5-10 λεπτά , καταλαβαίνει την σημασία αυτού του κατορθώματος. Η δοκιμή αυτού του συστήματος έγινε με 150 -περίπου- συσκευές ελέγχου κυκλοφορίας συνδεδεμένες σε μία περιοχή 78,5 τετραγωνικών μιλίων που περιβάλλει το Infrastructure Automotive Technology Laboratory (iATL), στην Alpharetta. Με μία σύντομη περιγραφή το όχημα έκτακτης ανάγκης εκπέμπει σήματα στις διασταυρώσεις ,που πρόκειται να διασχίσει, έτσι ώστε να του παραχωρηθεί προτεραιότητα, ενώ ταυτόχρονα οι υπόλοιποι χρήστες του δρόμου μπορούν να ενημερώνονται μέσω μιας κινητής εφαρμογής (TravelSafely). Η ενημέρωση αυτή εκτός από την αναγγελία διέλευσης οχήματος (σε έκτακτη ανάγκη), αφορά και την παροχή οδηγιών για την ασφαλέστερη διέλευση. Ωστόσο ένα σημαντικό ερώτημα που δημιουργείται είναι πώς στέλνονται τα σήματα για την παροχή προτεραιότητας; Η απάντηση είναι η ανάπτυξη ενός έξυπνου συστήματος κεραίας το οποίο , αξιοποιεί την τεχνολογία 4G 900Mhz και μπορεί να λαμβάνει/εκπέμπει συχνότητες σε DSRC (επικοινωνία μικρής εμβέλειας) και σε κυψελοειδές V2X (C-V2X). Με αυτό τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα εκπομπής σημάτων πολύ πριν την διασταύρωση, εξασφαλίζοντας -εκτός από την άμεση διέλευση- την ασφάλεια όλων των χρηστών (ρυθμίζονται έγκαιρα όλα τα φανάρια με αποτέλεσμα την αποφυγή ατυχημάτων). Τέλος συμπέραναν από την δοκιμή ότι η εγκατάσταση στην είσοδο σταθμών/νοσοκομείων είναι καίριας σημασίας για την άμεση διέλευση, όπως επίσης ότι το σύστημα έχει πολλές δυνατότητες (π.χ προτεραιότητα σε λεωφορεία) τις οποίες και σκοπεύουν να αναπτύξουν στο μέλλον.

5.B Ford

Η δεύτερη περίπτωση αφορά την Ford, την διεθνής αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία αξιοποίησε την τεχνολογία C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) και ανέπτυξε μια κοινή πλατφόρμα επικοινωνίας (μεταξύ αυτοκινήτων, υποδομών και άλλων χρηστών δρόμου) για να προσφέρει την δική της λύση στην αντιμετώπιση της συμφόρησης[7]. Η Ford διεξήγαγε δοκιμές σε έναν δρόμο με οκτώ διαδοχικά φανάρια στο Άαχεν της Γερμανίας και δύο τμήματα με τρία διαδοχικά φανάρια λίγο έξω από την πόλη (όλα δημιουργημένα από τους εταίρους του έργου). Το όχημα που πρωταγωνίστησε στις δοκιμές είναι το Ford Kuga Plug-In Hybrid, το οποίο εφοδιασμένο με κατάλληλες τεχνολογικές μονάδες επικοινωνίας πρώτα λειτούργησε σαν ασθενοφόρο και έπειτα ως επιβατηγό όχημα[7]. Στις δοκιμές όπου προσομοιόστηκε η λειτουργία του ασθενοφόρου, το όχημα έστειλε σήμα

στα φανάρια για να του παραχωρίσουν προτεραιότητα, έπειτα -αφού το όχημα διέσχισε την διασταύρωση- τα φανάρια επέστρεφαν στην κανονική τους λειτουργία[7,8]. Μέχρι στιγμής η λύση της Ford, έχει μεγάλες ομοιότητες με αυτή της προηγούμενης ενότητας, αφού η λογική στην αντιμετώπιση οχημάτων έκτακτης ανάγκης είναι ίδια (αποστολή σημάτων, για την κατάλληλη ρύθμιση σηματοδοτών). Ωστόσο η αντιμετώπιση των υπόλοιπων οχημάτων είναι αυτή που προξένησε το ενδιαφέρον και οδήγησε στην συμπερίληψη αυτής της ενότητας. Στις δοκιμές σαν απλό επιβατηγό, το όχημα λαμβάνει δεδομένα από τα φανάρια σχετικά με τον χρονισμό τους (αν γίνονται από πράσινο κόκκινο ή το αντίστροφο). Στη συνέχεια, με την χρήση της τεχνολογίας Adaptive Cruise Control της Ford, η ταχύτητα του οχήματος προσαρμόζεται κατάλληλα, έτσι ώστε να φτάσει το όχημα με την μέγιστη ασφάλεια στην διασταύρωση, αλλά και να εξασφαλιστεί ότι η παραμονή στην διασταύρωση να είναι η μικρότερη δυνατή[8]. Για παράδειγμα, αν το όχημα προσεγγίζει διασταύρωση, όπου το φανάρι είναι κόκκινο, η ταχύτητα μειώνεται αρκετά νωρίτερα, με αποτέλεσμα να φτάσει με 30 χλμ[7,8]. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ασφαλέστερη διέλευση (ο μέσος οδηγός προσεγγίζει την διασταύρωση με 50 χλμ, επιβραδυνοντας απότομα) καθώς και μικρότερη αναμονή (προσεγγίζοντας πιο αργά τον κόκκινο σηματοδότη, αυξάνονται οι πιθανότητες να αλλάξει σε πράσινο με τον ερχομό στην διασταύρωση). Οι μηχανικοί της Ford δοκίμασαν αυτό το σύστημα ως μέρος του έργου Corridor for New Mobility Aachen-Düsseldorf (ACCord), που χρηματοδοτείται από το Γερμανικό Ομοσπονδιακό Υπουργείο Ψηφιακών και Μεταφορών και υποστηρίζεται από το RWTH University Aachen, Vodafone, Straßen.NRW (η οδική αρχή για τον Βόρειο Ρήνο Βεσφαλία) και την πόλη του Άαχεν. Το έργο διήρκεσε από τον Ιανουάριο του 2020 έως τον Μάρτιο του τρέχοντος έτους[7].

5.Γ SIRINE

Η τελευταία περίπτωση αναφέρεται στο γερμανικό ερευνητικό έργο <<SIRENE>>, όπου ανατέθηκε από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Μεταφορών και Ψηφιακής Υποδομής (**άρθρο [4] Smart traffic lights enable emergency vehicle priority**). Οι ερευνητές του έργου εργάστηκαν σε ένα έξυπνο σύστημα πλοήγησης που υπολογίζει τις βραχυπρόθεσμες αλλαγές στην κυκλοφορία για την εύρεση λύσεων σχεδιασμού διαδρομής. Στην πόλη Braunschweig, στη Βόρεια Γερμανία, ασθενοφόρα και πυροσβεστικά οχήματα εξοπλίστηκαν με κινητή επικοινωνία LTE και επικοινωνία Car2X, για την διεξαγωγή των δοκιμών του συστήματος. Να σημειωθεί ότι έγινε και χρήση ενός λογισμικού, του PTV Epics, το οποίο αναπτύχθηκε από τους ερευνητές. Η λειτουργία του λογισμικού είναι να προβλέπει κάθε δευτερόλεπτο, την κατάσταση της κυκλοφορίας για τα επόμενα 100 δευτερόλεπτα και να χρησιμοποιεί ένα εσωτερικό μοντέλο για να αξιολογήσει τις διάφορες επιλογές ελέγχου και εφαρμόζει την καλύτερη επιλογή. Στην ουσία πρόκειται για ένα προσαρμοστικό σύστημα, στις τρέχουσες καταστάσεις συμφόρισης. Επίσης το λογισμικό δίνει μεγαλύτερο βαθμό στην προτεραιότητα, ανάλογα με την σημαντικότητα της μετακίνησης. Για παράδειγμα αν ένα ασθενοφόρο μεταφέρει ασθενή στο νοσοκομείο, θα στείλει σήμα μέσω της V2X

επικοινωνίας στα φανάρια, τα οποία με την σειρά τους ρυθμίζουν την κυκλοφορία, έτσι ώστε το ασθενοφόρο να μην επιβαρύνει και τα υπόλοιπα οχήματα να επηρεαστούν το λιγότερο δυνατό. Εν ολίγοις το έργο <<SIRINE>> αποτελεί ένα σύστημα το οποίο προσαρμόζει την κυκλοφορία με βάση τις επικρατούσες συνθήκες, μια προσέγγιση αρκετά ευφυής, ωστόσο αποτελεί την βέλτιστη λύση, από αυτές που αναφέρθηκαν;

5.Δ Σύγκριση λύσεων και επιλογή.

Μέχρις στιγμής μελετήθηκαν τρεις λύσεις για την ομαλή διέλευση οχημάτων έκτακτης ανάγκης, οι οποίες είχαν αρκετές ομοιότητες, όπως και διαφορές, μεταξύ τους. Όπως θα παρατηρήσατε και στις 3 περιπτώσεις αναφέρθηκε η χρήση V2X τεχνολογίας, όπως και ότι τα οχήματα στέλνουν σήμα στα φανάρια, τα οποία με την σειρά τους ρυθμίζουν κατάλληλα την κυκλοφορία. Ωστόσο οι διαφορές που εμφανίζουν μεταξύ τους οι λύσεις, είναι και αυτές που θα οδηγήσουν στην επιλογή της καλύτερης. Προφανώς δεν δίνεται έμφαση σε διαφορές που αφορούν βαθιές τεχνολογικές λεπτομέρειες (π.χ είδους τσιπ που έχει ενσωματωμένο το όχημα), αλλά σε αυτές που αφορούν το σκεπτικό του συστήματος καθώς και την ευκολία του, να εφαρμοστεί ευρύτερα. Για την κατάληξη όμως στην επιλογή της βέλτιστης λύσης, θα πρέπει πρώτα να αναφερθούν τα μοναδικά στοιχεία της κάθε λύσης, που την ξεχωρίζουν από τις άλλες. Σε ό,τι αφορά την 1η περίπτωση (**άρθρο Green Lights to Save Lives: Smart Emergency Vehicle System**), η καινοτομία της στηρίζεται στην κινητή εφαρμογή TravelSafely, μέσω της οποίας οι χρήστες του δρόμου μπορούν να ενημερωθούν για όλες τις τρέχουσες εξελίξεις καθώς και τους εναλλακτικούς τρόπους αντιμετώπισής τους. Για παράδειγμα εάν έχει προκληθεί μπουτιλιάρισμα σε ένα κομβικό σημείο, μπορεί να ενημερωθεί άμεσα ένας ερχόμενος οδηγός, καθώς και να επιλέξει μια εναλλακτική διαδρομή, “ξεφεύγοντας” με αυτόν τον τρόπο από την κίνηση. Η χρήση κινητής εφαρμογής είναι αρκετά εφικτή, στην σημερινή τεχνολογική εποχή, και παρέχει έγκυρη πληροφόρηση, κάτι που μπορεί να μειώσει ενδεχόμενη αναστάτωση σε κρίσιμες καταστάσεις. Τώρα για την 2η περίπτωση (**άρθρο FORD’S SMART TRAFFIC LIGHTS GO GREEN FOR EMERGENCY VEHICLES & Ford tests smart traffic lights that go green for emergency vehicles**), το πλεονέκτημα της έγκειται στην προσαρμογή της ταχύτητας των “απλών” οχημάτων. Με την λήψη δεδομένων χρονισμού από τις υποδομές και με την κατάλληλη προσαρμογή της ταχύτητας του οχήματος, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, στο μέγιστο δυνατό, η αναμονή σε μία διασταύρωση. Η μικρότερη αναμονή έχει θετικές επιπτώσεις σε οικονομικούς (μειωμένη κατανάλωση καυσίμων, ταχύτερη διαδρομή) και περιβαλλοντικούς (λιγότερη εκπομπή ρύπων) παράγοντες. Τέλος για την 3η περίπτωση (**άρθρο Smart traffic lights enable emergency vehicle priority**), ο προγραμματισμός της διαδρομής, στηριζόμενος στην πρόβλεψη της κυκλοφορίας (για τα επόμενα 100”) προξενεί το ενδιαφέρον, ωστόσο μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι η καλύτερη λύση βραχυχρόνια μπορεί να αποδειχθεί η χειρότερη μακροχρόνια (έστω όχι η καλύτερη). Η κυκλοφορία και γενικά κάθε μελλοντικό γεγονός, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και δύσκολα μπορούν να προβλεπτούν όλες οι εναλλακτικές, πόσο μάλλον να επιλεγεί η πιο συμφέρουσα μακροπρόθεσμα. Ίσως μετά από δεκαετίες εξελιχθεί αρκετά η τεχνολογία για

να προβλέπει (υπολογίζει) καταστάσεις. Με τα σημερινά δεδομένα όμως υπάρχουν αμφιβολίες ότι το σύστημα στηριζόμενο στην πρόβλεψη αποδίδει, κάτι που οδηγεί στην απόρριψη της 3ης περίπτωσης. Άρα έχει μείνει η επιλογή μεταξύ των άλλων δύο περιπτώσεων. Η προσαρμογή ταχύτητας της 2ης περίπτωσης (της Ford) στα απλά οχήματα είναι σπουδαία από πολλές οπτικές, ωστόσο προβλέπει την ύπαρξη αυτοοδηγούμενων οχημάτων και γενικά ο κάθε οδηγός να επιτρέψει την εφαρμογή “αυτόματου πιλότου”, που είναι νεοεισερχόμενη τεχνολογία. Από την άλλη η ύπαρξη κινητής εφαρμογής, στην 1η περίπτωση, αποτελεί αρκετά “γνώριμη” τεχνολογία και επομένως είναι πιο εύκολη η εφαρμογή της. Επιπλέον είναι ιδιοφυές ο συνδυασμός συχνοτήτων DSRC και κυψελοειδές C-V2X, για την εκπομπή/λήψη σημάτων από οχήματα έκτακτης ανάγκης. Εν κατακλείδι αφού έγινε λεπτομερής ανάλυση 3 περιπτώσεων για την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρισης, από τα οχήματα έκτακτης ανάγκης, αποδείχθηκε ότι η περίπτωση των Applied Information και Autotalks(1η), είναι η βέλτιστη λύση.

6. Επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρισης

Μέχρις στιγμής προσδιορίστηκε το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης και με την διεξαγωγή μελέτης των νέων τεχνολογιών (ενότητα 2-3) καθώς και ήδη υπάρχουσών λύσεων (ενότητα 5), έγινε εφικτή η ανάπτυξη μιας λύσης για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Θα ήταν περιττό όμως να μην αναφερθούν οι αφορμές, οι οποίες οδήγησαν στην διεξαγωγή αυτής της βιβλιογραφικής εργασίας. Φυσικά οι αφορμές αποτελούν οι αρνητικές επιπτώσεις της συμφόρησης σε πολλές πτυχές ,που επηρεάζουν τόσο τον ίδιο τον άνθρωπο, όσο και όλους τους υπόλοιπους οργανισμούς και γενικά το περιβάλλον. Στην συνέχεια αυτής της ενότητας θα αναφερθούν αναλυτικά οι κύριες επιπτώσεις οι οποίες ταξινομήθηκαν σε : 1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον και 2. Επιπτώσεις στην οικονομία.

6.Α Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον

Στην σημερινή εποχή η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί ένα φαινόμενο το οποίο επιβαρύνει την πλειοψηφία των ανθρώπων, όπως και το περιβάλλον, ωστόσο οι χρήστες του δρόμου επικεντρώνονται στις επιπτώσεις που αντιμετωπίζουν εκείνη την στιγμή (άγχος , εκνευρισμό κ.τ.λ) χωρίς να ενδιαφέρονται/συνειδητοποιούν ιδιαίτερα για τις μακροχρόνιες επιπτώσεις στο περιβάλλον -οι οποίες με την σειρά τους έχουν αρνητικό αντίκτυπο στον άνθρωπο-. Για τον λόγο αυτό γίνεται προσπάθεια να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και πως αυτές επηρεάζουν την ανθρωπότητα.

-Ατμοσφαιρική ρύπανση και επιπτώσεις

Η πρώτη επίπτωση που θα αναλυθεί αρχικά είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση. Γενικά τα οχήματα ,κατά την λειτουργία τους, εκπέμπουν επιβλαβή αέρια (NO₂,CO,CO₂,SO₂) γεγονός που σηματοδοτεί ότι εκτός από την μόλυνση του περιβάλλοντος, υπάρχουν και σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία[5] . Για την ενίσχυση του προηγούμενου ισχυρισμού επικαλείται η έρευνα που διεξήγαγαν οι ερευνητές του άρθρου[8]. Οι ερευνητές μελέτησαν την επίδραση του όγκου κυκλοφορίας , στην μόλυνση του αέρα , καθώς και την επίδραση στο ρίσκο υγείας των -κοντινών στους δρόμους- κατοικιών. Από αυτή τους την έρευνα συμπεράναν ότι η αύξηση του όγκου κυκλοφορίας, αυξάνει σημαντικά την εκπομπή ρύπων, η οποία με την σειρά της αυξάνει τον κίνδυνο υγείας και θνησιμότητας των οδηγών και των κοντινών κατοίκων. Επίσης ανακάλυψαν ότι στην μόλυνση υπάρχουν και μετεωρολογικοί παράγοντες (το πρωί η μόλυνση είναι 30-50% μεγαλύτερη από ότι το απόγευμα, με τις ίδιες κυκλοφοριακές συνθήκες) , όπως και ότι σε αρτηριακούς δρόμους (π.χ των πόλεων/ χωριών) οι παράγοντες μόλυνσης μπορούν να αυξηθούν δραματικά , σε σύγκριση με τους αυτοκινητόδρομους καθώς υπάρχει μεγαλύτερη αναμονή και περισσότερες εκκινήσεις/επιβραδύνσεις οχημάτων. Συνολικά αυτό που είναι σημαντικό από αυτήν την μελέτη, είναι ο σημαντικός αντίκτυπος της κυκλοφοριακής συμφόρησης στην μόλυνση της ατμόσφαιρας.

-Ηχορύπανση και επιπτώσεις

Έπειτα μια άλλη σημαντική επίπτωση , περισσότερο για τους ανθρώπους είναι η ηχορύπανση, όπου για την παρουσίαση των επιπτώσεων της , γίνεται αναφορά σε ένα άρθρο του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος(**άρθρο Η ηχορύπανση αποτελεί μείζον πρόβλημα, τόσο για την υγεία του ανθρώπου όσο και για το περιβάλλον**), το οποίο αποτελεί απόσπασμα συνέντευξης στην Eulalia Peris (Εμπειρογνώμονας του ΕΟΠ σε θέματα περιβαλλοντικού θορύβου). Με βάση το προαναφερθέν άρθρο το 20% περίπου του πληθυσμού τη Ευρώπης εκτίθεται μακροχρόνια σε επιβλαβή -για την υγεία- επίπεδα θορύβου. Η έκθεση αυτή φυσικά μπορεί να επιφέρει διάφορες επιπτώσεις στην υγεία όπως ενόχληση, διαταραχές ύπνου, αρνητικές επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό και πεπτικό σύστημα, γνωστική δυσλειτουργία παιδιών κ.τ.λ. Ο ΕΟΠ εκτιμά ότι <<ο περιβαλλοντικός θόρυβος συμβάλλει στην εμφάνιση 48.000 νέων περιπτώσεων ισχαιμικής καρδιοπάθειας ετησίως καθώς και 12.000 πρόωρων θανάτων. Επιπλέον 22 εκατομμύρια άνθρωποι υποφέρουν από χρόνια υψηλή ενόχληση και 6,5 εκατομμύρια υποφέρουν από χρόνια σοβαρή διαταραχή ύπνου>>. Κατανοείται από αυτά τα πορίσματα ,ότι η ηχορύπανση -ιδίως αυτή του κυκλοφοριακού- έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και πρέπει να αντιμετωπιστεί (ένας τρόπος αντιμετώπισης αποτελεί και η μείωση της συμφόρησης). Μέχρις στιγμής παρουσιάστηκαν 2 σοβαρές συνέπειες για το περιβάλλον η ηχορύπανση και η ατμοσφαιρική ρύπανση , σημαντικές διότι εκτός από ότι μολύνουν το περιβάλλον, προκαλούν μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων στους ανθρώπους.

Η παρακάτω ενότητα κλείνει με την αναφορά σε μία ακόμα μελέτη, η οποία συγκεντρώνει τις σημαντικότερες επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης για τους οδηγούς. Αυτή αφορά τους ερευνητές του άρθρου [5] οι οποίοι

συγκέντρωσαν πλήθος δεδομένων από τους οδηγούς για την διεξαγωγή πορισμάτων. Σύμφωνα με την έρευνα το 81% των οδηγών, δηλώνει ότι επηρεάζεται η ψυχική του υγεία από την κίνηση(**fig. 1**). Επίσης σε ό,τι αφορά την υγεία, σε υψηλά επίπεδα ανησυχίας εμφανίζονται προβλήματα στην αναπνοή (20%), ψυχικό στρες (18%) και εφίδρωση (15%). Έπειτα σε μέτρια επίπεδα εκδηλώνονται κόπωση (10%), ακοή (8%) και αλλεργία στην σκόνη(6%). Τέλος σε χαμηλά επίπεδα παρουσιάστηκαν ασφυξία(3%) και το πρόβλημα στα μάτια και άλλα π.χ πέψη, αφυδάτωση ...(3%) (**fig.2**).

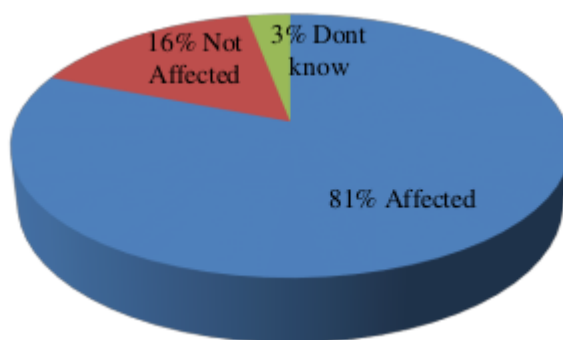


figure 1

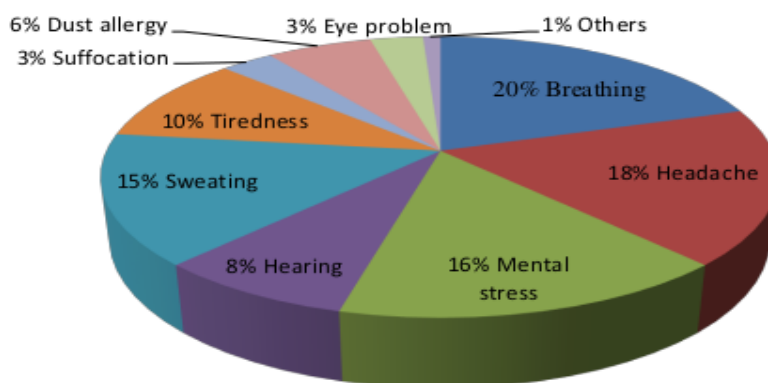


figure 2

6.B Επιπτώσεις στον χρόνο και στην οικονομία































Στην προηγούμενη υπό ενότητα εξετάστηκαν οι επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης στην υγεία του ανθρώπου -σωματική και ψυχική- καθώς και στο περιβάλλον. Αυτές οι επιπτώσεις αν και από μόνες τους επαρκούν για την αιτιολόγηση της διεξαγωγής αυτής της εργασίας (όπως και όλων των αντίστοιχων προσπαθειών, που καταβάλλονται κατά καιρούς), θα ήταν εσφαλμένη η παράλειψη των υπόλοιπων επιπτώσεων. Για τον λόγο αυτό

, σε αυτήν την υπό ενότητα παρουσιάζονται οι υπόλοιπες συνέπειες, δηλαδή αυτές που αφορούν χρονικούς και οικονομικούς παράγοντες.

Αρχικά η κυκλοφοριακή συμφόρηση αυξάνει τον χρόνο του συνολικού ταξιδιού, συγκεκριμένα ο χρόνος αυξάνεται κατά 50%, δηλαδή αν υπό φυσιολογικές συνθήκες χρειάζεται 1 ώρα, υπό συνθήκες κυκλοφοριακού θα χρειαστεί 1,30 ώρα[5]. Το γεγονός αυτό, δηλαδή η απώλεια χρόνου, έχει σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις, γιατί χάνονται πολύτιμες παραγωγικές ώρες και επειδή για την ίδια απόσταση καταναλώνονται περισσότερα καύσιμα. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν να πλήξουν -με την σειρά τους- τις εταιρίες και ιδίως αυτές που ασχολούνται με την μεταφορά και παράδοση προϊόντων και επομένως να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην εφοδιαστική αλυσίδα και στην οικονομία ευρύτερα(INRIX). Για την καλύτερη κατανόηση από τον αναγνώστη ακολουθεί 1 case study της INRIX (εταιρίας που κάνει μελέτες για τις οικονομικές επιπτώσεις και γενικότερα για τα αποτελέσματα της κυκλοφοριακής συμφόρησης).

INRIX: Congestion costs each american nearly 100 hours and \$1400 a year

Στις 9 Μαρτίου του 2020, η INRIX δημοσίευσε την έκθεσή της που αφορά τον εντοπισμό και την κατάταξη των τάσεων κινητικότητας σε εννιάκοσιες πόλεις από σαράντα τρεις χώρες. Σε αυτήν την έκθεση παρουσιάζεται το τμήμα που επικεντρώνεται στις απώλειες των αμερικανών πολιτών σε χρήματα και χρόνο. Σύμφωνα με την INRIX, από το 2017 μέχρι το 2019 ο μέσος χρόνος που χάνει ο αμερικανός πολίτης αυξήθηκε κατά δύο ώρες, γεγονός που οφείλεται στην συνεχόμενη οικονομική και αστική ανάπτυξη. Το αποτέλεσμα είναι η οικονομική επιβάρυνση των πολιτών όπως φαίνεται και στα δεδομένα του επόμενου πίνακα.

2019 CONGESTION RANK (2018)	URBAN AREA	HOURS LOST IN CONGESTION	2018-2019 CHANGE	2017-2018 CHANGE	INCIDENT IMPACT	COST PER DRIVER	TOTAL COST PER CITY	BIKE	TRANSIT	LAST MILE SPEED (MPH)
1 (1)	Boston, MA	149	-5%	3%		\$2,205	\$4.1B			12
2 (3)	Chicago, IL	145	4%	0%		\$2,146	\$7.6B			11
3 (5)	Philadelphia, PA	142	4%	5%		\$2,102	\$4.5B			10
4 (2)	New York City, NY	140	-4%	-3%		\$2,072	\$11B			11
5 (3)	Washington DC	124	-11%	4%		\$1,835	\$4.1B			10
6 (7)	Los Angeles, CA	103	4%	-8%		\$1,524	\$8.2B			16
7 (6)	San Francisco, CA	97	-8%	-4%		\$1,436	\$3B			10
8 (9)	Portland, OR	89	10%	-7%		\$1,317	\$1.2B			14
9 (11)	Baltimore, MD	84	5%	9%		\$1,243	\$1.3B			10
10 (12)	Atlanta, GA	82	9%	-3%		\$1,214	\$3.0B			12

Πίνακας 3. Απώλειες πολιτών σε χρόνο και χρήμα

Σε αυτόν τον πίνακα η INRIX δείχνει μεταξύ άλλων την συνολική ετήσια οικονομική επιβάρυνση σε κάθε μία από τις 10 πιο συμφοριμένες πόλεις των Ηνωμένων

Πολιτειών. Όπως φαίνεται η Βοστώνη βρίσκεται στην 1η θέση με κόστος ανά οδηγό 2.205\$, με συνολικό κόστος (για όλη την πόλη) 4.1 δισεκατομμύρια και 149 “χαμένες” ώρες (για κάθε επιβάτη). Υπάρχουν και άλλα στοιχεία που μπορεί να διαβάσει κάποιος, όπως την αλλαγή από το 2018 στο 2019, ωστόσο δεν χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση καθώς η μελέτη αυτή αποτελεί παράδειγμα για τις οικονομικές και χρονικές επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

6.Γ Σύνοψη ενότητας

Εν ολίγοις σε αυτή την ενότητα αναλύθηκαν οι επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε όλους τους τομείς. Για το περιβάλλον αποδείχθηκε ότι το σημαντικότερο πρόβλημα αποτελεί η ατμοσφαιρική ρύπανση, διότι εκτός από την καταστροφή του περιβάλλοντος προκαλεί και προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Το ίδιο ισχύει και με την ηχορύπανση, αλλά όχι σε τέτοιο μεγάλο βαθμό. Επίσης έγινε αντιληπτό και οι επιπτώσεις στην ψυχολογία των ανθρώπων, αφού οι οδηγοί που αντιμετωπίζουν καθημερινά την συμφόρηση, εμφανίζουν μεταξύ άλλων κούραση, άγχος και εφίδρωση. Τέλος προβλήθηκαν και οι οικονομικές-χρονικές συνέπειες, όπου για την τεκμηρίωσή τους αναφέρθηκε η μελέτη της INRIX, του 2019, για την Αμερική.

Αναφορές

- [1] Smart traffic management system using internet of things
- [2] Traffic flow prediction for smart traffic lights using machine learning algorithms
- [3] Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach
- [4] Analysis of Traffic Congestion Impacts of Urban Road Network under Indian Condition
- [5] Air pollution and health risks due to vehicle traffic
- [6] Green Lights to Save Lives: Smart Emergency Vehicle System
(<https://emag.medicalexpo.com/green-lights-to-save-lives-intelligent-emergency-vehicle-system/>)
- [7] Ford's smart traffic lights go green for emergency vehicles
(https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/gb/en/news/2022/03/30/ford_s-smart-traffic-lights-go-green-for-emergency-vehicles-.html)

[8]Ford tests smart traffic lights that go green for emergency vehicles
(<https://internationalfleetworld.com/ford-tests-smart-traffic-lights-that-go-green-for-emergency-vehicles/>)

[9]Smart traffic lights enable emergency vehicle priority
(<https://blog.ptvgroup.com/en/city-and-mobility/emergency-vehicle-priority/>)

[10]INRIX: Congestion Costs Each American Nearly 100 hours, \$1,400 A Year
(<https://inrix.com/press-releases/2019-traffic-scorecard-us/>)

[11] Η ηχορύπανση αποτελεί μείζον πρόβλημα, τόσο για την υγεία του ανθρώπου όσο και για το περιβάλλον
(<https://www.eea.europa.eu/el/articles/i-ichorypansi-apotelei-meizon-problima>)

[12]The boring company-Hyperloop
(<https://www.boringcompany.com/hyperloop>)