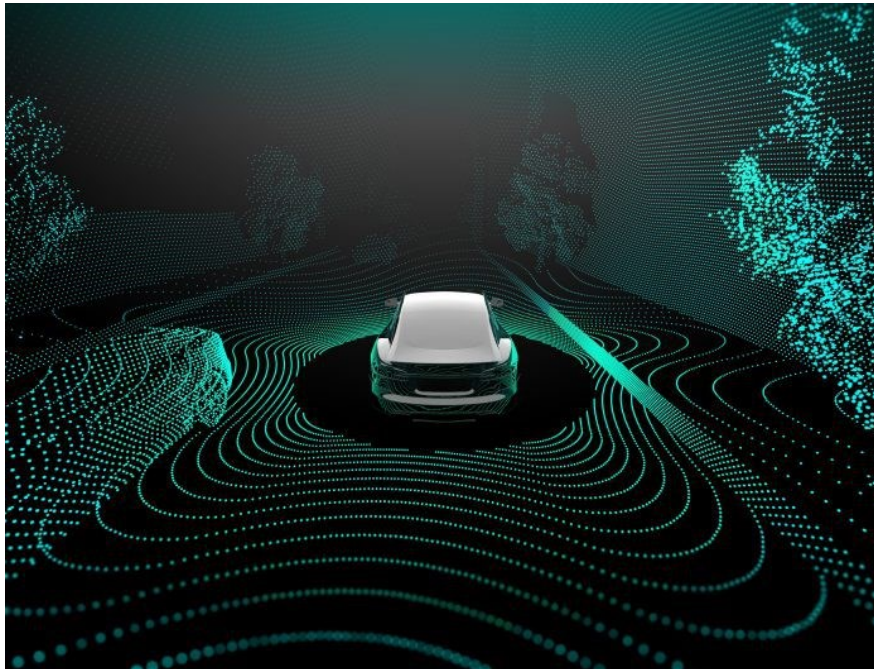




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ**



ΑΜΠΕΛΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΜ :7352

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΓΕΩΡΓΟΥΛΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ, ΕΠΙΚ.ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Πα.Πελ.

Πάτρα, Οκτώβριος 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα εύκαμπτα οδοστρώματα όπως όλοι γνωρίζουμε είναι ένα από τα βασικότερα κατασκευαστικά επιτεύγματα του ανθρώπου. Αποτελούνται από διάφορα στρώματα τα οποία έχουν στόχο την ασφαλή και ομαλή ροή των οχημάτων. Έπειτα από δεκαετίες η τεχνολογία αρχίζει να ενσωματώνεται σταδιακά στα οχήματα με σκοπό την αύξηση ασφάλειας των επιβατών. Με τον σκοπό αυτόν έχουν ξεκινήσει μελέτες οι οποίες αφορούν στην αυτοματοποίηση των οχημάτων η οποία θα πραγματοποιηθεί σταδιακά. Στις μέρες μας η πλειοψηφία των οχημάτων είναι μη αυτόνομα. Ένας από τους σημαντικούς παράγοντες για τα οδοστρώματα είναι η περιπλάνηση την οποία έχουν τα οχήματα μέσα στην λωρίδα. Αυτό έχει μεγάλο αντίκτυπο άμεσα στο οδόστρωμα. Κάθε όχημα έχει διαφορετική θέση στο οδόστρωμα, και αυτό συμβαίνει λόγω του οδηγού. Όταν τα αυτόνομα οχήματα εισέλθουν στην κυκλοφορία θα έχουν την δυνατότητα να μην έχουν περιπλάνηση μέσα στην λωρίδα, κατά επέκταση το κάθε όχημα ανάλογα την κατανομή του θα περνάει από το ίδιο σημείο. Με την βοήθεια της μεθόδου MEPDG, έγινε μια ερευνητική διαδικασία σε δύο τυπικές διατομές οι οποίες βρίσκονται στον ελληνικό χώρο και θα διαπιστώσουμε εάν τα αυτόνομα οχήματα θα φέρουν πιο νωρίς το οδόστρωμα σε αστοχία λόγω αλιγατορικών ρηγματώσεων ή κόπωσης.

ABSTRACT

Flexible pavements, as we all know, are one of the fundamental engineering achievements of humanity. They consist of various layers aimed at ensuring the safe and smooth flow of vehicles. After decades, technology is gradually being integrated into vehicles to enhance passenger safety. For this purpose, studies have begun concerning the autonomous of vehicles, which will be implemented gradually. Nowadays, the majority of vehicles are non-autonomous. One of the significant factors for pavements is the wandering behavior of vehicles within the lane. This has considerable direct impact on the pavement. Each vehicle occupies a different position on the pavement, and this is due to the driver. When autonomous vehicles enter traffic, they will have the ability to avoid wandering within the lane, meaning that each vehicle will pass through the same point depending on this distribution. With the help of the MEPDG method, a research process was conducted on two typical sections located in Greece to determine whether autonomous vehicles will lead to earlier due to alligator cracking or fatigue.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ, ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΟΧΗΜΑΤΑ, ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ, ΑΛΛΙΓΑΤΟΡΙΚΕΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Αντικείμενο	1
1.2	Στόχος – Μεθοδολογία	1
1.3	Δομή.....	2
2	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	3
3	ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	5
3.1	Γενικά	5
3.2	Πλεονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων.....	6
3.3	Μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων.....	6
4	ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΡΟΧΟΥ	8
4.1	Γενικά	8
4.2	Επίδραση της πλευρικής μετατόπισης τροχού στα οδοστρώματα.....	11
5	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	14
5.1	Μέθοδος (MEPDG).....	14
5.2	Βασικές αρχές σχεδιασμού	14
6	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	21
6.1	Τυπικές Διατομές	21
6.2	Κυκλοφορία Σχεδιασμού	22
6.3	Υπολογισμός κρίσιμων εντατικών μεγεθών	43
7	Αποτελέσματα.....	45
7.1	Τυπική Διατομή 1.....	45
7.2	Τυπική Διατομή 2.....	56
7.3	Συγκριτική Αξιολόγηση.....	65
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός οδοστρώματος βασικές παράμετροι αποτελούν οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών, οι κλιματολογικές συνθήκες και η κυκλοφορία σχεδιασμού. Η κυκλοφορία σχεδιασμού, η οποία αναφέρεται στα βαρέα οχήματα, αφορά στο σύνολο των στοιχείων που προσδιορίζουν τόσο το μέγεθος των αξονικών φορτίων όσο και τον τρόπο που επιβάλλεται η φόρτιση στο οδόστρωμα. Μια από αυτές τις παραμέτρους αποτελεί η πλευρική μετατόπιση των τροχών εντός της λωρίδας κυκλοφορίας. Η πλευρική κίνηση των συμβατικών οχημάτων προσομοιάζεται μέσω της κανονικής κατανομής. Ωστόσο, τα αυτόνομα οχήματα έχουν τη δυνατότητα διατήρησης μιας σταθερής τροχιάς εγκάρσια στη λωρίδα, αλλάζοντας το τρόπο φόρτισης των οδοστρωμάτων. Δεδομένου, ότι με την είσοδο των αυτόνομων οχημάτων στις οδούς μεταβάλλεται η παράμετρος της πλευρικής μετατόπισης, αναμένεται τα οδοστρώματα να φορτίζονται με διαφορετικό τρόπο και να έχουν διαφορετική συμπεριφορά.

1.2 Στόχος – Μεθοδολογία

Υπό το πρίσμα των παραπάνω, στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης της σταδιακής εισόδου των αυτόνομων οχημάτων στο σχεδιασμό και τη συμπεριφορά των υφιστάμενων οδοστρωμάτων. Δεδομένου ότι μέσω της τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων, η εγκάρσια κίνησή τους εντός της λωρίδας δύναται να προγραμματιστεί, πέραν της μηδενικής πλευρικής κίνησης, διερευνώνται επιπλέον κατανομές πλευρικής μετατόπισης (κανονική και ομοιόμορφη). Για την επίτευξη του στόχου αξιοποιήθηκαν αποτελέσματα συναφών ερευνών και οργανώθηκε μια ερευνητική διαδικασία. Τα βασικά στάδια της ερευνητικής διαδικασίας είναι τα ακόλουθα:

- Επιλογή διατομών υφιστάμενων οδοστρωμάτων αυτοκινητοδρόμων του ελλαδικού χώρου
- Θεώρηση της κανονικής κατανομής για την πλευρική κίνηση των συμβατικών οχημάτων και τριών κατανομών (κανονική, ομοιόμορφη και μηδενική) για την πλευρική κίνηση των αυτόνομων οχημάτων
- Υπολογισμός των εντατικών μεγεθών και προσδιορισμός της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων μέσω δεικτών (D και FC) για τις παραπάνω θεωρήσεις πλευρικής μετατόπισης και για τα εξής σενάρια κυκλοφορίας:
 - Αποκλειστική κίνηση συμβατικών οχημάτων
 - Ταυτόχρονη κίνηση συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων σε ποσοστό 80% και 20%, αντίστοιχα
 - Ταυτόχρονη κίνηση συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων σε ποσοστό 60% και 40%, αντίστοιχα
 - Ταυτόχρονη κίνηση συμβατικών και αυτόνομων οχημάτων σε ποσοστό 20% και 80%, αντίστοιχα
 - Αποκλειστική κίνηση αυτόνομων οχημάτων

1.3 Δομή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται, συμπεριλαμβανομένου του παρόντος, από τα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 2. Παρουσιάζονται τα γενικά στοιχεία των οδοστρωμάτων.

Κεφάλαιο 3. Παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα, τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα που απορρέουν από την εισαγωγή των υπόψη οχημάτων στο οδικό δίκτυο και υποδομή.

Κεφάλαιο 4. Αναλύεται η έννοια της πλευρικής μετατόπισης του τροχού και της επίδρασης αυτής στη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων.

Κεφάλαιο 5. Παρουσιάζονται οι βασικές αρχές και οι κυριότερες παράμετροι της μηχανιστικής-εμπειρικής μεθόδου σχεδιασμού οδοστρωμάτων MEPDG.

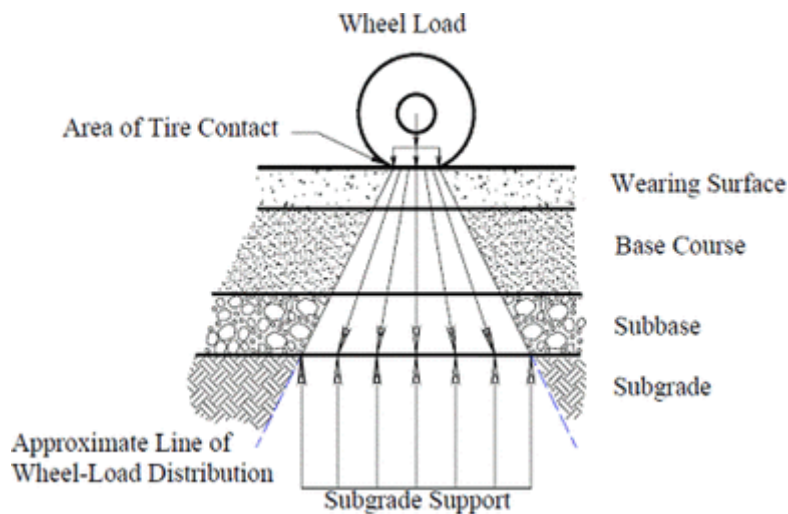
Κεφάλαιο 6. Παρουσιάζεται η ερευνητική διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για την επίτευξη του στόχου της παρούσας εργασίας, καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας και ανάλυσης των στοιχείων.

Κεφάλαιο 7. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων της ερευνητικής διαδικασίας.

Κεφάλαιο 8. Παρουσιάζονται οι βιβλιογραφικές πηγές οι οποίες πλαισιώνουν την παρούσα διπλωματική εργασία.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Τα οδοστρώματα έχουν ως πρωταρχικό στόχο να παρέχουν μια λειτουργική επιφάνεια για την ασφαλή και άνετη μετακίνηση των χρηστών. Η βασική λειτουργία ενός οδοστρώματος είναι να έχει δομική αντοχή έναντι των επιβαλλόμενων φορτίων και υπό την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών για τις οποίες έχει σχεδιαστεί. Το οδόστρωμα αποτελεί ένα σύστημα επάλληλων στρώσεων, με στόχο την κατανομή του φορτίου σε μεγαλύτερη επιφάνεια και την απομείωσή του με το βάθος, έτσι ώστε η πίεση που ασκείται στην επιφάνεια της στρώσης έδρασης να μην οδηγήσει σε αστοχία αυτής (παραμένουσες παραμορφώσεις). Ένα οδόστρωμα το οποίο αποτελείται από ασφαλτικές στρώσεις και στρώσεις ασύνδετων αδρανών οι οποίες εδράζονται σε κατάλληλα διαμορφωμένο έδαφος (στρώση έδρασης) ονομάζεται εύκαμπτο οδόστρωμα. Στην Εικόνα 1, παρουσιάζεται η τυπική διατομή ενός εύκαμπτου οδοστρώματος το οποίο υποβάλλεται σε φόρτιση.



Εικόνα 1 Διατομή εύκαμπτου οδοστρώματος και κατανομή πίεσης ελαστικών

Η κατώτερη στρώση στην οποία εδράζεται το οδόστρωμα ονομάζεται στρώση έδρασης. Οι άλλες στρώσεις, με τη σειρά προς τις ανώτερες, είναι η στρώση υπόβασης από ασύνδετα αμμοχάλικα, η στρώση βάσης από ασύνδετα αμμοχάλικα και οι ασφαλτικές στρώσεις. Η στρώση έδρασης αποτελείται από το φυσικό έδαφος το οποίο είναι συμπυκνωμένο κατά ελάχιστο ή κατάλληλα διαμορφωμένο. Τα υλικά και το πάχος συμπύκνωσης θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αντέχουν στις διάφορες εναλλαγές θερμοκρασίας και υγρασίας της περιοχής. Η υπόβαση, εκτός από την παροχή δομικής στήριξης, μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως πλατφόρμα για την κατασκευή της βάσης και την αποτροπή εισχώρησης λεπτόκοκκων υλικών από τη στρώση έδρασης στη στρώση βάσης. Η στρώση βάσης βοηθάει στην κατανομή των φορτίων στο έδαφος, αυξάνει την φέρουσα ικανότητα, παρέχει προστασία από τον παγετό και συντελεί στην αποστράγγιση.

Οι ασφαλτικές στρώσεις αποτελούνται από τη στρώση βάσης, την ισοπεδωτική στρώση και την επιφανειακή στρώση η οποία είναι συνήθως αντιολισθηρή. Η

ασφαλτική βάση αποτελεί το βασικό δομικό σκελετό ενός οδοστρώματος καθώς αναλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της ασκούμενης πίεσης, την απομειώνει σημαντικά και την κατανέμει, με στόχο την προστασία της στρώσης έδρασης από υπερβολική καταπόνηση.

Η ισοπεδωτική στρώση τοποθετείται μεταξύ της βασικής στρώσης (υποβάθρου) και της τελικής στρώσης ασφάλτου. Ο σκοπός της ισοπεδωτικής στρώσης είναι να εξομαλύνει τις ανωμαλίες της επιφάνειας της βασικής στρώσης και να δημιουργεί μια ομαλή και σταθερή βάση για την τοποθέτηση της τελικής ασφάλτου.

Η επιφανειακή στρώση δέχεται άμεσα το σύνολο των πιέσεων που αναπτύσσονται στην περιοχή του τροχού και του οδοστρώματος. Εξαιτίας του μικρού πάχους της , μεταβιβάζει τις πιέσεις που δέχεται χωρίς μείωση αυτών στην βάση. Η στρώση κυκλοφορίας πρέπει να έχει επιφάνεια κύλισης ομαλή και ανθεκτική σε επιφανειακές φθορές.

Με τον όρο σχεδιασμός ή διαστασιολόγηση οδοστρώματος νοείται ο προσδιορισμός των υλικών και των παχών των επιμέρους στρώσεων, για δεδομένη κυκλοφορία (κυκλοφορία σχεδιασμού) και περιβαλλοντικές συνθήκες. Η κυκλοφορία σχεδιασμού αφορά στο μέγεθος των αξονικών φορτίων των βαρέων οχημάτων, τη διάταξη των αξόνων, την κατανομή των βαρέων οχημάτων στη λωρίδα σχεδιασμού και την εγκάρσια κίνηση τους εντός της λωρίδας. Η μεταβολή στη θεώρηση οποιασδήποτε παραμέτρου έχει σαν αποτέλεσμα διαφορετική απόκριση και κατ' επέκταση συμπεριφορά του οδοστρώματος.

3 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

3.1 Γενικά

Στις μέρες μας η τεχνολογία έχει εισέλθει σε μεγάλο βαθμό στα οχήματα. Τα σύγχρονα οχήματα εξοπλίζονται με διάφορα συστήματα αυτοματισμού με σκοπό την διευκόλυνση του οδηγού, την μεγαλύτερη ασφάλεια μέσα στο οδικό δίκτυο, την εξοικονόμηση καυσίμου, την μείωση εκπομπής ρύπων και πολλά άλλα. Προβλέπεται πως η τεχνολογία της αυτοματοποιημένης οδήγησης θα αλλάξει τα δεδομένα που γνωρίζαμε τόσο για τον χρήστη όσο και για τα οχήματα. Αρκετές πολιτείες και η ομοσπονδιακή κυβέρνηση στις ΗΠΑ έχουν προχωρήσει στην θέσπιση κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών για την προετοιμασία εισαγωγής αυτόνομων οχημάτων και τείνει να εξαπλώνεται σε όλο τον κόσμο. Στα νέα οχήματα έχουν κάνει την εμφάνιση τους διάφορες λειτουργίες αυτοματισμού οι οποίες βέβαια είναι σε αρχικό στάδιο. Το αυτοματοποιημένο σύστημα στάθμευσης κινείται προς την κατεύθυνση προώθησης της νέας γενιάς οχημάτων στον κλάδο των μεταφορών και οι αυτοκινητοβιομηχανίες προχωράνε με γρήγορους ρυθμούς ως προς την επίτευξη της πλήρους αυτοματοποιημένης οδήγησης. Ταξινόμηση αυτόνομων οχημάτων

Τα αυτόνομα οχήματα ταξινομούνται σε διάφορα επίπεδα ανάλογα την αυτονομία την οποία παρέχουν . Πιο συγκεκριμένα τα επίπεδα είναι 5. Τα επίπεδα 1-3 απαιτούν αδειοδοτημένο οδηγό, αλλά τα επίπεδα 4 και 5 επιτρέπουν τη λειτουργία χωρίς οδηγό, η οποία είναι απαραίτητη για πολλά προβλεπόμενα οφέλη. Αυτός ο διαχωρισμός έχει προκύψει από τον Σύλλογο μηχανικών Αυτοκινήτων και παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.

	Human Driver	Automated Systems	Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback When Automation Fails	Automated System is in Control	SAE level	NHTSA level
Human Driver Monitors the Driving Environment	0	NO AUTOMATION				n/a	Driver/Only	0
	1	DRIVER ASSISTANCE				Some Driving Modes	Assisted	1
	2	PARTIAL AUTOMATION				Some Driving Modes	Partially Automated	2
Automated Driving System Monitors the Driving Environment	3	CONDITIONAL AUTOMATION				Some Driving Modes	Highly Automated	3
	4	HIGH AUTOMATION				Some Driving Modes	Pfully Automated	3/4
	5	FULL AUTOMATION					

Το SAE ορίζει πέντε επίπεδα αυτοματισμού οχημάτων. Τα περισσότερα προβλεπόμενα οφέλη απαιτούν επίπεδα 4 ή 5.

Εικόνα 2 Ταξινόμηση αυτόνομων οχημάτων

- Επίπεδο αυτονομίας 0. Δεν υπάρχουν έλεγχοι αυτόνομου οχήματος συνεπώς ο οδηγός έχει την αποκλειστική χρήση του οχήματος
- Επίπεδο αυτονομίας 1. Οι άνθρωποι οδηγοί ελέγχουν κρίσιμες εργασίες οδήγησης και μπορεί να πάρει μικρές τεχνολογικές υποβοηθήσεις για παράδειγμα έλεγχο επιβράδυνσης , cruise control , και διόρθωση λωρίδας
- Επίπεδο αυτονομίας 2. Το όχημα αναλαμβάνει τις δυνατότητες διεύθυνσης και επιτάχυνσης/ επιβράδυνσης σε επιλεγμένα σενάρια. πως εξακολουθεί ο άνθρωπος να έχει τον έλεγχο του οχήματος ανά πάσα στιγμή
- Επίπεδο αυτονομίας 3. Το όχημα ελέγχει με ασφάλεια όλες τις πτυχές της οδήγησης σε χαρτογραφημένο περιβάλλον , οπότε ο οδηγός θα πρέπει να παρακολουθεί και να διαχειρίζεται τις αλλαγές στο οδικό περιβάλλον
- Επίπεδο αυτονομίας 4. Δεν απαιτείται αλληλεπίδραση του οδηγού, ωστόσο μπορεί να ακινητοποιήσει το όχημα εάν τα συστήματα αποτύχουν. Το όχημα περιλαμβάνει λειτουργικές συσκευές οδήγησης όπως τροχοί, φρένα και πεντάλ γκαζιού
- Επίπεδο αυτονομίας 5. Εντελώς αυτόνομο. Δεν απαιτείται καμία συμμετοχή ή παρέμβαση του οδηγού.

3.2 Πλεονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων

Η χρήση των αυτόνομων οχημάτων αναμένεται να αποφέρει πολλαπλά οφέλη. Οι οδηγοί θα έχουν την δυνατότητα να ξεκουράζονται μέσα στο όχημα, να έχουν μειωμένο άγχος, κούραση και φυσικά να είναι πιο παραγωγικοί. Επίσης τα αυτόνομα οχήματα στοχεύουν στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, αφού δεν θα υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις στην επιτάχυνση και φυσικά στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αυτό θα επιτυγχάνεται, διότι όλα τα αυτόνομα οχήματα θα κινούνται κατά τον ίδιο τρόπο. Επιπροσθέτως με την μείωση κατανάλωσης καυσίμου επιτυγχάνεται και μειωμένη εκπομπή ρύπων κάτι το οποίο ωφελεί το περιβάλλον. Ο άνθρωπος ξοδεύει πολύ χρόνο για τις μετακινήσεις του και φυσικά ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό ατυχημάτων. Τα αυτόνομα οχήματα έχουν ως στόχο την μείωση του ανθρώπινου λάθους. Ο άνθρωπος μπορεί να αποσπάσει την προσοχή του χαζεύοντας έξω από το παράθυρο, να μιλάει στο κινητό, να είναι υπό την επήρεια αλκοόλ ή και να παραβιάσει μέχρι και τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Επίσης μπορούν να παρέχουν ανεξάρτητη κινητικότητα για μη οδηγούς, συμπεριλαμβανομένων ατόμων με αναπηρίες, εφήβων και άλλων ή που για οποιονδήποτε λόγο δεν μπορούν ή δεν πρέπει να οδηγούν. Αυτό ωφελεί άμεσα αυτούς τους χρήστες, μειώνει το βάρος του οδηγού για τα μέλη της οικογένειας και τους φίλους τους και βελτιώνει την πρόσβασή τους σε ευκαιρίες εκπαίδευσης και απασχόλησης, αυξάνοντας την οικονομική παραγωγικότητά τους.

3.3 Μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων

Τα αυτόνομα οχήματα απαιτούν εξειδικευμένο τεχνολογικό εξοπλισμό και υπηρεσίες. Τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση τις αγοραίας αξίας αυτών των οχημάτων και των ετήσιων τελών. Για παράδειγμα, ένα πακέτο προαιρετικών ηλεκτρονικών λειτουργιών, όπως απομακρυσμένη εκκίνηση, υποβοήθηση μεγάλης

σκάλας, ενεργή υποβοήθηση λωρίδας, προσαρμοζόμενο cruise control και κάμερα κορυφαίας προβολής συνήθως αυξάνει τις τιμές των νέων οχημάτων. Τα αυτόνομα συστήματα οδήγησης θα χρειαστούν στιβαρά, πλεονάζοντα και ανθεκτικά εξαρτήματα που συντηρούνται από ειδικούς, παρόμοια με τα πρότυπα αεροπορικών υπηρεσιών, αυξάνοντας περαιτέρω το κόστος. Κάποια από τα σενάρια τα οποία φοβίζονται οι ερευνητές είναι οι αποτυχίες του υλικού και του λογισμικού. Τα πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα συχνά αποτυγχάνουν, και ακόμη και οι βλάβες του λειτουργικού συστήματος μικρών οχημάτων-ψευδής αισθητήρας, παραμορφωμένο σήμα ή σφάλμα λογισμικού-μπορεί να έχουν καταστροφικά αποτελέσματα. Τα αυτόνομα οχήματα θα έχουν σίγουρα αστοχίες που συμβάλλουν σε συγκρούσεις. Ένας φόβος ο οποίος υπάρχει και σε άλλους κλάδους είναι το κακόβουλο hacking. Οι τεχνολογίες αυτόνομης οδήγησης μπορούν να χειραγωγηθούν για διασκέδαση ή έγκλημα. Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην αντισταθμιστική συμπεριφορά ή αποζημίωση κινδύνου. Για παράδειγμα, εάν τα αυτόνομα οχήματα θεωρούνται πολύ ασφαλή, οι επιβάτες μπορεί να μειώσουν τη χρήση ζώνης ασφαλείας και άλλοι χρήστες του δρόμου μπορεί να είναι λιγότερο προσεκτικοί, που περιγράφεται ως αίσθημα «υπερβολικής εμπιστοσύνης». Πολλά πιθανά οφέλη, όπως η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των εκπομπών ρύπανσης, απαιτούν το σχηματισμό φαλάγγων (οχήματα που λειτουργούν κοντά το ένα στο άλλο με υψηλές ταχύτητες σε ειδικές λωρίδες), γεγονός που μπορεί να εισαγάγει νέους κινδύνους, όπως η συμμετοχή μη αυτόνομων οχημάτων σε φάλαγγες και η αυξημένη σοβαρότητα των συγκρούσεων. Με τη βελτίωση της ευκολίας και της άνεσης, τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να αυξήσουν τη συνολική μετακίνηση του οχήματος και, ως εκ τούτου, την έκθεση σε σύγκρουση. Παραμένουν περίπλοκα ζητήματα σχετικά με τη νομοθεσία, την ευθύνη, την προστασία της ιδιωτικής ζωής, την αδειοδότηση, την ασφάλεια και τη ρύθμιση της ασφάλισης. Παρόλο που τα οχήματα μπορούν τώρα να λειτουργούν αυτόνομα υπό ορισμένες συνθήκες, πολλά τεχνικά προβλήματα πρέπει να επιλυθούν προτού μπορέσουν να λειτουργήσουν αυτόνομα σε όλες τις συνθήκες – συμπεριλαμβανομένων των ακραίων καιρικών συνθηκών, των μη ασφαλοστρωμένων δρόμων και κατά τη διάρκεια διακοπών ασύρματων υπηρεσιών - και αυτά τα οχήματα πρέπει να δοκιμαστούν, να εγκριθούν για γενική εμπορική πώληση, προσιτά στους περισσότερους ταξιδιώτες και ελκυστικά για τους καταναλωτές.

4 ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΡΟΧΟΥ

4.1 Γενικά

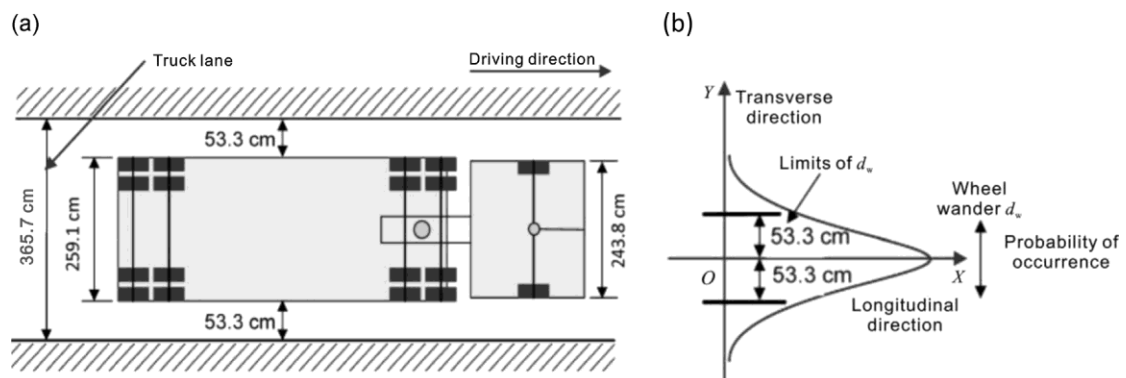
Τα αυτόνομα οχήματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν ενταχθεί στην κυκλοφοριακή σύνθεση κατά κύριο λόγο στο στάδιο αυτονομίας ένα και δύο. Τα υπόλοιπα οχήματα τα οποία βρίσκονται στο στάδιο τρία και τέσσερα μένει να δοκιμαστούν και να ωριμάσουν στο κοντινό μέλλον. Αυτό όμως θα επηρεάσει άμεσα την υφιστάμενη οδική υποδομή. Τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να έχουν διαφορετική οδηγική συμπεριφορά σε σύγκριση με τα μη αυτόνομα οχήματα. Αυτό συμβαίνει διότι τα μη αυτόνομα οχήματα έχουν διαφορετική επιλογή λωρίδας και φυσικά πλευρικής κατανομής σε σχέση με τα αυτόνομα τα οποία θα συλλέγουν πληροφορίες και θα μπορούν να τοποθετούνται με παρόμοιο τρόπο στο κέντρο της λωρίδας. Η εγκάρσια (πλευρική) μετατόπιση των τροχών ορίζεται ως η κατανομή της πλευρικής θέσης των τροχών εντός της λωρίδας. Δεν είναι ντετερμινιστική τιμή και επομένως θα πρέπει να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας πιθανοτικές προσεγγίσεις. Διάφορες μέθοδοι μέτρησης εγκάρσιας μετατόπισης τροχών έχουν υιοθετηθεί για την μέτρηση της πλευρικής θέσης των οχημάτων στο πεδίο: χειροκίνητη έρευνα, επεξεργασία βίντεο και επιτόπου μετρήσεις. Η πλευρική θέση του τροχού ενός μη αυτόνομου οχήματος εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας, ακολουθώντας μια στατιστική κατανομή. Στην πράξη οι τροχοί κατανέμονται πλευρικά κατά μήκος σύμφωνα με ένα πρότυπο κατανομής συχνότητας. Οι Blab και Litzka (1995) ανέπτυξαν ένα σύστημα οδικών οργάνων προκειμένου να μελετήσουν την πλευρική θέση των οχημάτων. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος της πλευρικής μετατόπισης εξαρτάται κυρίως από το πλάτος της λωρίδας, το πλάτος του οχήματος και την ταχύτητα του οχήματος. Επιπλέον, (1995) διαπίστωσαν ότι η πλευρική μετατόπιση ακολουθεί μια κατανομή Laplace, ενώ οι Timm (1996), Erps et al. (2002), Stempihar et al. (2005), Timm and Priest (2005) έδειξαν ότι η μετατόπιση των τροχών των αυτόνομων οχημάτων μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά από μια κανονική κατανομή γύρω από την κεντρική γραμμή της λωρίδας με μηδενικό μέσο όρο και γνωστή τυπική απόκλιση (Εικόνα3). Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται στην Εξίσωση 1.

$$f(dw) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \right) \exp\left\{ -\frac{(dw-\mu)^2}{(2\sigma)^2} \right\} \quad (1)$$

- Όπου $f(dw)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας
- m είναι ο μέσος όρος ίσος με το 0
- dw είναι η μετατόπιση του τροχού
- σ είναι η τυπική απόκλιση

Η τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής σχετίζεται με την μετατόπιση του τροχού και κυμαίνεται από 8 έως 24 ίντσες (όπου 1 ίντσα = 2,54 εκατοστά). Αυτός ο τρόπος κίνησης των μη αυτόνομων οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την βραδύτερη ανάπτυξη

φθορών στα εύκαμπτα οδοστρώματα, διότι δεν συγκεντρώνονται τα φορτία σε μία μόνο διαδρομή τροχού. Αντιθέτως διανέμεται κατά μήκος του πλάτους της λωρίδας .

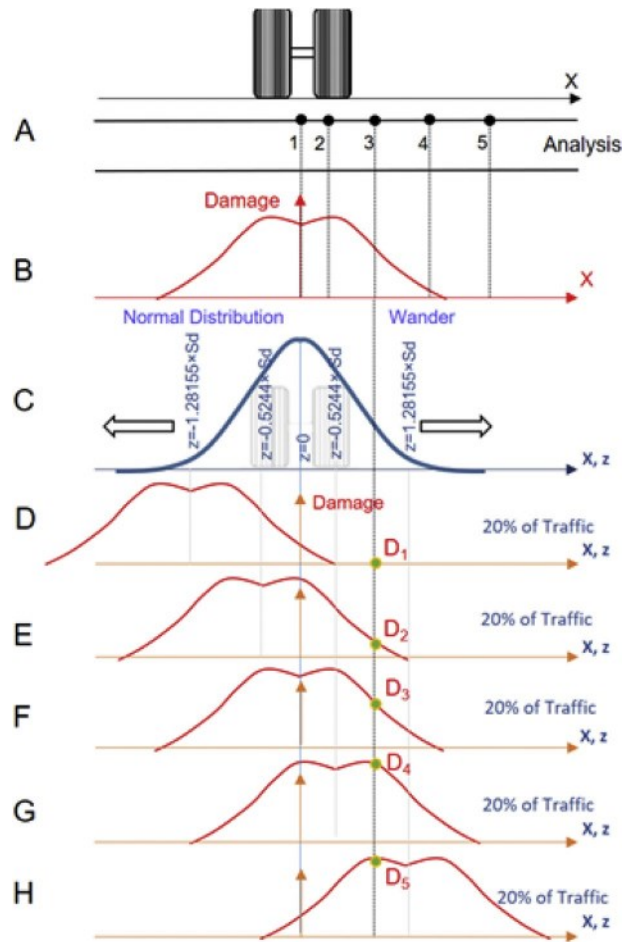


Εικόνα 3 Κανονική κατανομή πλευρικής μετατόπισης τροχού

Οι αναλυτικές μέθοδοι σχεδιασμού οδοστρώματος ενσωματώνουν την επίδραση της πλευρικής μετατόπισης των τροχών αναπτύσσοντας διάφορες διαδικασίες. Για παράδειγμα, ο CROW (2002) ανέπτυξε μια διαδικασία για να εξηγήσει το μηχανισμό υπολογίζοντας πρώτα την ακτίνα σχετικής ακαμψίας ως συνάρτηση του συντελεστή ακαμψίας και του λόγου Poisson της ασφαλτικής στρώσης και των υποκειμένων. Η πλευρική μετατόπιση που θα προκύψει καθορίζεται γραφικά με βάση το πλάτος της λωρίδας. Αυτός ο αριθμός σε συνδυασμό με την ακτίνα σχετικής ακαμψίας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ενός διορθωτικού συντελεστή για το σχεδιασμό του οδοστρώματος (επιτρεπόμενες επαναλήψεις κυκλοφορίας) λόγω πλευρικής μετατόπισης.

Μερικά χρόνια αργότερα, αναπτύχθηκε μια άλλη προσέγγιση στο πλαίσιο του Μηχανιστικού-Εμπειρικού Οδηγού Σχεδιασμού Οδοστρώματος (MEPDG) για την ενσωμάτωση της πλευρικής μετατόπισης του τροχού με στόχο τη βελτιστοποίηση της διατομής του οδοστρώματος (NCHRP, 2004). Ακολουθώντας αυτή την προσέγγιση, η φθορά λόγω πλευρικής μετατόπισης ορίζεται χρησιμοποιώντας 5 σημεία .

Το πεδίο A δείχνει τη δομή του οδοστρώματος το οποίο φορτίζεται με διπλό τροχό κεντραρισμένο στη θέση 1. Το διάγραμμα B δείχνει το πραγματικό προφίλ φθοράς για μηδενική τιμή πλευρικής μετατόπισης, της οποίας η μέγιστη τιμή καθορίζει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Το διάγραμμα C δείχνει την κατανομή πλευρικής μετατόπισης που θεωρείται ότι κατανέμεται κανονικά. Σε αυτό το διάγραμμα, η περιοχή κάτω από την καμπύλη χωρίζεται σε πέντε πεμπτημόρια, όπου το καθένα αντιπροσωπεύει το 20% της συνολικής κυκλοφορίας. Για κάθε μία από αυτές τις περιοχές, φαίνεται η φθορά του οδοστρώματος στο σημείο 3, όταν η κυκλοφορία κατανέμεται στα κανονικά.



Εικόνα 4 MEPDG αναλυτική προσέγγιση για την εξέταση πλευρικής μετατόπισης των τροχών(NCHRP, 2004).

Η συνολική φθορά υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 2.

$$D = 0.2D_1 + 0.2D_2 + 0.2D_3 + 0.2D_4 + 0.2D_5 = 0.2 \sum_{i=1}^5 D_i \quad (2)$$

- όπου D είναι η μέση ζημιά λόγω περιπλάνησης τροχού
- D_i ζημιά κόπωσης που υπολογίζεται στην i th θέση

Το Υπουργείο Μεταφορών της Καλιφόρνια (CALTRANS) έχει αναπτύξει ένα πρόγραμμα (CalME) για την ανάλυση και το σχεδιασμό νέων και αποκατεστημένων οδοστρωμάτων (Ullidtz and Basheer, 2014). Για την εξέταση της πλευρικής μετατόπισης των τροχών, οι τάσεις και οι παραμορφώσεις υπολογίζονται σε 10 θέσεις για κάθε φορτίο άξονα. Η πλευρική μετατόπιση του τροχού θεωρείται ότι ακολουθεί μια κανονική κατανομή, βάσει της οποίας καθορίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων φόρτισης σε κάθε θέση.

4.2 Επίδραση της πλευρικής μετατόπισης τροχού στα οδοστρώματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αυτόνομα οχήματα έχουν την δυνατότητα να διατηρούν την πλευρική τους θέση κοντά στην κεντρική γραμμή με αποτέλεσμα περίπου μηδενική μετατόπιση τροχού. Επομένως, η εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων στο στόλο οχημάτων θα επηρεάσει τη συμπεριφορά του οδοστρώματος και ιδιαίτερα των ασφαλτικών στρώσεων. Η συγκέντρωση φορτίου εντός μιας στενής περιοχής διέλευσης του τροχού θα έχει σαν συνέπεια μεγαλύτερη επιπόνηση του οδοστρώματος και κατά επέκταση επιταχυνόμενη συσσώρευση φθορών μακροπρόθεσμα. Ωστόσο, η τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου και ρύθμισης της επιθυμητής πλευρικής θέσης και επομένως μπορούν να οριστούν εναλλακτικές κατανομές πλευρικής κίνησης των οχημάτων πέραν της μηδενικής. Πολλοί ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στις φθορές του οδοστρώματος όταν αυτές προέρχονται είτε από αυλάκωση είτε από ρωγμή κόπωσης λαμβάνοντας υπόψιν τη μηδενική καθώς και άλλες κατανομές πλευρικής μετατόπισης.

Οι Siddharthan et al. (2017) πρότειναν μια προσέγγιση βασισμένη στην προσομοίωση Monte-Carlo. Τα βήματα αυτής της προσέγγισης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής.

- Ανάπτυξη ενός δείγματος 10.000 δοκιμαστικών τιμών της περιπλάνησης τροχού με μηδενική μέση τιμή και τυπική απόκλιση 30.5 εκατοστών. Εξαιρούνται τιμές πέραν του εύρους +53,3 εκατοστών και - 53,3 εκατοστών που είναι η πλευρική κίνηση ενός φορτηγού 18 τροχών με ρυμουλκούμενου οχήματος πλάτους 259,1 εκατοστών που κινείται σε λωρίδα πλάτους 365,8 εκατοστών .
- Υπολογισμός των κρίσιμων αποκρίσεων οδοστρώματος για τις παραπάνω συνθήκες .
- Ανάπτυξη συναρτήσεων αθροιστικής κατανομής (CDF) για κάθε μια από τις κρίσιμες αποκρίσεις .
- Διαίρεση των CDF σε ένα αριθμό ίσων τμημάτων (συγκεκριμένες πιθανότητες) και εξαγωγή των αποκρίσεων .
- Εισαγωγή αυτών των αποκρίσεων στους νόμους κόπωσης/αστοχίας .

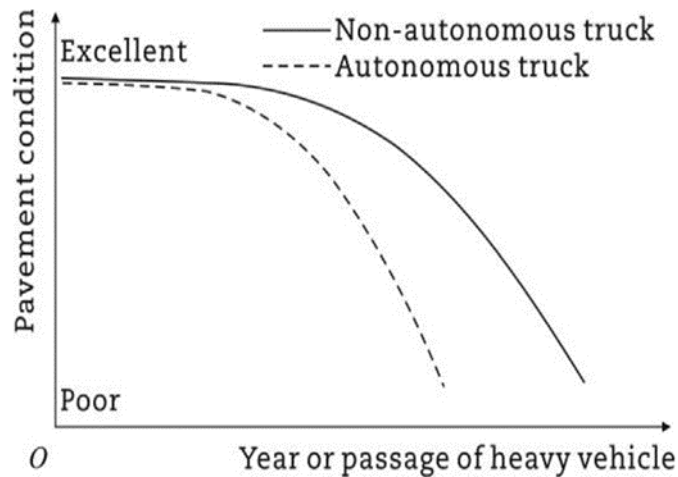
Τα αποτελέσματα της προσέγγισης μας δείχνουν πως η αύξηση των ρωγμών λόγω κόπωσης N_f , που προβλεπόταν από μεθόδους που περιλάμβαναν την περιπλάνηση των τροχών κυμαινόταν μεταξύ 63 % και 250 %.

Επιπλέον, ο Xu (2017) ανέπτυξε μια μεθοδολογία για την ενσωμάτωση της πλευρικής μετατόπισης στη διαδικασία σχεδιασμού οδοστρώματος. Η κατανομή της θέσης του τροχού κατά μήκος της εγκάρσιας κατεύθυνσης θεωρήθηκε ότι είναι κατανομή Laplace. Υπολόγισε τις παραμέτρους κατανομής για δύο είδη ελαστικών που αναφέρονται στην ολλανδική μέθοδο σχεδιασμού. Ο Xu (2017) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πλευρική μετατόπιση των τροχών έχει σημαντική θετική επίδραση στην απόδοση του οδοστρώματος. Προωθώντας μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων και των καταπονήσεων, η πλευρική μετατόπιση των τροχών βοηθά στην παράταση της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος και στη μείωση της αυλάκωσης. Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της συμπερίληψης ρεαλιστικών μοτίβων

πλευρικής μετατόπισης τροχών στο σχεδιασμό και την ανάλυση οδοστρωμάτων για την επίτευξη πιο ανθεκτικών και οικονομικά αποδοτικών οδοστρωμάτων. Η πλευρική περιοχή μετατόπισης προσδιορίστηκε και χωρίστηκε σε διάφορες λωρίδες με ορισμένο πλάτος. Το τελευταίο βήμα ήταν να υπολογιστεί ένας διορθωτικός συντελεστής που ορίστηκε ως ο λόγος της ζημίας όταν συμβαίνει πλευρική μετατόπιση προς τον συντελεστή ζημίας που αντιστοιχεί σε μηδενική πλευρική μετατόπιση.

Οι Noorvand et al. (2017) διερεύνησαν τα οχήματα ως προς την πλευρική μετατόπιση και τον εντοπισμό θέσης των αυτόνομων φορτηγών και την επίδραση την οποία έχουν στα οδοστρώματα. Ανέπτυξαν μια μεθοδολογία για να προσομοιάσουν την ομοιόμορφη κατανομή πλευρικής μετατόπισης των τροχών των φορτηγών. Οι συντελεστές ισοδυναμίας που αναπτύχθηκαν ορίστηκαν ως ο λόγος των επαναλήψεων προς την αστοχία στην περίπτωση αναφοράς πλευρικής μετατόπισης τροχού κανονικής κατανομής προς την ομοιόμορφη κατανομή ή μηδενικής πλευρικής μετατόπισης προς την ομοιόμορφη ή μηδενικής πλευρικής μετατόπισης κατανομής. Αυτοί οι συντελεστές χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια για τον υπολογισμό της κυκλοφορίας. Οι Noorvand et al. (2017) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πλευρική μετατόπιση των τροχών στο σχεδιασμό οδοστρωμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων της διάρκειας ζωής λόγω κόπωσης και για το σχεδιασμό πιο ανθεκτικών ασφαλικών οδοστρωμάτων, τονίζοντας τη σημασία της ενσωμάτωσης ρεαλιστικών συνθηκών φόρτισης στην ανάλυση οδοστρώματος.

Οι Gungor και Al-Qadi (2020) ανέπτυξαν ένα πλαίσιο σχεδιασμού οδοστρωμάτων για αυτόνομα και συνδεδεμένα φορτηγά, που ονομάζεται Wander 2D. Ο στόχος ήταν να προσδιοριστεί η φθορά του οδοστρώματος ως συνάρτηση της πλευρικής θέσης φόρτισης. Επομένως, η πλευρική μετατόπιση των τροχών θεωρείται ως η μετατόπιση της συνάρτησης που αντιπροσωπεύει την επιλεγμένη παράμετρο φθοράς. Για τη μοντελοποίηση της πλευρικής μετατόπισης των τροχών, επέλεξαν την περικομμένη κανονική κατανομή και παρουσίασαν ένα αριθμητικό παράδειγμα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε εντός του πλαισίου φθοράς του MEPDG. Η μηδενική πλευρική μετατόπιση των τροχών από τα αυτόνομα οχήματα δεν έχει μόνο αρνητικές επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής σχεδιασμού των νέων οδοστρωμάτων (Εικόνα 5) σε σύγκριση με την κοινώς αποδεκτή κανονική κατανομή των μη αυτόνομων οχημάτων, αλλά και στην ασφάλεια των χρηστών του οδικού δικτύου. Οι Gungor και Al-Qadi (2020) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πλευρική μετατόπιση των τροχών ενισχύει σημαντικά τη συμπεριφορά και τη μακροζωία των εύκαμπτων οδοστρωμάτων προωθώντας μια πιο ομοιόμορφη κατανομή τάσης και καταπόνησης. Αυτή η βελτίωση υπογραμμίζει την ανάγκη να εξεταστεί η πλευρική μετατόπιση των τροχών στο σχεδιασμό και την ανάλυση του οδοστρώματος για την επίτευξη πιο ανθεκτικής υποδομής.



Εικόνα 5 Η επίδραση της μηδενικής πλευρικής μετατόπισης των αυτόνομων φορτηγών στη διάρκεια ζωής του σχεδιασμού του οδοστρώματος

Αυτό επιβεβαιώθηκε πειραματικά από τους Steyn και Fisher (2008), οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μετάβαση σε μια πιο περιορισμένη περιοχή εφαρμογής του φορτίου μπορεί να επηρεάσει την αναμενόμενη διάρκεια ζωής των οδοστρώματων. Ως εκ τούτου, απαιτούνται πόροι για την αποκατάσταση του οδοστρώματος (Fwa κ.ά., 2016; Perraton κ.ά., 2011; Wu κ.ά., 2017; Yin κ.ά., 2008).

Αρκετές μελέτες σχετικά με τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων λόγω της συγκέντρωσης των οχημάτων σε περιορισμένο εύρος εντός της λωρίδας έχουν κερδίσει μεγάλη προσοχή (Ariecn et al., 2017; Retting κ.ά., 2000). Το αποτέλεσμα αυτών των μελετών ήταν η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την ανακατανομή των οχημάτων μέσω οπτικής σήμανσης στο οδόστρωμα. Η μετατόπιση της διαδρομής των οχημάτων είχε ως αποτέλεσμα τη διεύρυνση της περιοχής συγκέντρωσης φορτίου και, κατά συνέπεια, την παράταση της διάρκειας ζωής του σχεδιασμού του οδοστρώματος κατά 16%-31%.

Εν ολίγοις, οι τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες σηματοδοτούν την αναγνώριση ότι η μετατόπιση των τροχών των αυτόνομων οχημάτων, και πιο συγκεκριμένα των φορτηγών, είναι υψίστης σημασίας όσον αφορά στον σχεδιασμό του οδοστρώματος. Είναι ένα παραμετρικό ζήτημα που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση, προκειμένου να ληφθούν τα απαραίτητα προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των νέων προκλήσεων που θα επιβάλει η ευρεία χρήση αυτόνομων φορτηγών στις διαδικασίες σχεδιασμού οδοστρώματων.

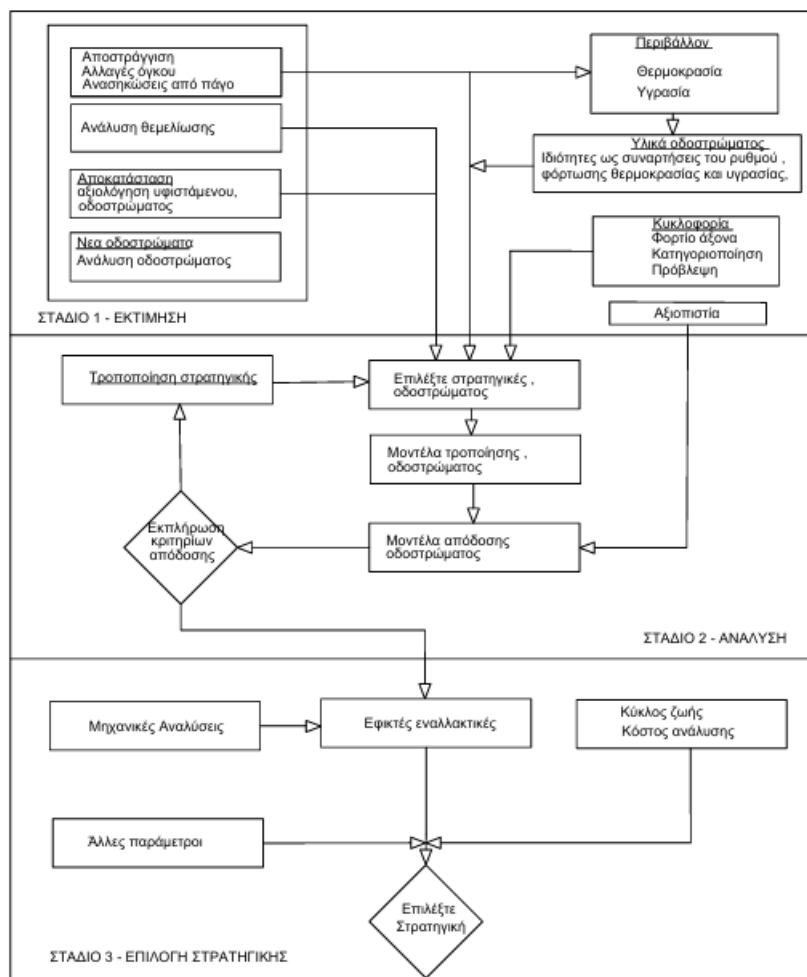
5 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

5.1 Μέθοδος (MEPDG)

Η μηχανιστική-εμπειρική μέθοδος σχεδιασμού των οδοστρωμάτων MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide) αποτελεί ορόσημο στο σχεδιασμό των οδοστρωμάτων. Σε αντίθεση με τις εμπειρικές μεθόδους, περιλαμβάνει πλήθος παραμέτρων για τον προσδιορισμό της κυκλοφορίας σχεδιασμού, των περιβαλλοντικών συνθηκών και των χαρακτηρισμό των υλικών. Οι τάσεις και οι παραμορφώσεις προσδιορίζονται μέσω μηχανιστικών μεθόδων, ενώ οι αναμενόμενες φθορές προσδιορίζονται μέσω εξισώσεων και βασίζονται σε εμπειρικές παρατηρήσεις. Η MEPDG ολοκληρώθηκε σαν μέθοδος όταν αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα της LTPP (Long Term Pavement Performance) δηλαδή της μακροπρόθεσμης συμπεριφοράς οδοστρωμάτων. Η LTPP ολοκλήρωσε την μέθοδο MEPDG , διότι της παρείχε τέτοια μακροπρόθεσμα δεδομένα για πολλά τμήματα οδοστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην βαθμονόμηση. Ο μηχανιστικός εμπειρικός οδηγός σχεδιασμού για νέα και αποκατεστημένα οδοστρώματα παρέχει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό των κοινών χαρακτηριστικών όλων των τύπων οδοστρώματος. Επιπροσθέτως έχει την δυνατότητα αξιολόγησης υφιστάμενων οδών, αλλά το πιο αξιοσημείωτο είναι πως το έχει την ιδιότητα να παρέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση για την πρόβλεψη της κατάστασης του οδοστρώματος με την πάροδο του χρόνου. Η ανάλυση των εύκαμπτων οδοστρωμάτων αποσκοπεί στον προσδιορισμό των ρωγμών λόγω κόπωσης, του βάθους αυλάκωσης και των κατά μήκος ρηγματώσεων, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση της κυκλοφορίας, των περιβαλλοντικών συνθηκών και των υλικών των οδοστρωμάτων.

5.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού

Η διαδικασία της μεθόδου MEPDG χωρίζεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο εισάγονται τα δεδομένα, όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η ανάλυση του οδοστρώματος μέσω αναλυτικών / μηχανιστικών μεθόδων για τον υπολογισμό των αναπτυσσόμενων τάσεων και παραμορφώσεων. Επιλέγεται ένα δοκιμαστικό τμήμα του οποίου αναλύεται η απόκριση / συμπεριφορά σταδιακά με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας τα μοντέλα απόκρισης οδοστρώματος. Τέλος το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την αξιολόγηση των βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων. Στην Εικόνα 6 φαίνονται τα στάδια της σχεδιαστικής προσέγγισης.



Εικόνα 6 Τα στάδια της διαδικασίας MEPDG

Το τελικό προϊόν είναι ο προσδιορισμός των φθορών (δείκτες συμπεριφοράς) μέσω διαφόρων συνδυασμών αξονικών φορτίων, θέσης τροχού, και τύπου άξονα για όλο το χρονικό διάστημα της ανάλυσης. Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, οι δείκτες συμπεριφοράς είναι κατά μήκος ρωγμές (επιφανειακές προς τα κάτω), ρωγμές αλιγάτορα (από κάτω προς τα πάνω), εγκάρσιες ρωγμές (θερμική θραύση) και αυλακώσεις. Η αυλάκωση αναφέρεται στην κατακόρυφη παραμόρφωση που εμφανίζεται σε προκαθορισμένα βάθη σε όλο το σύστημα του οδοστρώματος. Οι αλιγατορικές ρηγματώσεις οφείλονται σε κόπωση του ασφαλτομίγματος. Η επαναλαμβανόμενη φόρτιση προκαλεί ρωγμές που ξεκινούν από τον πυθμένα της ασφατικής βάσης και διαδίδονται στο σώμα του μέχρι την επιφάνεια. Η πρόωρη αστοχία λόγω κόπωσης μπορεί να οφείλεται σε υψηλότερα φορτία τροχών και πιέσεις ελαστικών, ανεπαρκές πάχος ασφατικών στρώσεων για το προβλεπόμενο μέγεθος και τις επαναλήψεις της φόρτισης ή αστοχίες λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία και προβλήματα συμπύκνωσης (NCHRP, 2004). Οι αλιγατορικές ρηγματώσεις εκφράζονται ως το ρηγματωμένο ποσοστό επί της συνολικής επιφάνειας λωρίδας στο MEPDG.

Και για τους δύο τύπους ρωγμών (κατά μήκος και αλιγατορικές), ο υπολογισμός του επιτρεπόμενου αριθμού αξονικών διελεύσεων επιτυγχάνεται με χρήση της εξίσωσης (5.1)

$$N_{f-HMA} = k_{f1}(C)(CH)\beta_{f1}(\epsilon t)^{k_{f2}\beta_{f2}}(EHMA)^{k_{f3}\beta_{f3}} \quad (5.1)$$

Όπου:

N_{f-HMA} = Επιτρεπόμενος αριθμός επαναλήψεων φορτίου άξονα για εύκαμπτο οδόστρωμα

ϵt = Εφελκυστική παραμόρφωση σε κρίσιμες θέσεις και υπολογιζόμενη από το μοντέλο δομικής απόκρισης in/in

E_{HMA} = Δυναμικό μέτρο του HMA μετρούμενο σε συμπίεση psi

k_{f1} , k_{f2} , k_{f3} = Παράμετροι βαθμονόμησης (από την επαναβαθμονόμηση NCHRP 1-40D, $k_{f1}=0.007566$, $k_{f2}=-3.9492$ και $k_{f3}=-1.281$)

β_{f1} , β_{f2} , β_{f3} = Σταθερές βαθμονόμησης. Για την παγκόσμια βαθμονόμηση, αυτές οι σταθερές ορίστηκαν σε 1,0.

$$C = 10^M \quad (5.2)$$

$$M = 4.84 \left(\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right) \quad (5.3)$$

Όπου:

V_{be} = Ενεργό ποσοστό ασφάλτου κατ 'όγκο

V_a = Ποσοστό κενών αέρα στο ασφαλτόμιγμα

CH = Συντελεστής διόρθωσης πάχους, ανάλογα με τον τύπο ρωγμών

Για ρωγμές αλιγάτορα (από κάτω προς τα επάνω) ισχύει :

$$CH = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49H_{HMA})}}} \quad (5.4)$$

Για κατά μήκος ρωγμές (από πάνω προς τα κάτω) ισχύει :

$$CH = \frac{1}{0.01 + \frac{12.00}{1 + e^{(15.676 - 2.8186H_{HMA})}}} \quad (5.5)$$

Όπου:

H_{HMA} = Συνολικό πάχος ασφαλτικών στρώσεων σε in

Χρησιμοποιώντας τον υπολογισμό για τον επιτρεπόμενο αριθμό διελεύσεων, η MEPDG υπολογίζει έναν δείκτη φθοράς (ΔDI). Η εξίσωση (5.6) δείχνει πώς

υπολογίζεται ο δείκτης φθοράς διαιρώντας τον αναμενόμενο αριθμό επαναλήψεων φορτίου με τον επιτρεπόμενο αριθμό. Ο αθροιστικός δείκτης φθοράς (DI) για τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού του οδοστρώματος υπολογίζεται σε κάθε κρίσιμη θέση.

$$DI = \sum (\Delta DI)_{j,m,l,p,T} = \sum \left(\frac{n}{N_{f-HMA}} \right)_{j,m,l,p,T} \quad (5.6)$$

Όπου:

n = Πραγματικός αριθμός εφαρμογών φορτίου άξονα εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου

j = Διάστημα φορτίου άξονα

m = Τύπος φορτίου άξονα (διαμόρφωση μονού, διαδοχικού, τριών αξόνων, τετραπλού ή ειδικού άξονα)

l = Τύπος φορτηγού σύμφωνα με τις ομάδες ταξινόμησης φορτηγών που περιλαμβάνονται στο MEPDG

p = Μήνας

T = Διάμεση θερμοκρασία για τα πέντε διαστήματα θερμοκρασίας ή πεμπτημόρια που χρησιμοποιούνται για την υποδιαίρεση κάθε μήνα σε βαθμούς F.

Κατόπιν υπολογισμού του αθροιστικού δείκτη φθοράς, οι συναρτήσεις μεταφοράς (transfer functions) χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των δεδομένων είτε σε περιοχή αλιγατορικών ρηγματώσεων χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.7) είτε σε κατά μήκος ρηγματώσεων χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.10)

$$FC_{Bottom} = \left(\frac{1}{60} \right) \left(\frac{C_4}{1 + e^{(c_1 c_1^* + c_2 c_2^* \text{Log}(DI_{Bottom} * 100))}} \right) \quad (5.7)$$

Όπου:

FC_{Bottom} = Περιοχή αλιγατορικών ρηγματώσεων που ξεκινά στον πυθμένα των ασφατικών στρώσεων, % της συνολικής επιφάνειας λωρίδων

DI_{Bottom} = Δείκτης αθροιστικής φθοράς στον πυθμένα των ασφατικών στρώσεων

$C_{1,2,4}$ = Σταθερές παλινδρόμησης συνάρτησης μεταφοράς, $C_4=6,000$, $C_1=1.00$, $C_2=1.00$

$$c_1^* = -2c_2^* \quad (5.8)$$

$$c_2^* = -2.40874 - 39.748(1 + H_{HMA})^{-2.856} \quad (5.9)$$

Όπου:

H_{HMA} = Συνολικό πάχος HMA σε in

$$FC_{TOP} = 10.56 \left(\frac{C_4}{1 + e^{(C_1 - C_2 \text{Log}(DI_{TOP}))}} \right) \quad (5.10)$$

Όπου:

FC_{Top} = Μήκος διαμήκων ρωγμών που ξεκινούν στην κορυφή της ασφαλτικής στρώσης σε ft/mi

DI_{Top} = Δείκτης αθροιστικής φθοράς κοντά στην κορυφή της επιφάνειας της ασφαλτικής στρώσης

$C_{1,2,4}$ = Σταθερές παλινδρόμησης συνάρτησης μεταφοράς, $C_1=7.00$, $C_2=3.5$, $C_4=1,000$

Η διαδικασία υπολογισμού της αυλάκωσης ή της πλαστικής κατακόρυφης παραμόρφωσης στις ασφαλτικές στρώσεις παρουσιάζεται στην εξίσωση (5.11). Η συνολική αυλάκωση είναι απλή άθροιση της μόνιμης κατακόρυφης παραμόρφωσης κάθε στρώσης.

$$\Delta_{P(HMA)} = \epsilon_{p(HMA)} h_{HMA} = \beta_{1r} k_z \epsilon_{r(HMA)} 10^{k_{1r}} n^{k_{2r}} \beta_{2r} T^{k_{3r}} \beta_{3r} \quad (5.11)$$

Όπου:

$\Delta_{P(HMA)}$ = Αθροιστική παραμένουσα ή πλαστική κατακόρυφη παραμόρφωση των ασφαλτικών στρώσεων σε in

$\epsilon_{p(HMA)}$ = Αθροιστική παραμένουσα ή πλαστική αξονική καταπόνηση στην ασφαλτική στρώση σε in/in

$\epsilon_{r(HMA)}$ = Ελαστική παραμόρφωση υπολογιζόμενη από το μοντέλο δομικής απόκρισης στο μέσο βάθος κάθε υποστρώματος HMA σε in/in

h_{HMA} = Πάχος των ασφαλτικών στρώσεων σε in

n = αριθμός επαναλήψεων φορτίου άξονα

T = Θερμοκρασία μείγματος ή οδοστρώματος σε βαθμούς F

k_z = συντελεστής περιορισμού βάθους,

k_1, k_2, k_3 = παγκόσμιοι παράμετροι βαθμονόμησης (από την επαναβαθμονόμηση NCHRP 1-40D, $k_{1r} = -3.35412$, $k_{2r} = 0.4791$, $k_{3r} = 1.5606$),

$\beta_{1r}, \beta_{2r}, \beta_{3r}$ = τοπικές σταθερές βαθμονόμησης

$$k_z = (C_1 + C_2 * D) * 0.328196D \quad (5.12)$$

$$C_1 = -0.1039 * (H_{HMA})^2 + 2.4868 * H_{HMA}^{-17.342} \quad (5.13)$$

$$C_2 = 0.0172 * (H_{HMA})^2 - 1.7331 * H_{HMA} + 27.428 \quad (5.14)$$

Όπου:

D = Βάθος κάτω από την επιφανειακή στρώση σε in

H_{HMA} = Συνολικό πάχος ασφαλτικών στρώσεων σε in

Η εξίσωση (5.15) αντιπροσωπεύει τη μαθηματική εξίσωση για αυλακώσεις στη στρώση έδρασης και σε όλες τις στρώσεις από ασύνδετα αδρανή.

$$\Delta_{p(soil)} = \beta_{s1} k_{s1} \epsilon_v h_{soil} \left(\frac{\epsilon_v}{\epsilon_r}\right) e^{-\left(\frac{D}{n}\right)^\beta} \quad (5.15)$$

Όπου:

$\Delta p_{(soil)}$ = Παραμένουσα ή πλαστική παραμόρφωση για τη στρώση σε in

ϵ_0 = Αναχαίτιση προσδιοριζόμενη από εργαστηριακές επαναλαμβανόμενες δοκιμές μόνιμης παραμόρφωσης φορτίου σε in/in

ϵ_r = Ελαστική παραμόρφωση που επιβάλλεται σε εργαστηριακή δοκιμή για την απόκτηση ιδιοτήτων ϵ_0, ϵ_r , και ρ σε in/in.

ϵ_v = Μέση κατακόρυφη ελαστική ή ελαστική καταπόνηση στη στρώση υπολογιζόμενη από το μοντέλο δομικής απόκρισης in/in

h_{soil} = Πάχος της υπόψη στρώσης σε in

Ks_1 = Συνολικοί συντελεστές βαθμονόμησης

$ks_1 = 1,673$ για κοκκώδη υλικά και $1,35$ για λεπτόκοκκα υλικά

β_{s1} = τοπικές σταθερές βαθμονόμησης. Για την παγκόσμια βαθμονόμηση, όλες αυτές οι σταθερές ορίστηκαν στο 1,0.

$$L_{og}\beta = -0.61119 - 0.017638(W_c) \quad (5.16)$$

$$\rho = 10^9 \left(\frac{c_0}{(1 - (10^9)^\beta)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.17)$$

$$C_0 = L_n \left(\frac{a_1 M_r^{b_1}}{a_9 M_r^{b_9}} \right) = 0.0075 \quad (5.18)$$

Όπου

W_c = περιεκτικότητα σε νερό %

M_r = Μέτρο ελαστικότητας σε psi

$a_{1,9}$ = Σταθερές παλινδρόμησης. $a_1 = 0,15$ και $a_9 = 20,0$

$b_{1,9}$ = Σταθερές παλινδρόμησης. $b_1 = 0,0$ και $b_9 = 0,0$

Για τον υπολογισμό της ομαλότητας, η MEPDG χρησιμοποιεί τον υπολογισμό του διεθνούς δείκτη ομαλότητας IRI με την υπόθεση είναι ότι η επιφανειακή μη ομαλότητα θα προκαλέσει αύξηση της τραχύτητας. Οι εξισώσεις (5.19) και (5.20) παρουσιάζουν τον υπολογισμό του IRI με την πάροδο του χρόνου.

$$IRI = IRI_0 + 0.0150(SF) + 0.400 (FC_{Total}) + 0.0080(TC) + 40.0(RD) \quad (5.19)$$

Όπου:

IRI_0 = Αρχική τιμή του IRI μετά την κατασκευή, in./mi,

SF = Συντελεστής τοποθεσίας

FC_{Total} = Περιοχή ρωγμών κόπωσης (συνδυασμένη ρωγμή αλιγάτορα, διαμήκης και ανάκλαση στη διαδρομή του τροχού), ποσοστό της συνολικής επιφάνειας λωρίδας. Όλες οι ρωγμές που σχετίζονται με το φορτίο συνδυάζονται με βάση την περιοχή. Το

μήκος των ρωγμών πολλαπλασιάζεται με 1 ft για να μετατραπεί το μήκος σε βάση περιοχής,

TC = Μήκος εγκάρσιων ρωγμών (συμπεριλαμβανομένης της ανάκλασης εγκάρσιων ρωγμών σε υφιστάμενα εύκαμπτα οδοστρώματα), ft/mi και

RD = Μέσο βάθος διαδρομής, σε in

$$SF = Age[0.02003(PI + 1) + 0.007947(Precip + 1) + 0.000636(FI + 1)] \quad (5.20)$$

Όπου:

Age = Ηλικία οδοστρώματος, έτος

PI = Δείκτης πλαστικότητας του εδάφους,

FI = Μέσος ετήσιος δείκτης ψύχους, °F ημέρες

$Precip$ = Μέση ετήσια βροχόπτωση, σε in

Οι εξισώσεις (5.21) έως (5.23) δείχνουν το τυπικό σφάλμα των εξισώσεων για την εκτίμηση της αυλάκωσης. Οι Εξισώσεις (5.24) και (5.25) εκφράζουν το τυπικό σφάλμα για την εκτίμηση των ρωγμών τύπου αλιγάτορα και των κατά μήκος ρωγμών.

$$S_{e(HMA)} = 0.1587(\Delta_{HMA})^{0.4579} + 0.001 \quad (5.21)$$

$$S_{e(Gran)} = 0.1169(\Delta_{Gran})^{0.5303} + 0.001 \quad (5.22)$$

$$S_{e(Fine)} = 0.1724(\Delta_{Fine})^{0.5516} + 0.001 \quad (5.23)$$

Όπου:

Δ_{HMA} = Πλαστική παραμόρφωση στις ασφαλτικές στρώσεις, σε in

Δ_{Gran} = Πλαστική παραμόρφωση στις στρώσεις από ασύνδετα αδρανή, σε in

Δ_{Fine} = Πλαστική παραμόρφωση στη στρώση έδρασης, σε in

$$S_{e(Alligator)} = 32.7 + \frac{995.1}{1 + e^{2 - 2 \text{Log}(Fc_{Bottom} + 0.0001)}} \quad (5.24)$$

$$S_{e(Long)} = 200 + \frac{2300}{1 + e^{1.072 - 2.1654 \text{Log}(FC_{Top} + 0.0001)}} \quad (5.25)$$

6 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης της σταδιακής εισόδου των αυτόνομων οχημάτων στη συμπεριφορά των υφιστάμενων οδοστρωμάτων. Δεδομένου ότι μέσω της τεχνολογίας των αυτόνομων οχημάτων, η εγκάρσια κίνησή τους εντός της λωρίδας δύναται να προγραμματιστεί, πέραν της μηδενικής πλευρικής κίνησης, διερευνώνται επιπλέον κατανομές πλευρικής μετατόπισης (κανονική και ομοιόμορφη).

Για την επίτευξη του στόχου πραγματοποιήθηκε ερευνητική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Επιλογή τυπικών διατομών εν λειτουργία οδοστρωμάτων
2. Ανάπτυξη σεναρίων όσον αφορά στην κυκλοφορία σχεδιασμού ανάλογα με την πλευρική μετατόπιση των τροχών και τη σύνθεση της κυκλοφορίας (αυτόνομα και μη αυτόνομα βαρέα οχήματα).
3. Υπολογισμός των κρίσιμων εντατικών μεγεθών στον πυθμένα των ασφαλικών στρώσεων.
4. Υπολογισμός της φθοράς και του ποσοστού των αλιγοτορικών ρηγματώσεων.

6.1 Τυπικές Διατομές

Στην παρούσα εργασία ως προς το ερευνητικό μέρος επιλέχθηκαν δύο τυπικές διατομές αντιπροσωπευτικές αυτοκινητοδρόμων του ελλαδικού χώρου (εικόνα 7). Η τυπική διατομή αποτελείται από τη στρώση έδρασης, την ενοποιημένη στρώση βάσης/υπόβασης και τις ασφαλικές στρώσεις. Πιο συγκεκριμένα για την διατομή 1 τα μέτρα ελαστικότητας των ασφαλικών στρώσεων, της στρώσης βάσης/υπόβασης και της στρώσης έδρασης είναι $E1=4100 \text{ MPa}$, $E2=278 \text{ MPa}$, $E3=135 \text{ MPa}$, αντίστοιχα και τα πάχη $h1=17 \text{ cm}$, $h2=19 \text{ cm}$, $h3=\infty$, αντίστοιχα. Για την διατομή 2 τα μέτρα ελαστικότητας των ασφαλικών στρώσεων, της στρώσης βάσης/υπόβασης και της στρώσης έδρασης είναι $E1=6570 \text{ MPa}$, $E2=615 \text{ MPa}$, $E3=200 \text{ MPa}$, αντίστοιχα και τα πάχη $h1=20 \text{ cm}$, $h2=25 \text{ cm}$, $h3=\infty$, αντίστοιχα.

Τυπική διατομή 1



Τυπική διατομή 2



Εικόνα 7 Τυπικές διατομές

6.2 Κυκλοφορία Σχεδιασμού

Για τον υπολογισμό της κυκλοφορίας σχεδιασμού αξιοποιήθηκαν στοιχεία της κυκλοφοριακής μελέτης των οδικών αξόνων. Μέσω κατάλληλης ανάλυσης η κυκλοφορία σχεδιασμού εκφράζεται σε ισοδύναμες διελεύσεις του τυπικού αξονικού φορτίου (ESALs: Equivalent Single Axle Loads). Το τυπικό αξονικό φορτίο ορίζεται ως το φορτίο απλού άξονα επί διπλών τροχών μεγέθους 8,16t. Μέσω συντελεστών ισοδυναμίας μετατρέπεται η μικτή κυκλοφορία σε μια κοινή μονάδα έκφρασης (ESALs). Για την περαιτέρω ανάλυση αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία των αθροιστικών ισοδύναμων διελεύσεων ανά 5 έτη (με έτος εκκίνησης αυτό της παρούσας μελέτης) σε σύνολο 20 ετών (Πίνακας 1). Σημειώνεται ότι η ηλικία των οδοστρωμάτων των δύο διατομών διαφέρει. Επίσης, έχει ληφθεί υπόψη η αθροιστική κυκλοφορία που έχουν δεχτεί τα οδοστρώματα από το αρχικό έτος λειτουργίας τους.

Πίνακας 1. Ισοδύναμοι τυπικοί άξονες

Έτος	Διατομή 1	Διατομή 2
5	4,83E+06	8,12E+07
10	9,93E+06	1,38E+08
15	1,53E+07	-
20	2,08E+07	3,77E+08

Η κυκλοφορία σχεδιασμού που αναφέρεται στον Πίνακα 1 αντιπροσωπεύει την περίπτωση μηδενικής πλευρικής μετατόπισης. Στην παρούσα εργασία λαμβάνονται υπόψη και άλλες κατανομές πλευρικής μετατόπισης, όπως η κανονική κατανομή και η ομοιόμορφη. Η κανονική κατανομή είναι αντιπροσωπευτική για την περιγραφή της

πλευρικής μετατόπισης των μη αυτόνομων οχημάτων, ενώ η μηδενική και ομοιόμορφη θεωρούνται πιθανές κατανομές της πλευρικής μετατόπισης αυτόνομων οχημάτων. Για την μετατροπή της κυκλοφορίας της μηδενικής κατανομής σε ισοδύναμη της κανονικής και της ομοιόμορφης κατανομής, αξιοποιήθηκαν τα αποτελέσματα πρόσφατης έρευνας (Georgouli & Plati, 2022). Σύμφωνα με την υπόψη έρευνα, η κυκλοφορία σχεδιασμού για την περίπτωση κανονικής κατανομής της πλευρικής μετατόπισης προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την κυκλοφορία σχεδιασμού της μηδενικής πλευρικής μετατόπισης με ένα συντελεστή ισοδυναμίας που ισούται με 0,62. Αντίστοιχα για την περίπτωση της ομοιόμορφης πλευρικής κατανομής ο συντελεστής ισοδυναμίας ισούται με 0,47.

Με βάση τα παραπάνω αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια κυκλοφορίας ως προς τη σύνθεσή της και την κατανομή της πλευρικής μετατόπισης:

- Σενάριο 1: Μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 100% με κανονική κατανομή και αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 0%.
- Σενάριο 2: Μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 80% με κανονική κατανομή και αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 20%. Για τα αυτόνομα οχήματα ισχύουν δύο θεωρήσεις: η μία είναι ότι η πλευρική μετατόπιση ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (Σενάριο 2α) και η άλλη ότι ακολουθεί τη μηδενική (Σενάριο 2β).
- Σενάριο 3: Μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 60% και αυτόνομα οχήματα 40%. Για τα αυτόνομα οχήματα ισχύουν δύο θεωρήσεις: η μία είναι ότι η πλευρική μετατόπιση ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (Σενάριο 3α) και η άλλη ότι ακολουθεί τη μηδενική (Σενάριο 3β).
- Σενάριο 4: Μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 40% και αυτόνομα οχήματα 60%. Για τα αυτόνομα οχήματα ισχύουν δύο θεωρήσεις: η μία είναι ότι η πλευρική μετατόπιση ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (Σενάριο 4α) και η άλλη ότι ακολουθεί τη μηδενική (Σενάριο 4β).
- Σενάριο 5: Μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 20% και αυτόνομα οχήματα 80%. Για τα αυτόνομα οχήματα ισχύουν δύο θεωρήσεις: η μία είναι ότι η πλευρική μετατόπιση ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (Σενάριο 5α) και η άλλη ότι ακολουθεί τη μηδενική (Σενάριο 5β).
- Σενάριο 6: Αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 100%. Ισχύουν δύο θεωρήσεις: η μία είναι ότι η πλευρική μετατόπιση ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (Σενάριο 6α) και η άλλη ότι ακολουθεί τη μηδενική (Σενάριο 6β).

Με βάση αυτά τα σενάρια υπολογίστηκε η κυκλοφορία σχεδιασμού που παρουσιάζεται στους Πίνακες 2 έως 45 για τη διατομή 1 και στους Πίνακες 46 έως 78 για την τυπική διατομή 2.

Πίνακας 2: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού Σενάριο1, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος (κανονικής κατανομής)	3,00E+06
Αυτόνομα οχήματα	0%
Μη αυτόνομα οχήματα	100%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	-
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 3: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,40E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	4,54E+05
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,85E+06
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 4: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,40E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	9,67E+05
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	3,36E+06
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 5: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,80E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	9,09E+05
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,71E+06
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 6: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,80E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,93E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	3,73E+06
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή

Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή
--------------------------------	-------------------

Πίνακας 7: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,20E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,36E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,56E+06
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 8: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,20E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,90E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,10E+06
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 9: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,99E+05
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,82E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,42E+06
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 10: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,99E+05
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,87E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,47E+06

Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 11: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού Σενάριο 6α, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,27E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,27E+06
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 12: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 1, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	4,83E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	4,83E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,83E+06
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 13: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 1, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	6,16E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	-
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	6,16E+06
Αυτόνομα οχήματα	0%
Μη αυτόνομα οχήματα	100%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	-
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 14: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	4,93E+06

Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	9,34E+05
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	5,86E+06
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 15: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	4,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,99E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	6,91E+06
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 16: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,70E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,87E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	5,56E+06
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 17: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,70E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,97E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	7,67E+06
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 18: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,46E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,80E+06

Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	5,26E+06
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 19: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,46E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	5,96E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	8,42E+06
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 20: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,23E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,74E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,97E+06
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 21: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,23E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	7,95E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	9,18E+06
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 22: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6α, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	4,67+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,67E+06
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 23: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 1, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	9,93E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	9,93+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	9,93E+06
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 24: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 1, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,53E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	9.46E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	-
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	9.46E+06
Αυτόνομα οχήματα	0%
Μη αυτόνομα οχήματα	100%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	-
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 25: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	7,57E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,43E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	9,01E+06
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 26: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	7,57E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,05E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,06E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 27: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,68E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,87E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	8,55E+06
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 28: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,68E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	6,11E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,18E+07
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 29: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,79E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	4,30E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	8,09E+06
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 30: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,89E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	5,74E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	7,63E+06
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 31: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,79E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	9,16E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,29E+06
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 32: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,89E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,22E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,41E+07
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 33: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6α, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	7,17E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	7,17E+06
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 34: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 1, 15 έτη

Έτη	15
Κυκλοφοριακός φόρτος(μηδενική κατανομή)	1,57E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,53E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,53E+07
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 35: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 1, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,29E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	-
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,29E+07
Αυτόνομα οχήματα	0%
Μη αυτόνομα οχήματα	100%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	-
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 36: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,03E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,96E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,23E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 37: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,03E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	4,16E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,45E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 38: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	7,74E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,91E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,17E+07
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 39: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	7,74E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	8,33E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,61E+07
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 40: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,16E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	5,87E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,10E+07
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 41: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος(μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,16E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,25E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,77E+07
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 42: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος(μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,58E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	7,83E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,04E+07
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή
Ζημιά λόγω κόπωσης FC(95%)	16,07
Ζημιά λόγω αυλάκωσης (d%)	12,97

Πίνακας 43: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,58E+06
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,67E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,92E+07
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 44: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6α, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	9,78E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	9,78E+06
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 45: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 1, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	2,08E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,08E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,08E+07
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή

Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή
--------------------------------	-------------------

Πίνακας 46: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 1, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος(μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,04E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	-
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	5,04E+07
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

Πίνακας 47: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	4,03E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	7,63E+06
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,79E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 48: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	4,03E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,62E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	5,65E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 49: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,02E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,53E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,55E+07
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή

Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή
--------------------------------	-------------------

Πίνακας 50: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,02E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,25E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	6,27E+07
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 51: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,01E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,29E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,30E+07
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 52: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,01E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	4,87E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	6,89E+07
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 53: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,01E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,05E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	4,06E+07
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 54: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,01E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	6,50E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	7,50E+07
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 55: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6α, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,82E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	3,82E+07
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

Πίνακας 56: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 2, 5 έτη

Έτη	5
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	8,12E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	8,12E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	8,12E+07
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

Πίνακας 57: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 1, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	8,56E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	-
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	8,56E+07
Αυτόνομα οχήματα	0%
Μη αυτόνομα οχήματα	100%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	-
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 58: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	6,85E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,30E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	8,15E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 59: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	6,85E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,76E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	9,61E+07
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 60: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,14E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,60E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	7,73E+07
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 61: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 2, 10 έτη.

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	5,14E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	5,52E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,07E+08
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 62: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,42E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,89E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	7,32E+07
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 63: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	3,42E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	8,29E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,17E+08
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 64: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,71E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	5,19E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	6,90E+07
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 65: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,71E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,10E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,28E+08
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 66: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6α, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	6,49E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	6,49E+07
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

Πίνακας 67: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 2, 10 έτη

Έτη	10
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	1,38E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,38E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,38E+08
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

Πίνακας 68: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 1, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	2,34E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	-
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,34E+08
Αυτόνομα οχήματα	0%
Μη αυτόνομα οχήματα	100%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 69: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2α, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,87E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,55E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,23E+08
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 70: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 2β, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,87E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	7,54E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,63E+08
Αυτόνομα οχήματα	20%
Μη αυτόνομα οχήματα	80%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 71: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3α, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,40E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	7,09E+07
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,11E+08
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 72: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 3β, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	1,40E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,51E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,91E+08
Αυτόνομα οχήματα	40%
Μη αυτόνομα οχήματα	60%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 73: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4α, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	9,34E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,06E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	2,00E+08
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 74: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 4β, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	9,34E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	2,26E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	3,20E+08
Αυτόνομα οχήματα	60%
Μη αυτόνομα οχήματα	40%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 75: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5α, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	4,68E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,42E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,89E+08
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 76: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 5β, διατομή 2, 20 έτη

Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	4,68E+07
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,02E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	3,49E+08
Αυτόνομα οχήματα	80%
Μη αυτόνομα οχήματα	20%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	Κανονική κατανομή

Πίνακας 77: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6α, διατομή 2, 20 έτη

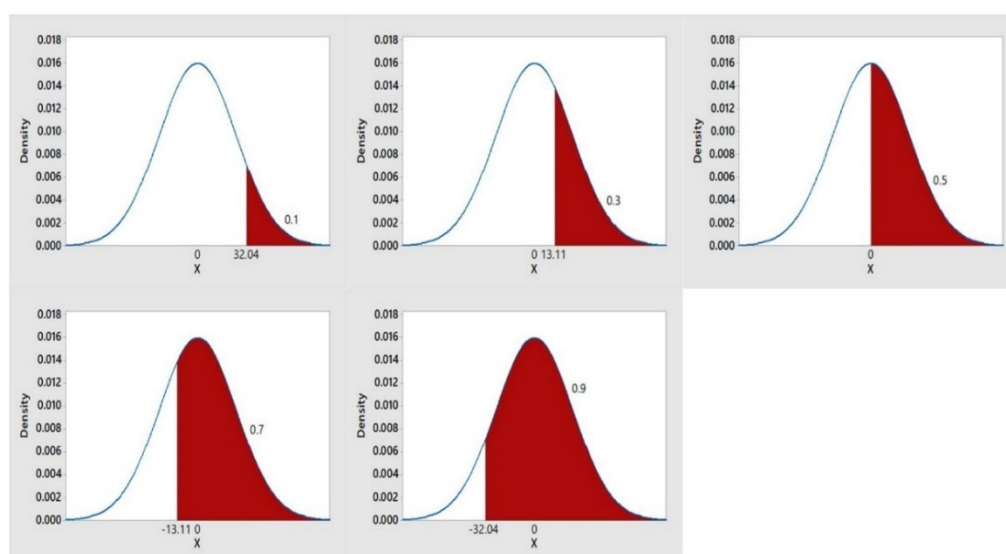
Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	1,77E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	1,77E+08
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Ομοιόμορφη κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

Πίνακας 78: Δεδομένα κυκλοφορίας σχεδιασμού, Σενάριο 6β, διατομή 2, 20 έτη

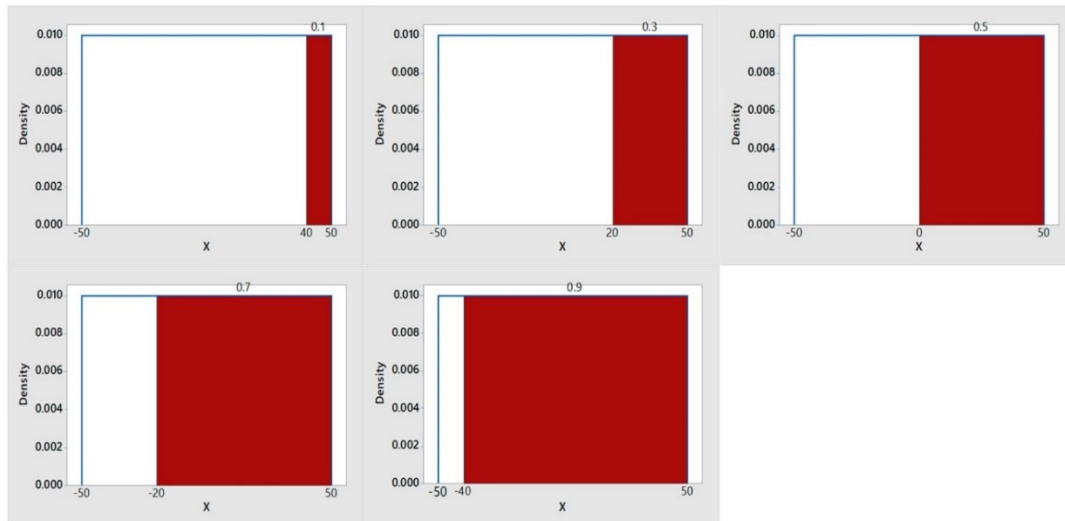
Έτη	20
Κυκλοφοριακός φόρτος (μηδενική κατανομή)	3,77E+08
Κυκλοφοριακός φόρτος κανονικής κατανομής μη αυτόνομων οχημάτων	-
Κυκλοφοριακός φόρτος αυτόνομων οχημάτων	3,77E+08
Συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος	3,77E+08
Αυτόνομα οχήματα	100%
Μη αυτόνομα οχήματα	0%
Κατανομή αυτόνομων οχημάτων	Μηδενική κατανομή
Κατανομή μη αυτόνομων οχημάτων	-

6.3 Υπολογισμός κρίσιμων εντατικών μεγεθών

Στην παρούσα εργασία η συμπεριφορά του οδοστρώματος για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας διερευνάται μέσω του δείκτη φθοράς και του ποσοστού των αλλιγοτριών ρηγματώσεων. Για τον υπολογισμό των κρίσιμων εντατικών μεγεθών (εφελκυστική οριζόντια παραμόρφωση στον πυθμένα των ασφαλτικών στρώσεων) ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που προτείνεται από το MEPDG και περιγράφεται στην εικόνα 6. Στις εικόνες 8 και 9 παρουσιάζονται τα πεμπτημόρια της κανονικής και ομοιόμορφης κατανομής.



Εικόνα 8 Πεμπτημοριακές συντεταγμένες κανονικής κατανομής.



Εικόνα 9 Πεμπτημοριακές συντεταγμένες ομοιόμορφης κατανομής.

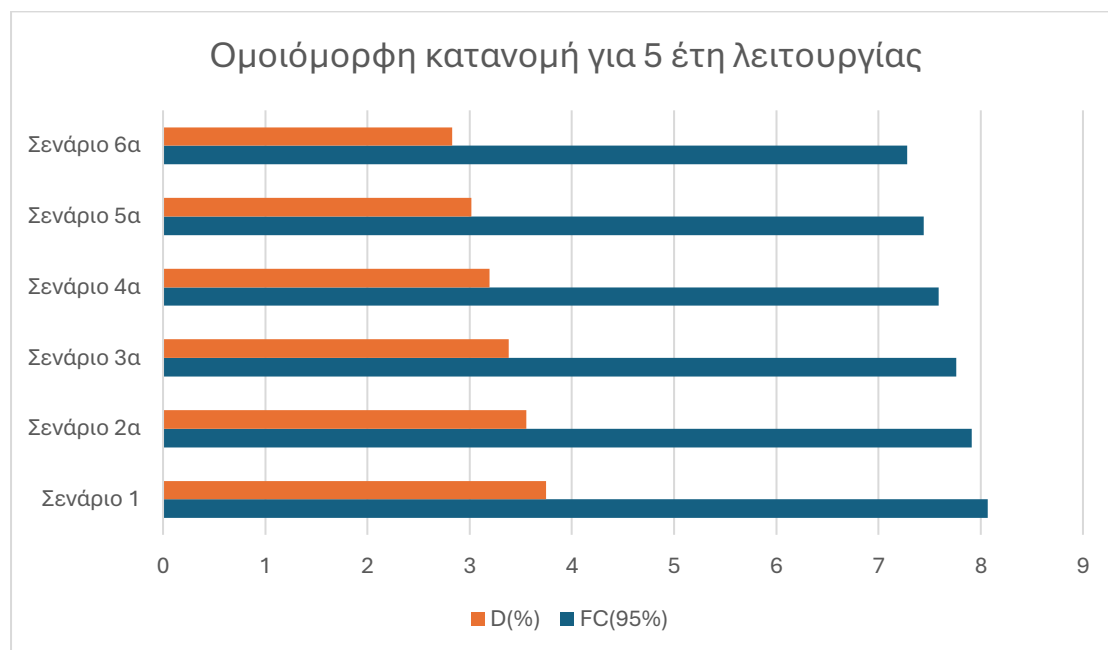
Η ιξωδοελαστική ανάλυση των υπό διερεύνηση διατομών οδοστρώματος ολοκληρώθηκε με το πρόγραμμα ανάλυσης 3D-Move. Αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Νεβάδα, Reno (UNR) (Siddhartan et al. 2017) και αντιμετωπίζει κάθε στρώση οδοστρώματος ως ένα συνεχές και χρησιμοποιεί την τεχνική μετασχηματισμού Fourier. Το 3D Move είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και τον σχεδιασμό οδοστρωμάτων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρέχει εργαλεία για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του οδοστρώματος υπό διάφορες συνθήκες φόρτισης και περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της διάρκειας ζωής του οδοστρώματος.

Βασικές παράμετροι αποτελούν η κυκλοφορία σχεδιασμού, η διάταξη των τροχών, οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Κατόπιν της ανάλυσης του οδοστρώματος και του υπολογισμού των κρίσιμων εντατικών μεγεθών, υπολογίστηκε ο δείκτης φθοράς και ο δείκτης FC σύμφωνα με τις εξισώσεις 5.6 και 5.7. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ακολούθως.

7 Αποτελέσματα

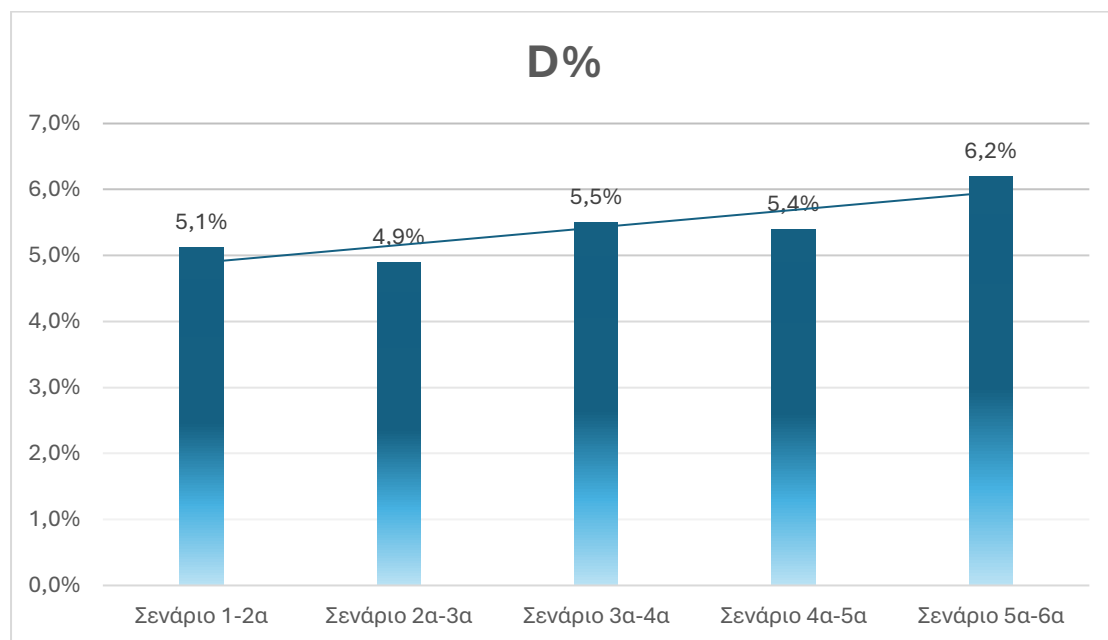
7.1 Τυπική Διατομή 1

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και για 5 έτη ανάλυσης.



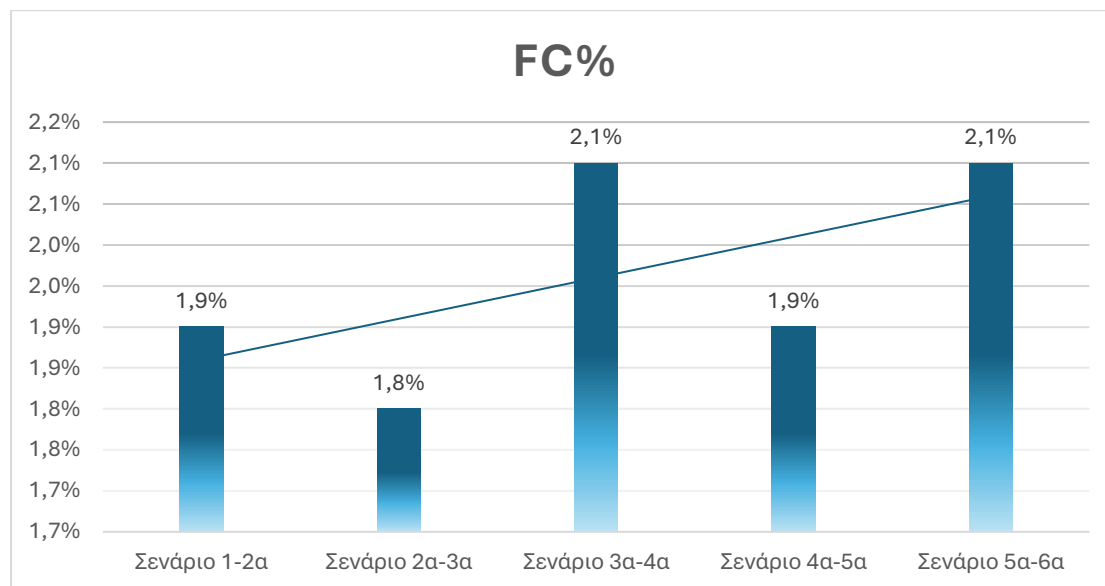
Εικόνα 10: Δείκτης D και FC, διατομή1, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 11.



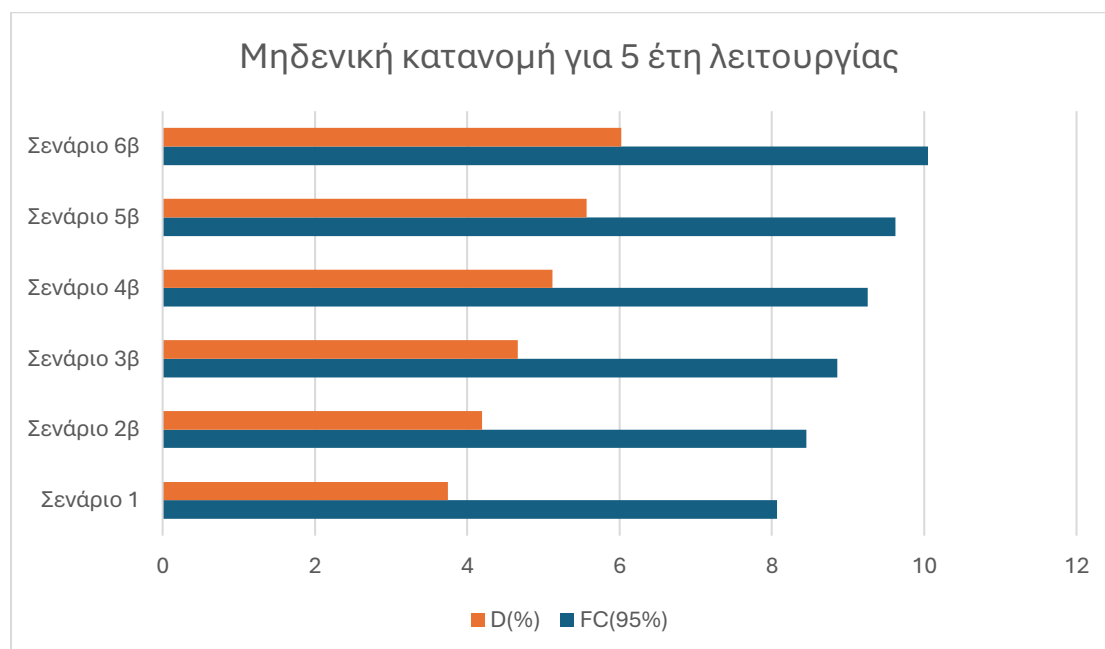
Εικόνα 11: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 12.



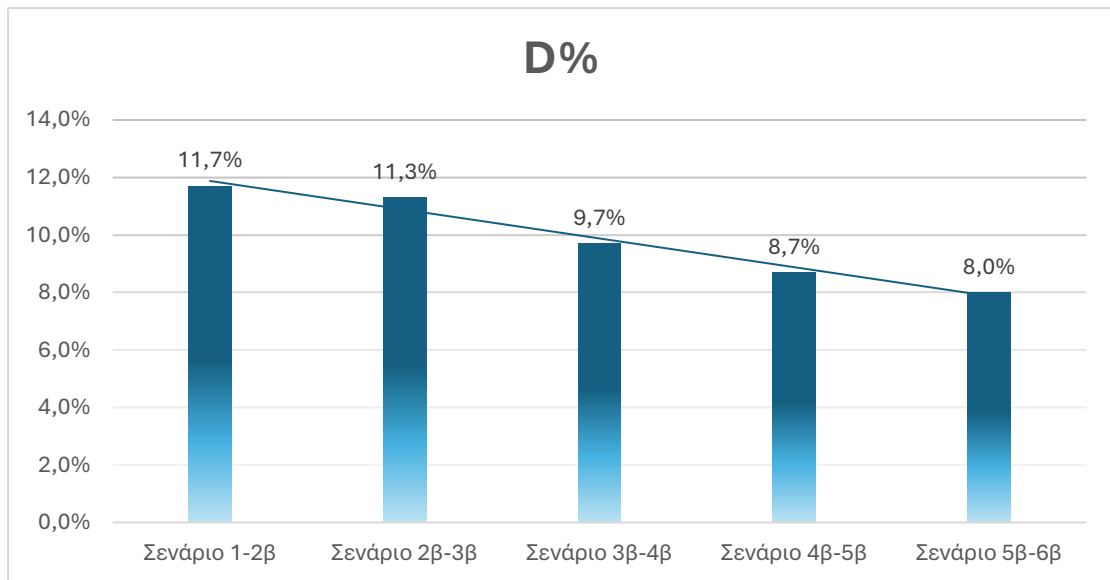
Εικόνα 12: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC , διατομή1, 5 έτη.

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 5 έτη ανάλυσης.



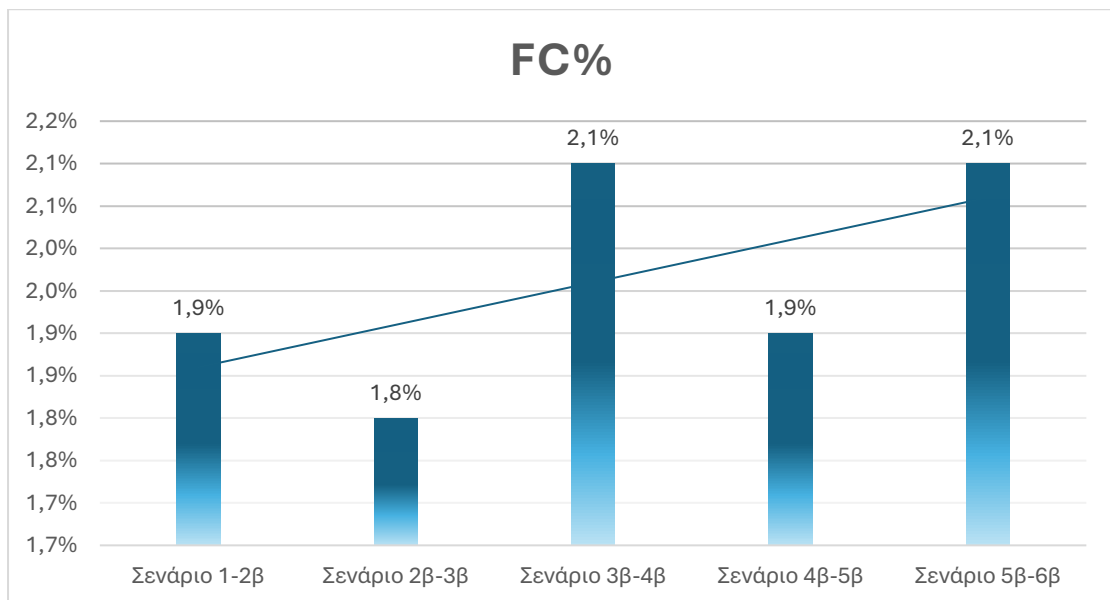
Εικόνα 13: Δείκτης D και FC, διατομή1, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 14.



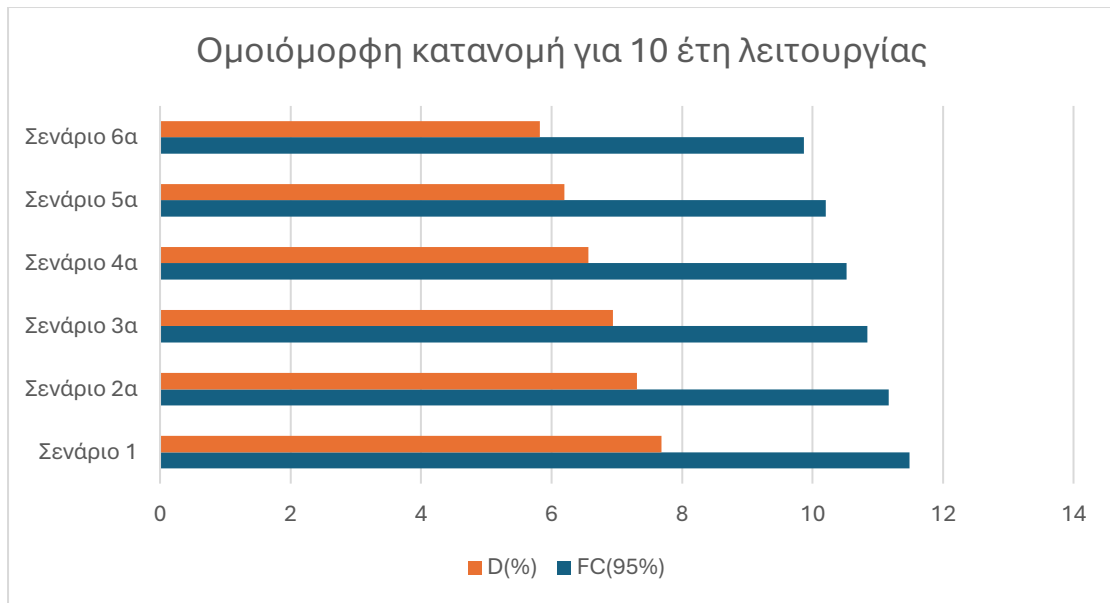
Εικόνα 14: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή 1, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλγαιτορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 15.



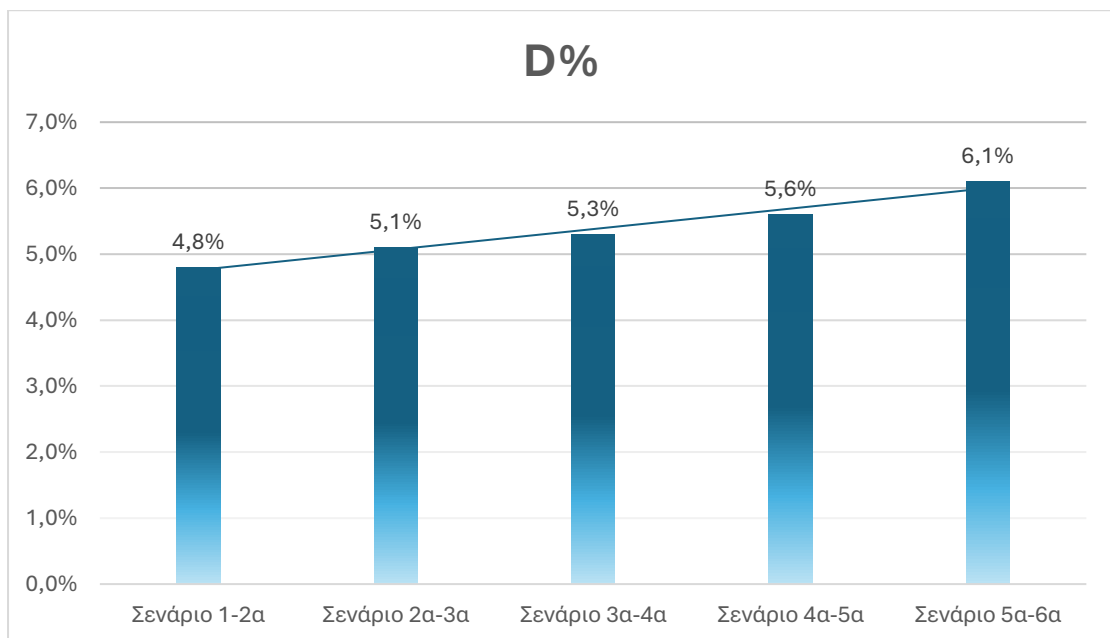
Εικόνα 15: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή 1, 5 έτη.

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και τα 10 έτη ανάλυσης.



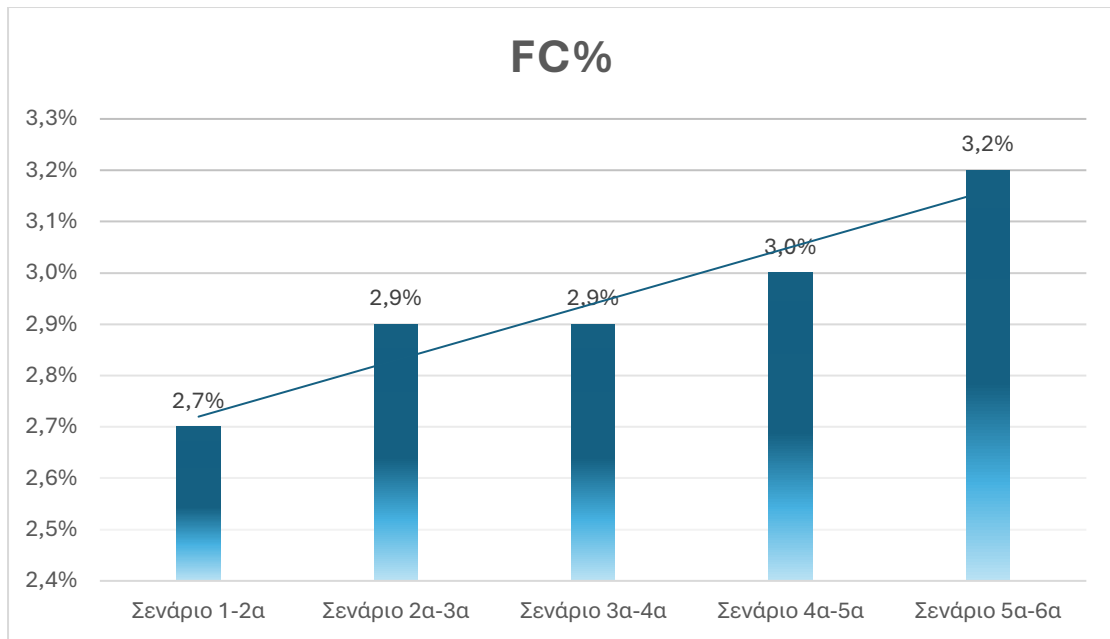
Εικόνα 16: Δείκτης D και FC, διατομή1, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 17.



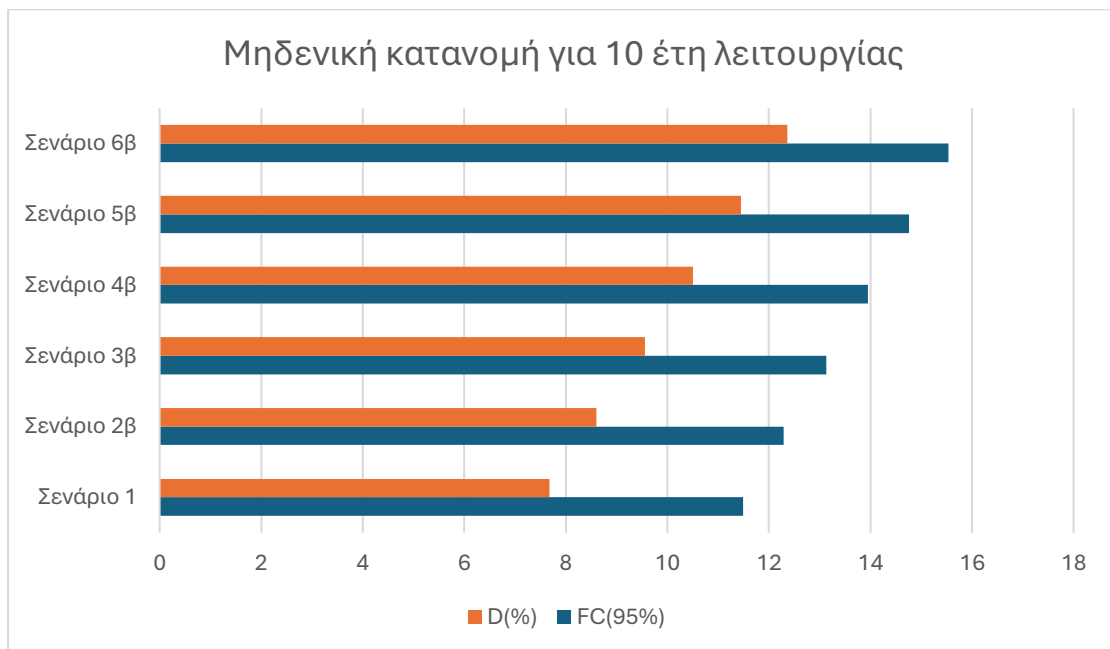
Εικόνα 17: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 18.



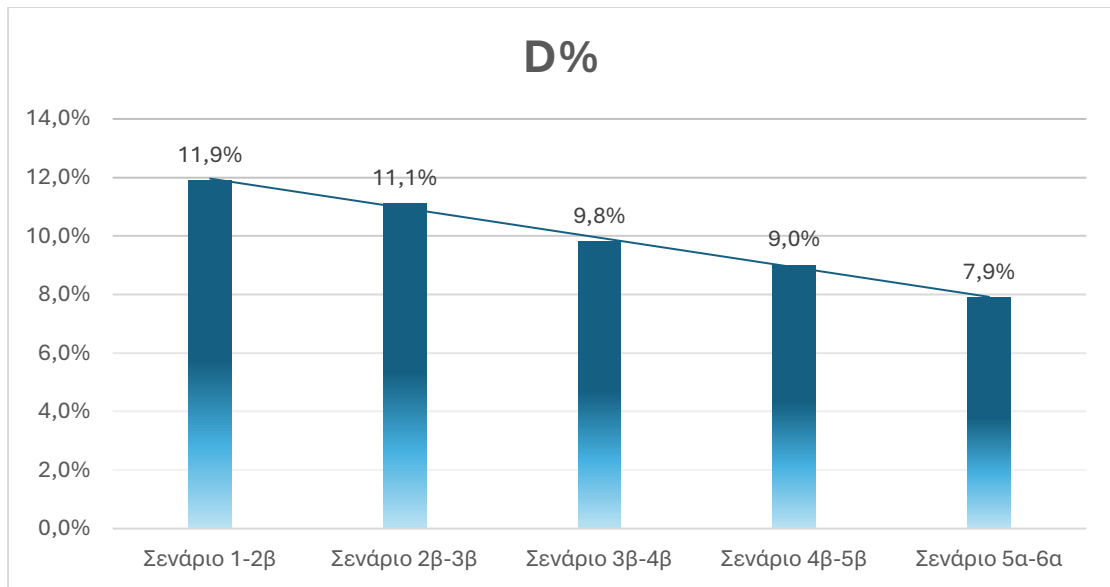
Εικόνα 18: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή1, 10 έτη.

Στην Εικόνα 19 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 10 έτη ανάλυσης.



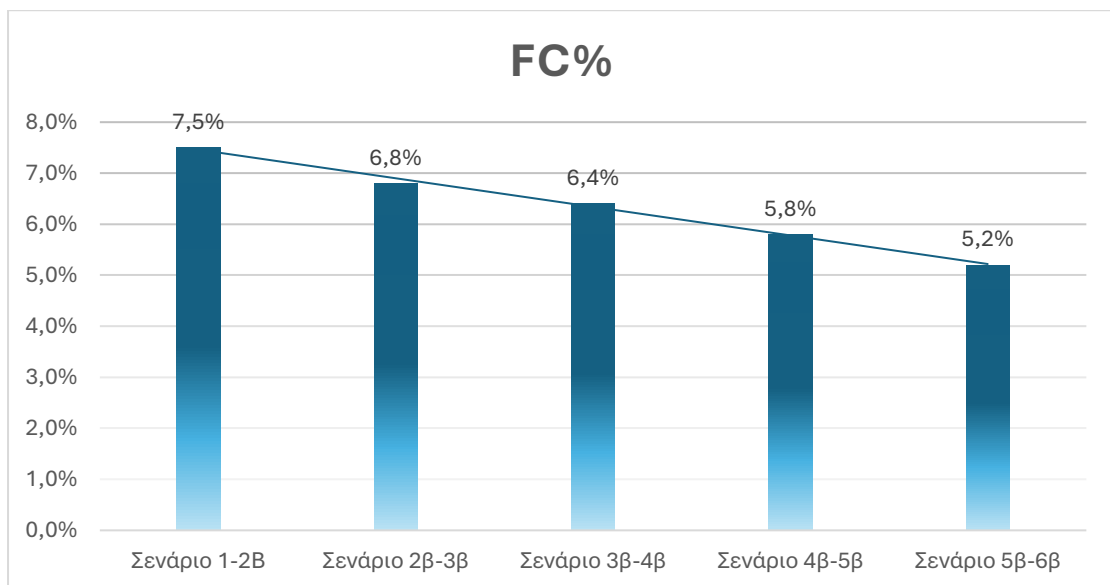
Εικόνα 19: Δείκτης D και FC, διατομή1, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 20.



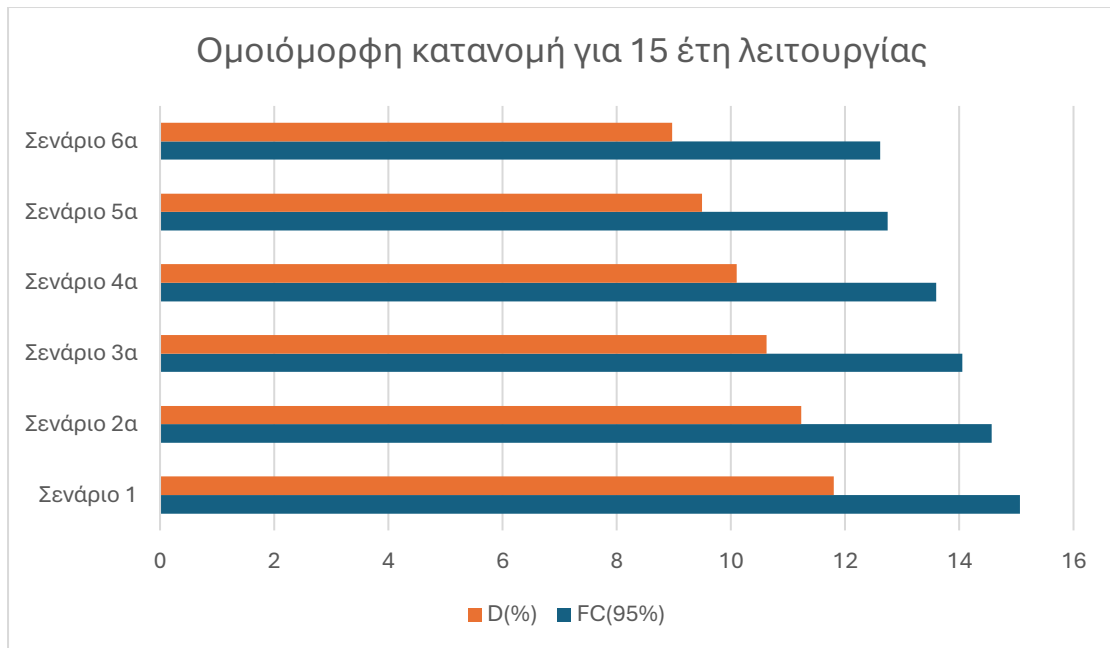
Εικόνα 20: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγατορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 21.



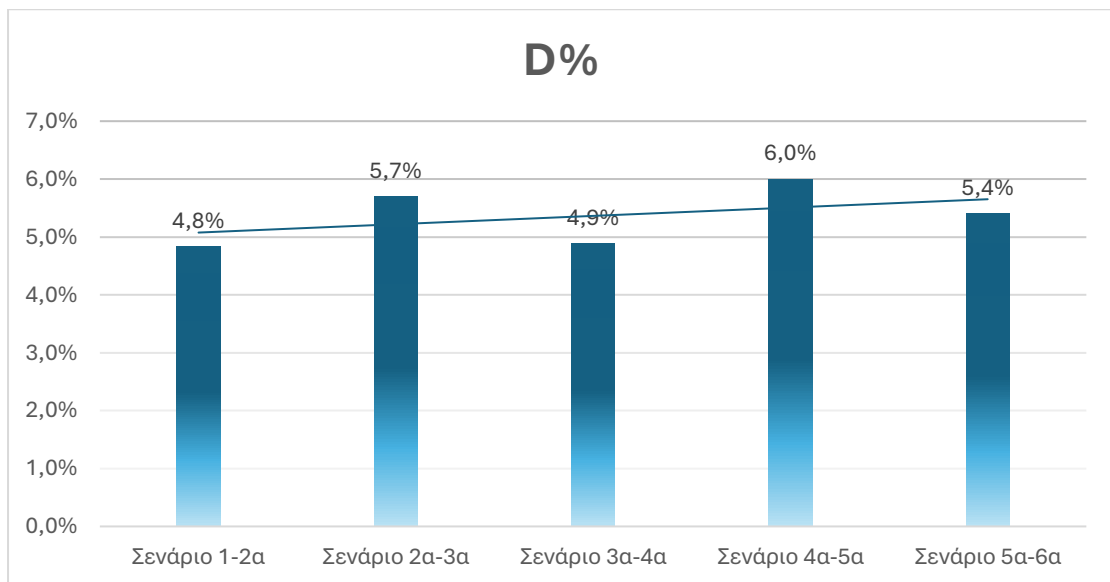
Εικόνα 21: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή1, 10 έτη.

Στην Εικόνα 22 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και τα 15 έτη ανάλυσης



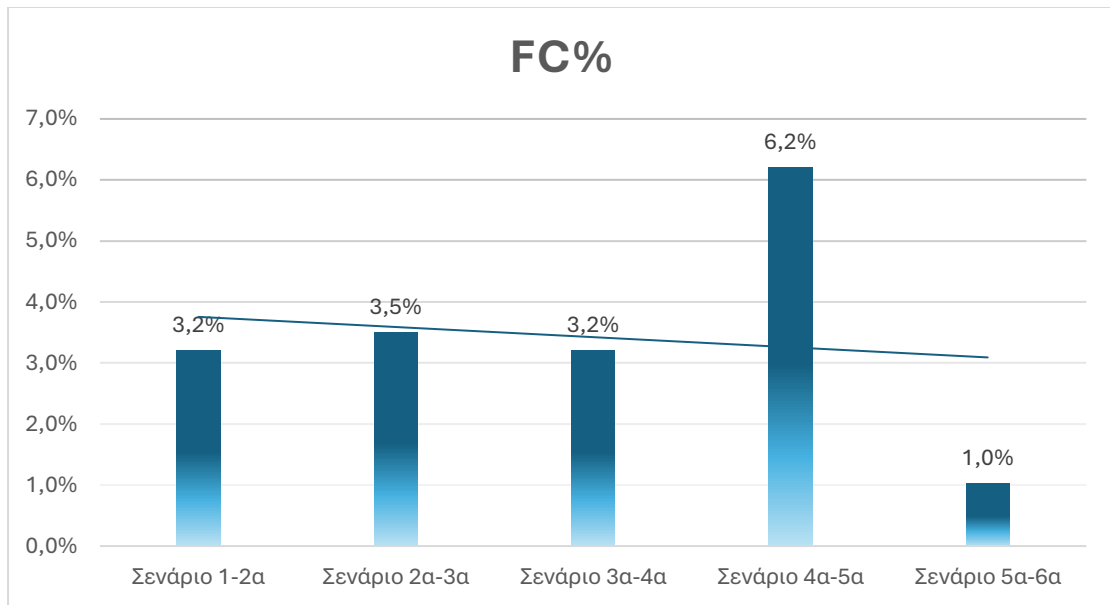
Εικόνα 22: Δείκτης D και FC, διατομή1, 15 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 15 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 23.



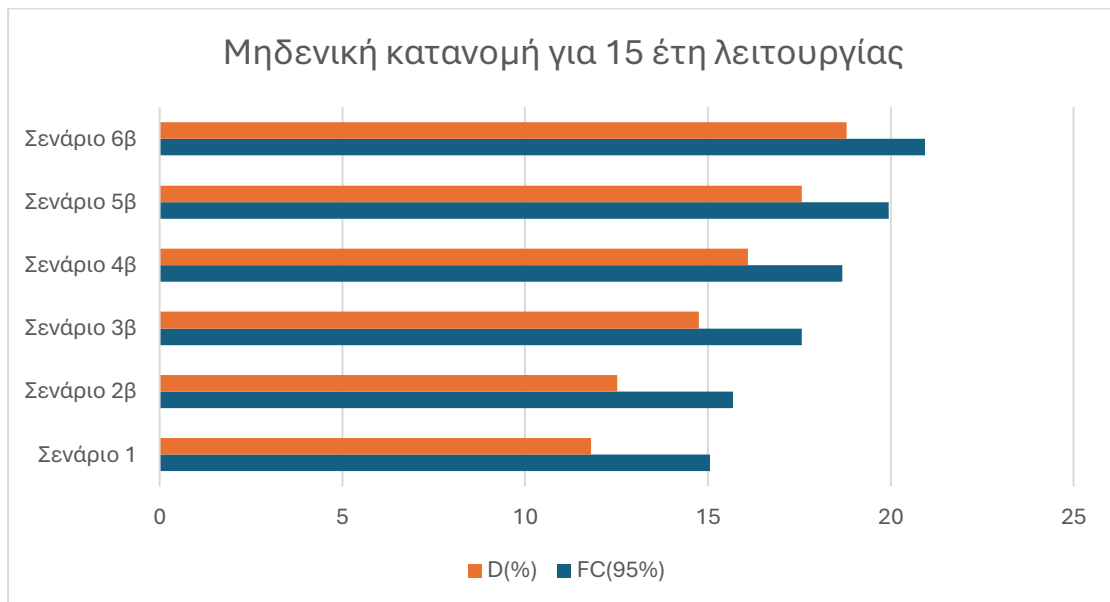
Εικόνα 23: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 15 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγατορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 15 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 24.



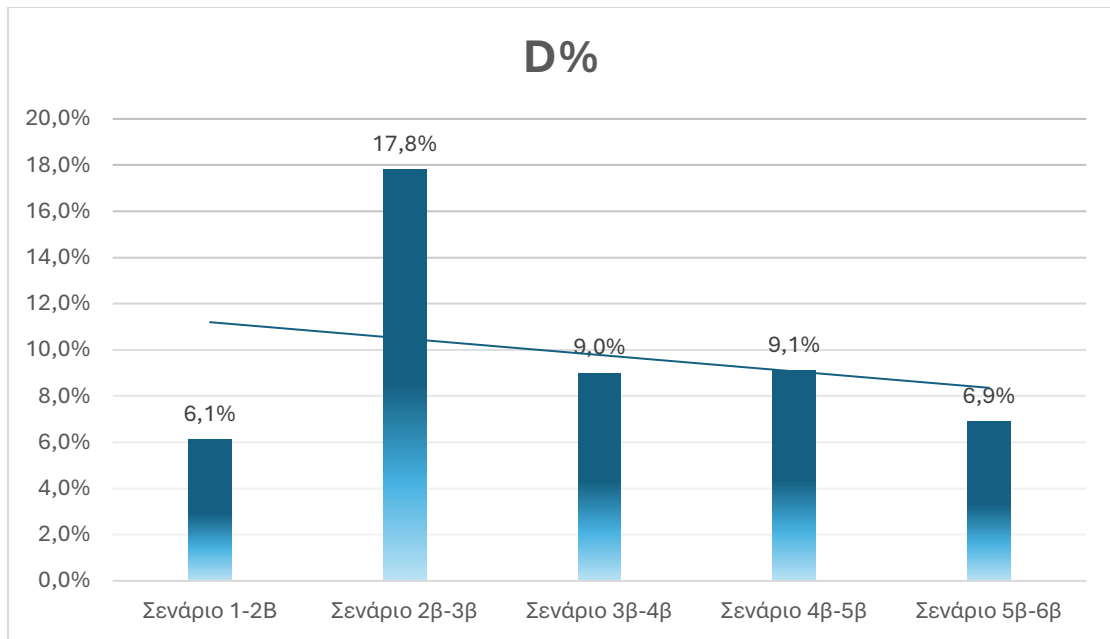
Εικόνα 24: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή1, 15 έτη.

Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 15 έτη ανάλυσης.



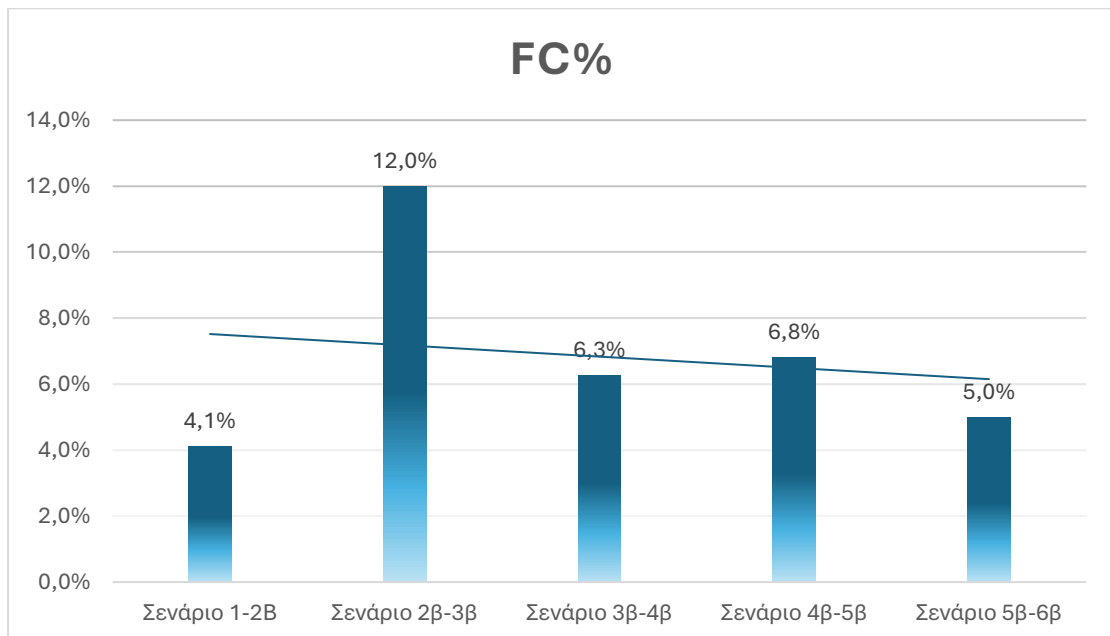
Εικόνα 25: Δείκτης D και FC, διατομή1, 15 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 15 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 26.



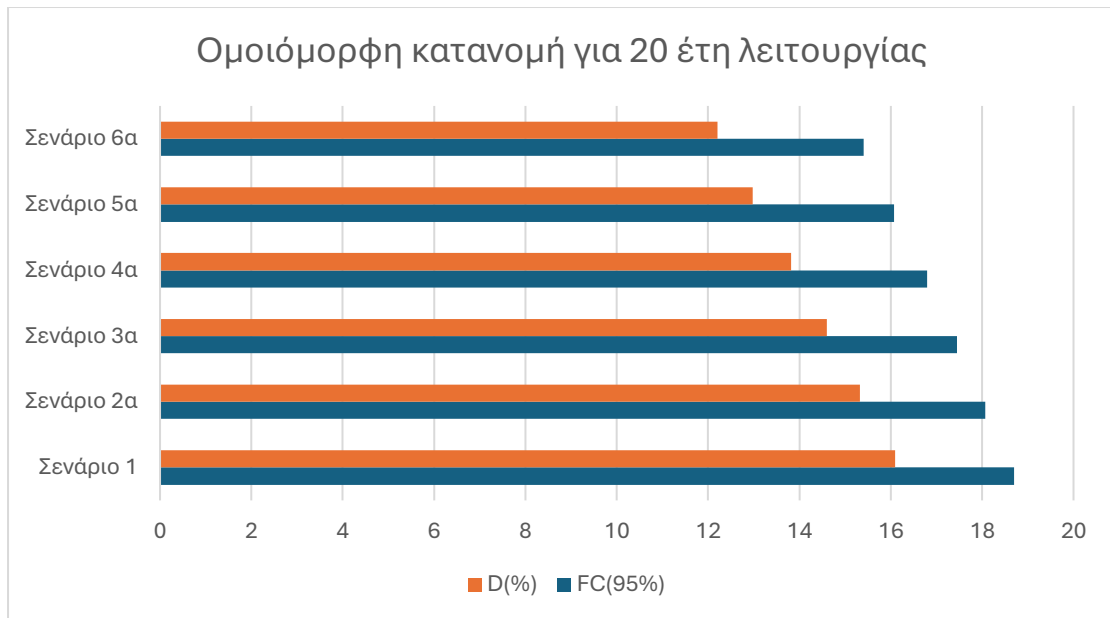
Εικόνα 26: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 15 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτροικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 15 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 27.



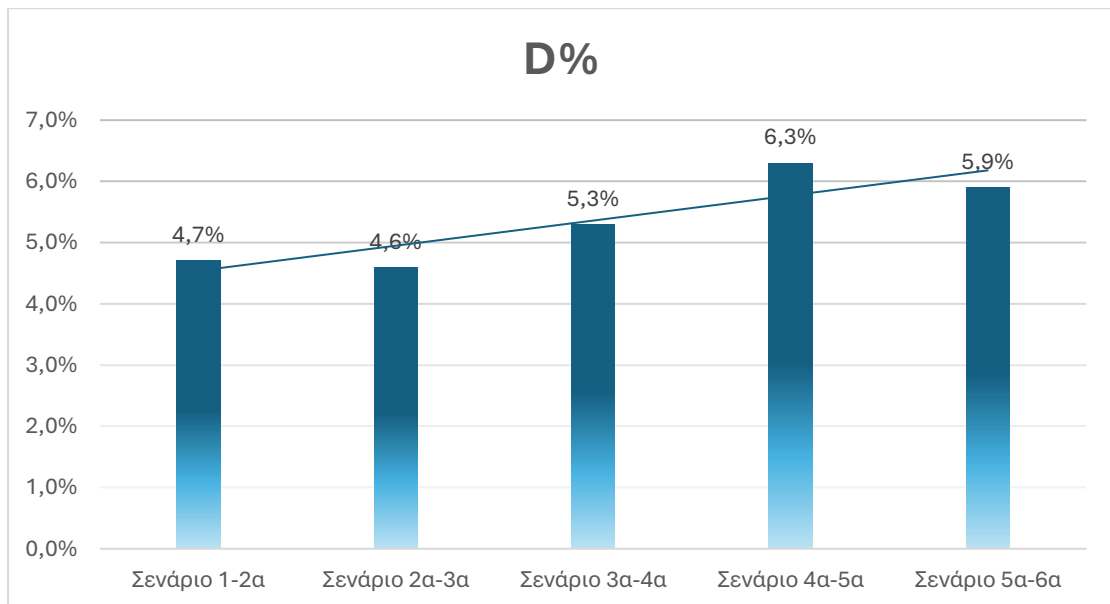
Εικόνα 27: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή1, 15 έτη.

Στην Εικόνα 28 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και τα 20 έτη ανάλυσης.



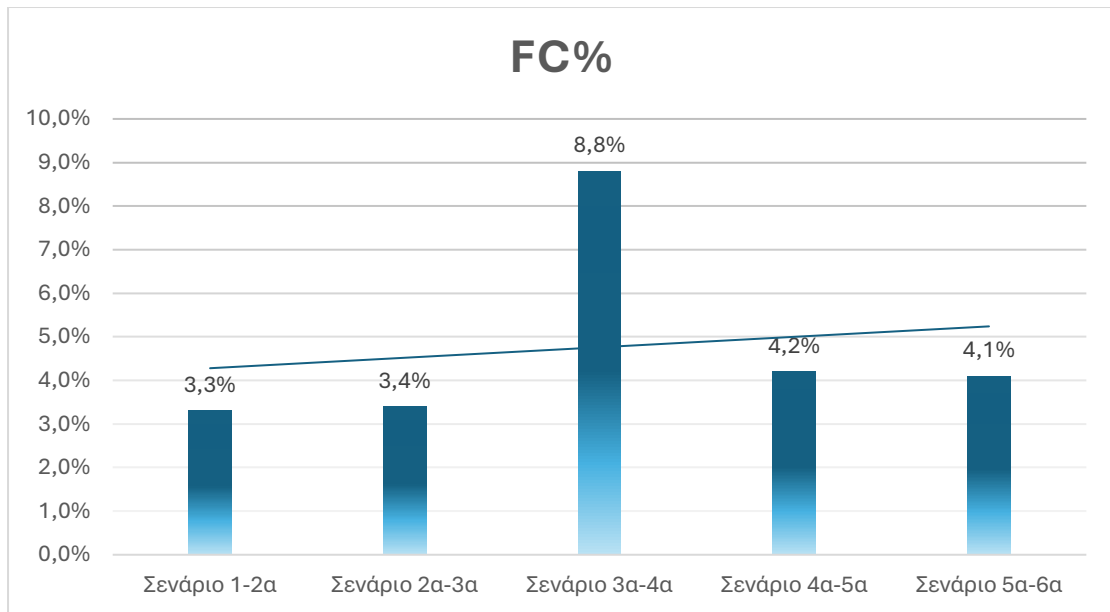
Εικόνα 28: Δείκτης D και FC, διατομή1, 20 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 29.



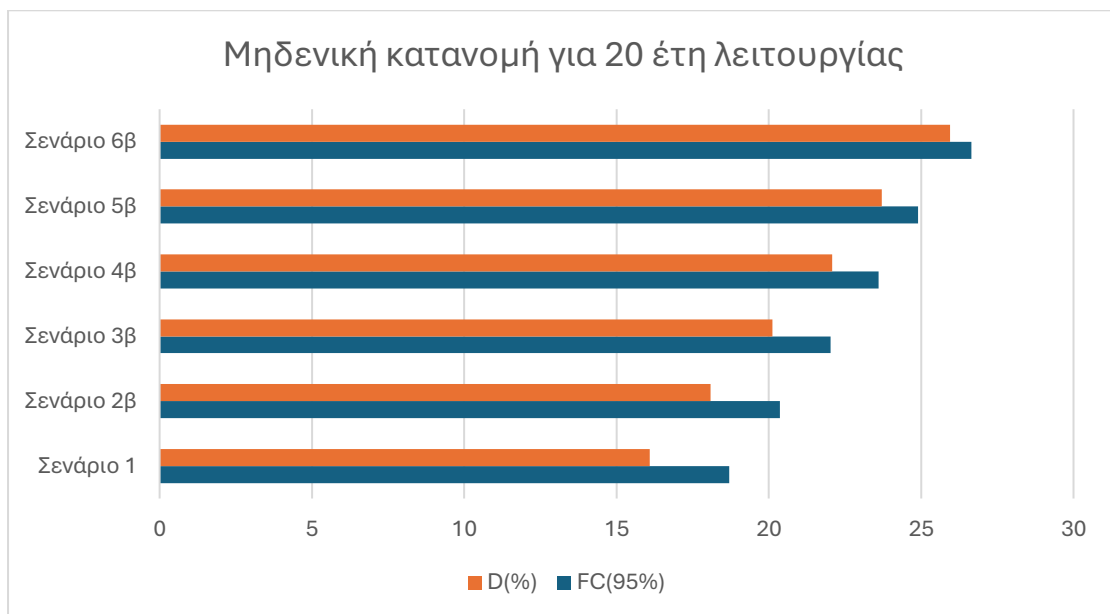
Εικόνα 29: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 20 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 30.



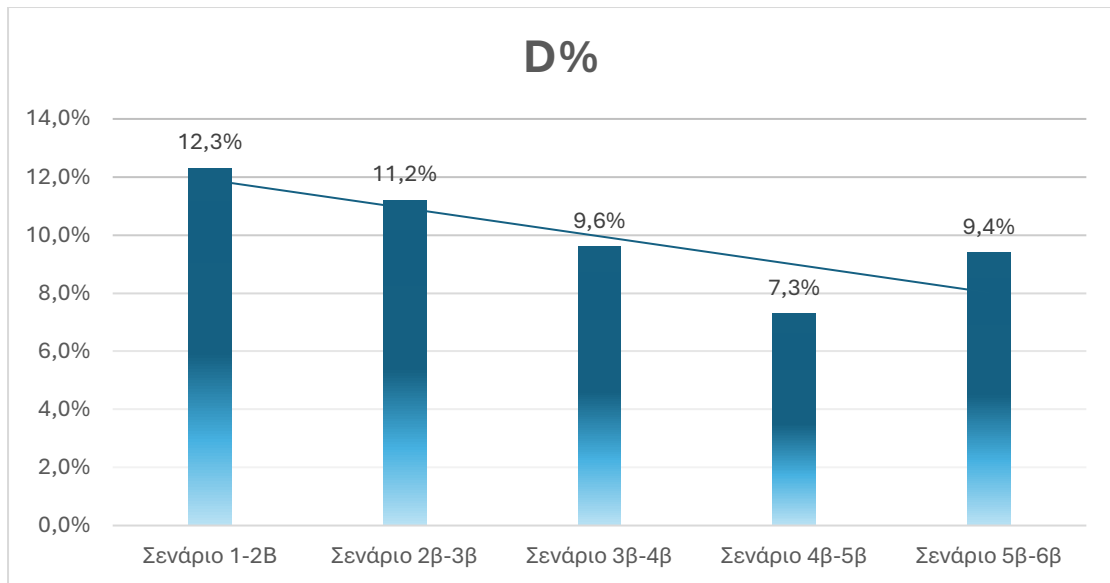
Εικόνα 30: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή1, 20 έτη.

Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 20 έτη ανάλυσης.



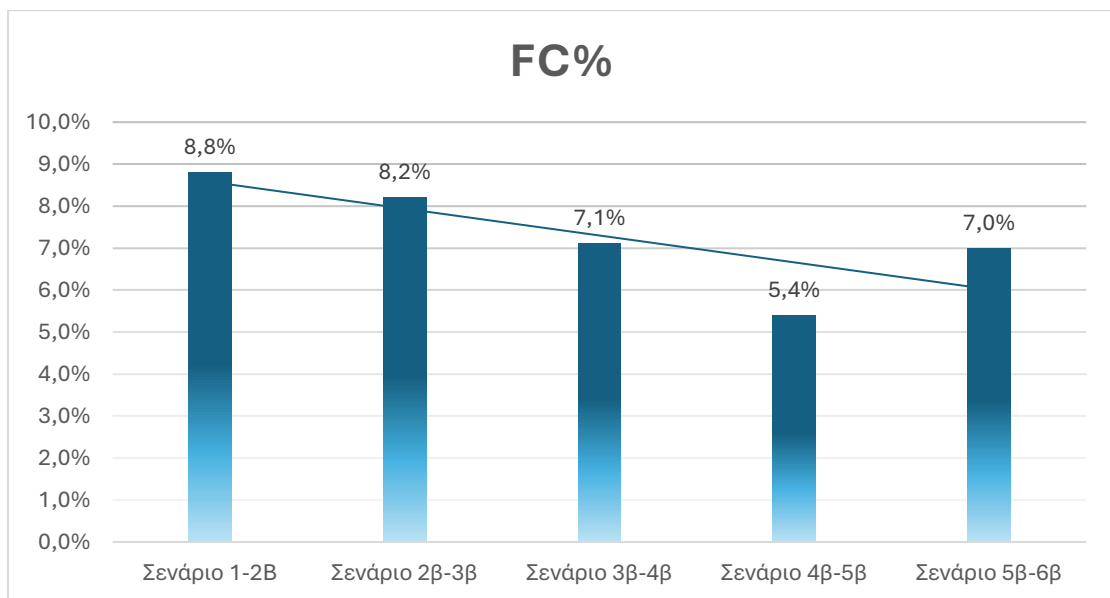
Εικόνα 31: Δείκτης FC και D, διατομή1, 20 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 32.



Εικόνα 32: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή1, 20 έτη.

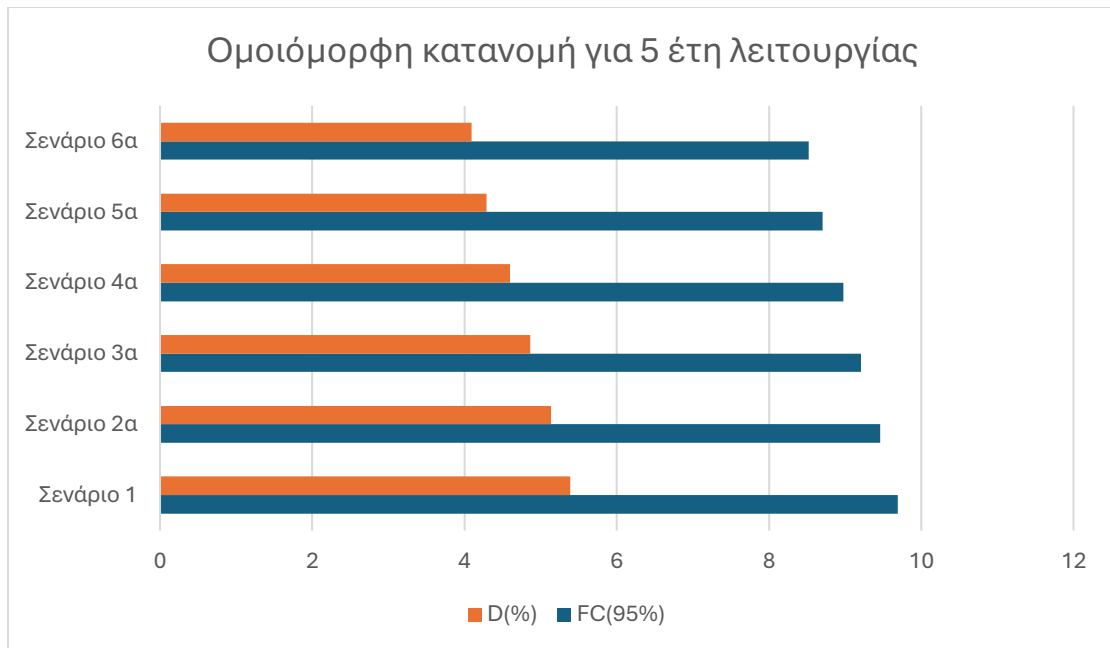
Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 33.



Εικόνα 33: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή1, 20 έτη.

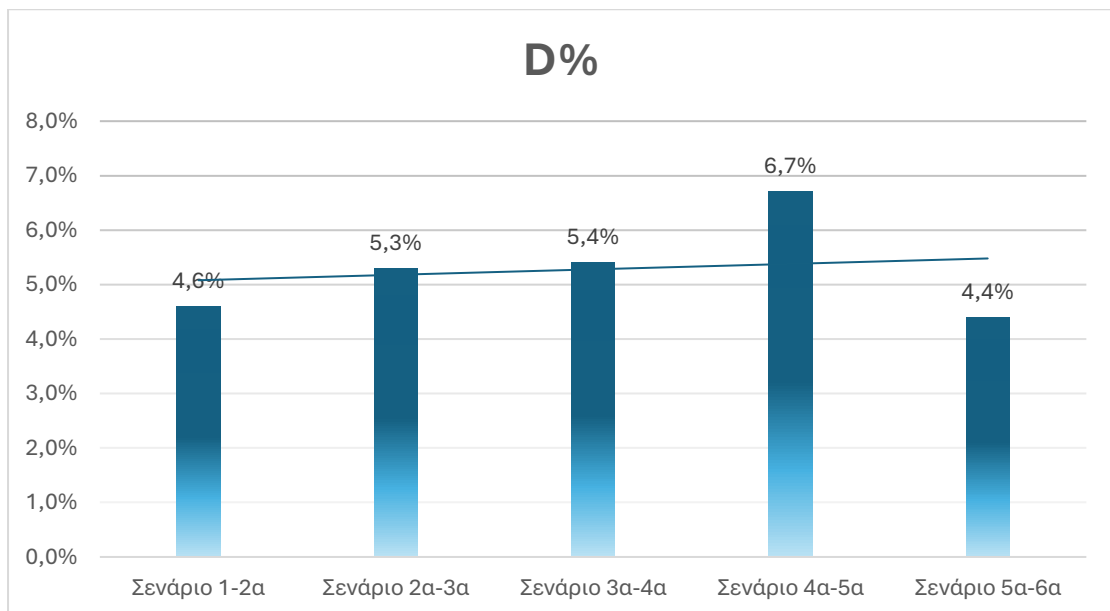
7.2 Τυπική Διατομή 2

Στην Εικόνα 34 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και για 5 έτη ανάλυσης.



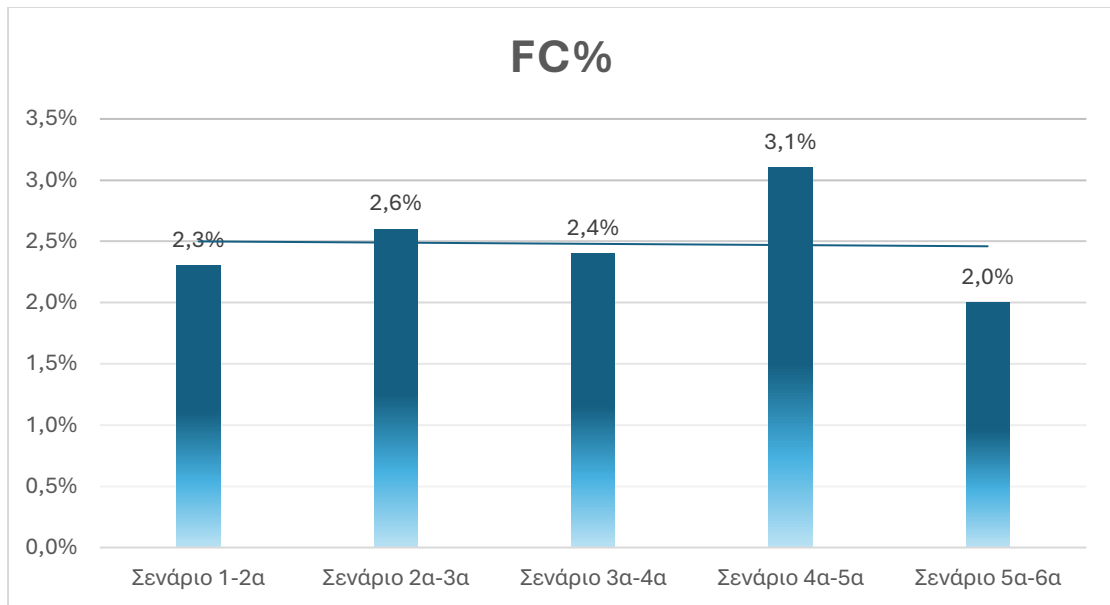
Εικόνα 34: Δείκτης FC και D, διατομή2, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 35.



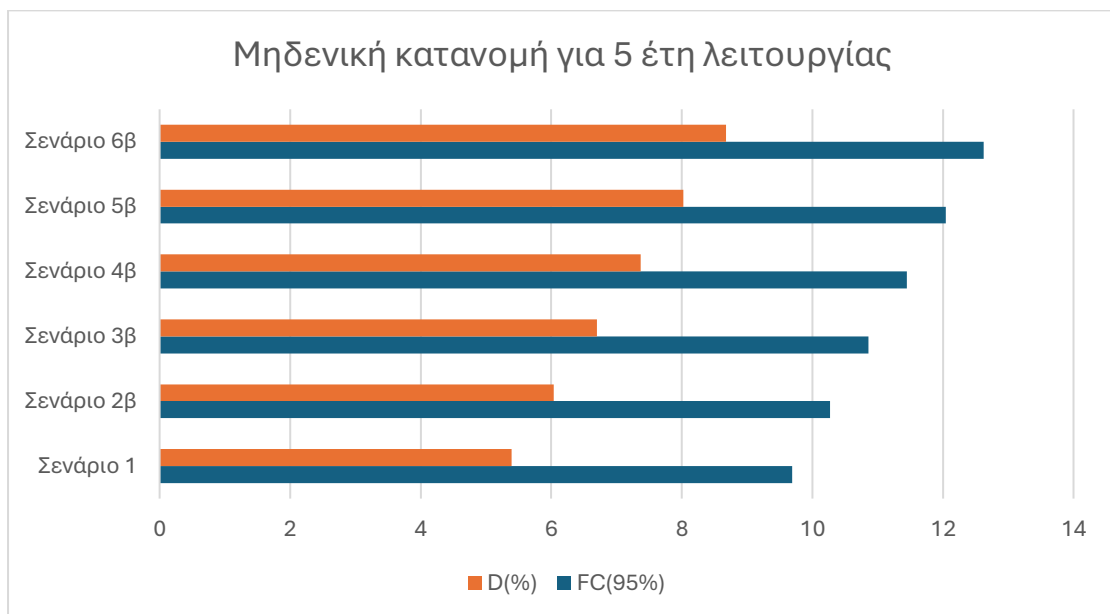
Εικόνα 35: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή2, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγατορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 36.



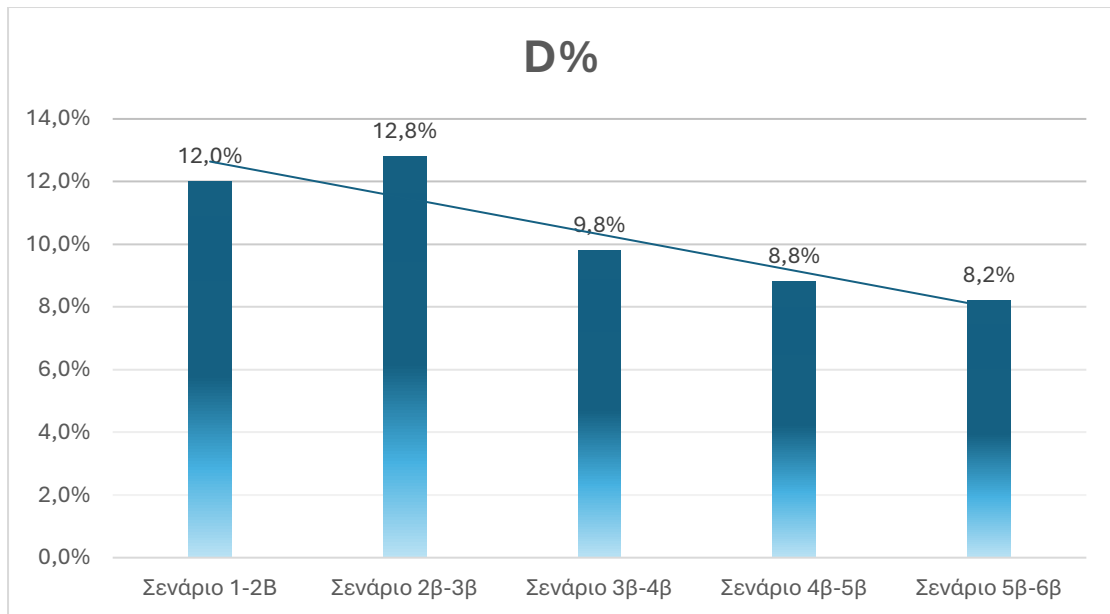
Εικόνα 36: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή2, 5 έτη.

Στην Εικόνα 37 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 5 έτη ανάλυσης.



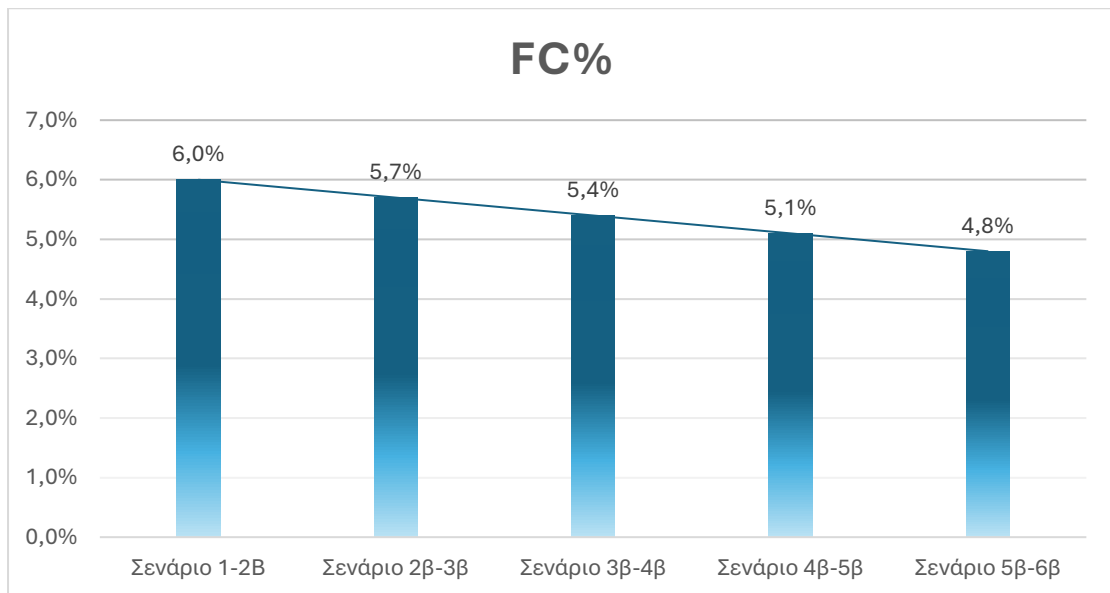
Εικόνα 37: Δείκτης FC και D, διατομή2, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 38.



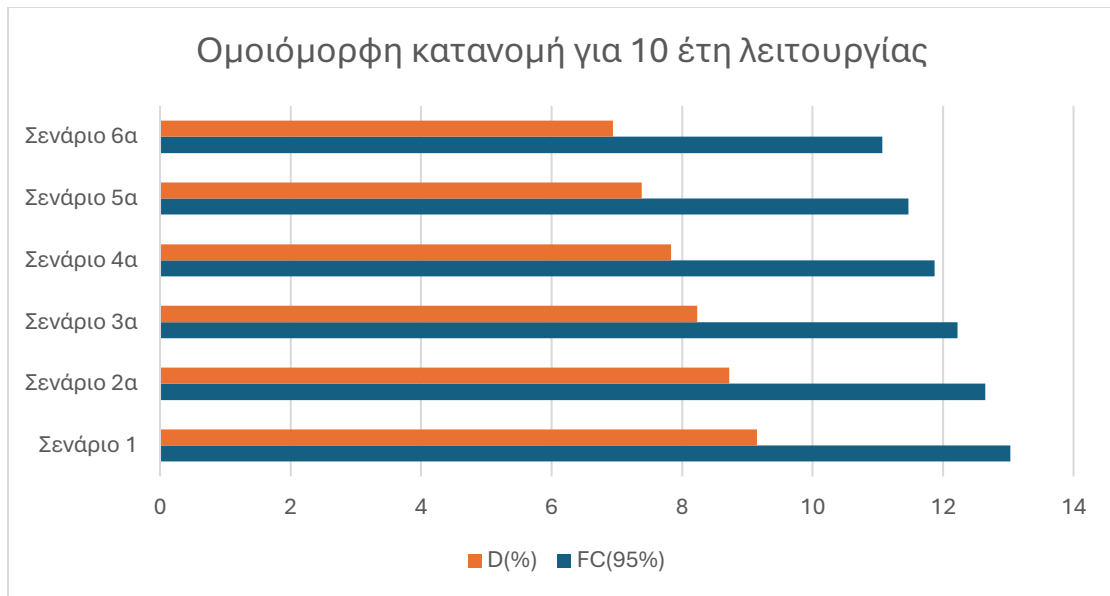
Εικόνα 38: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή2, 5 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 5 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 39.



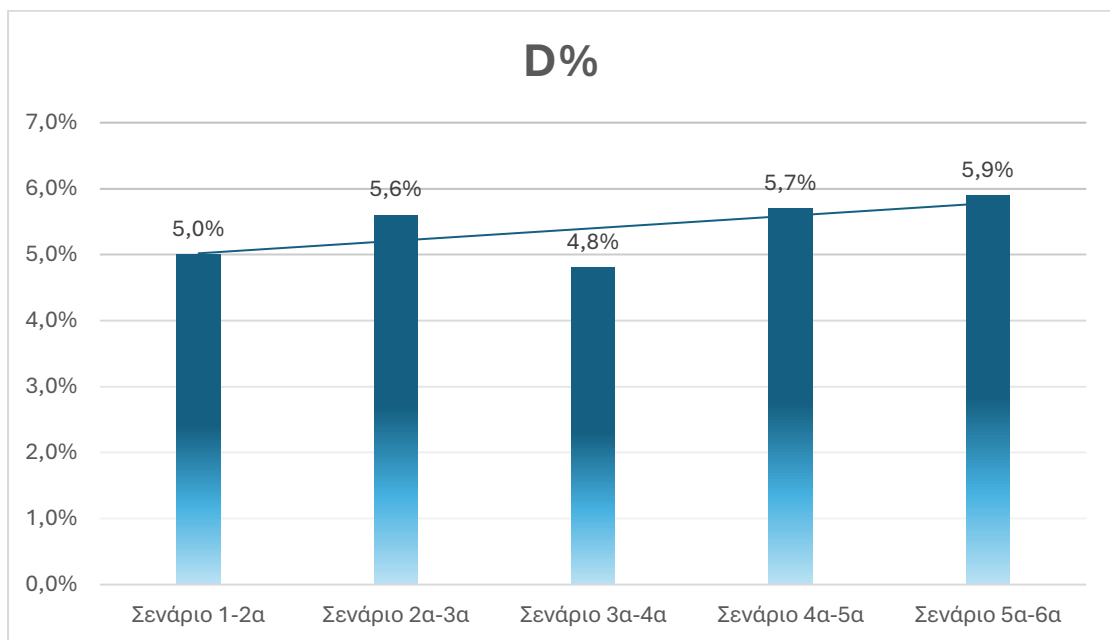
Εικόνα 39: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή2, 5 έτη.

Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και τα 10 έτη ανάλυσης.



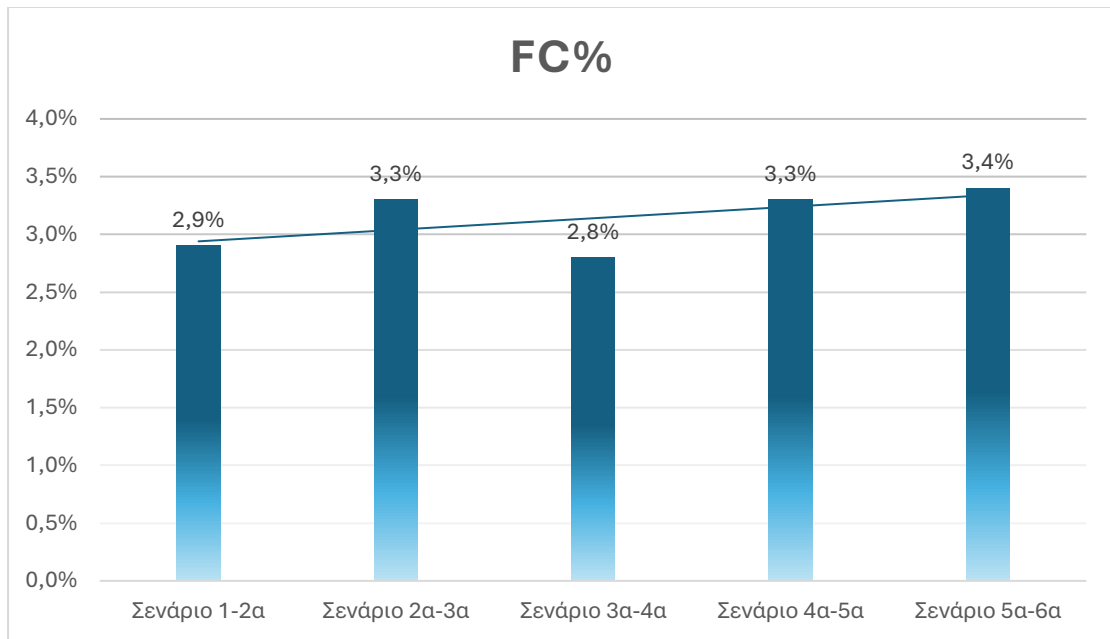
Εικόνα 40: Δείκτη FC και D, διατομή2, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 41.



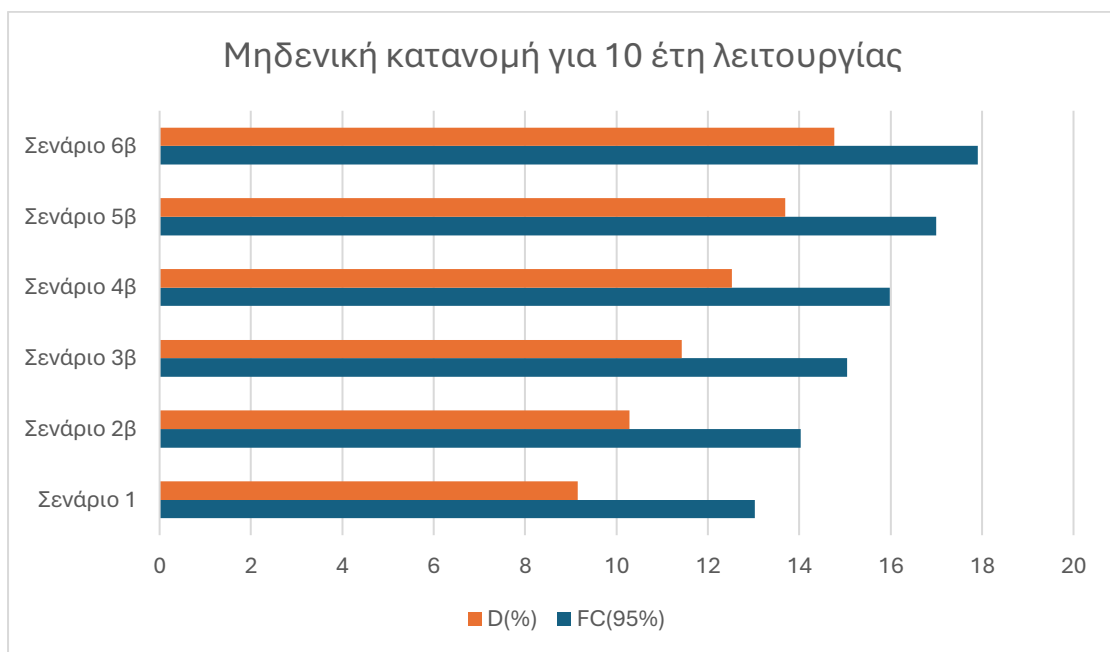
Εικόνα 41: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή2, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγατορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 42.



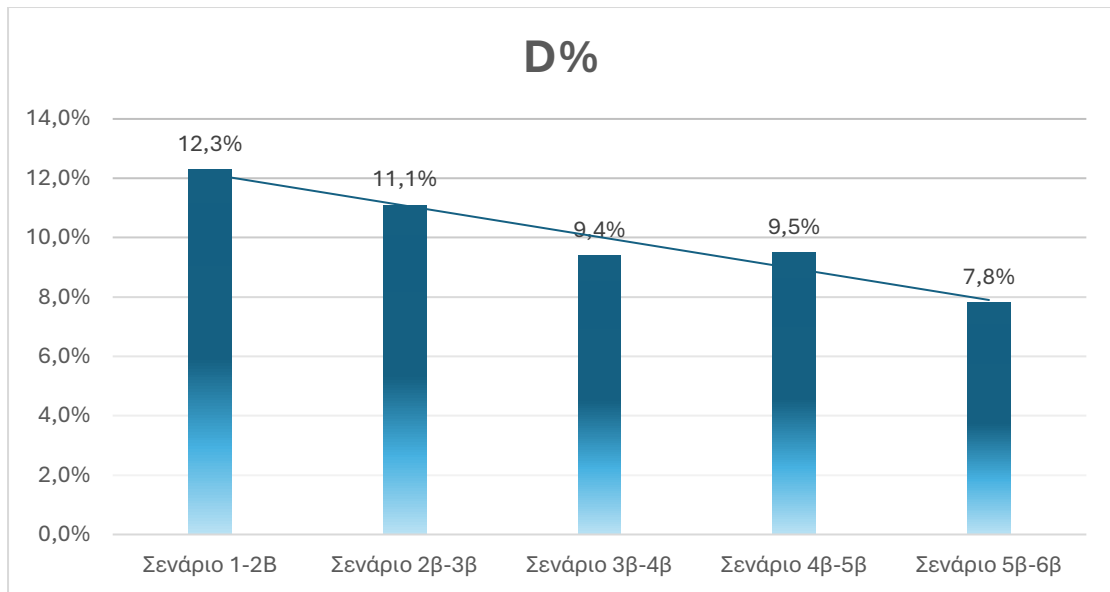
Εικόνα 42: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή2, 10 έτη.

Στην Εικόνα 43 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 10 έτη ανάλυσης.



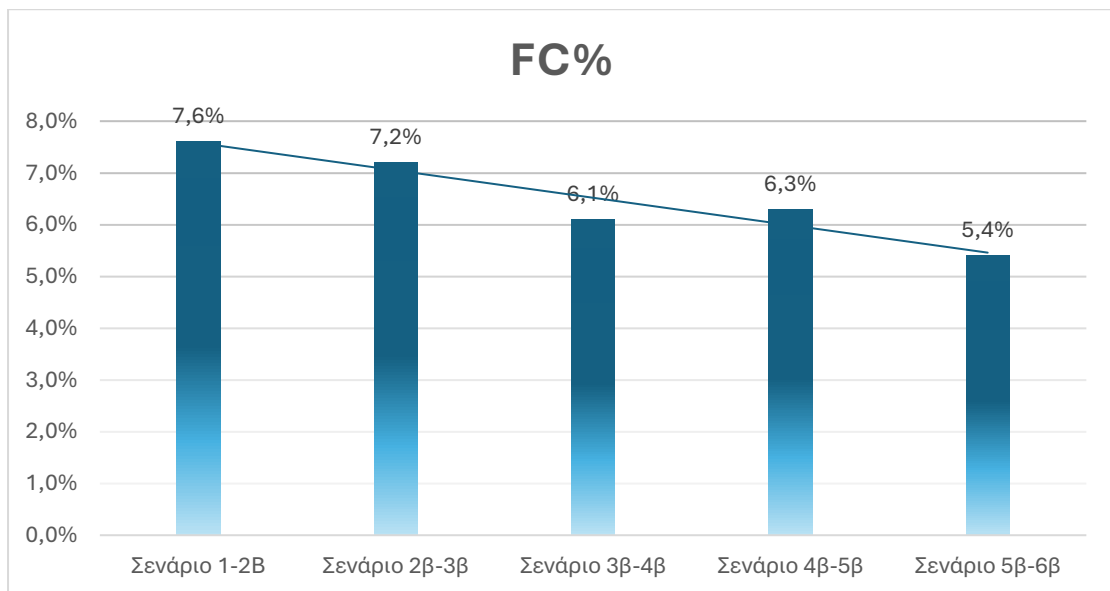
Εικόνα 43: Δείκτης FC και D, διατομή2, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 44.



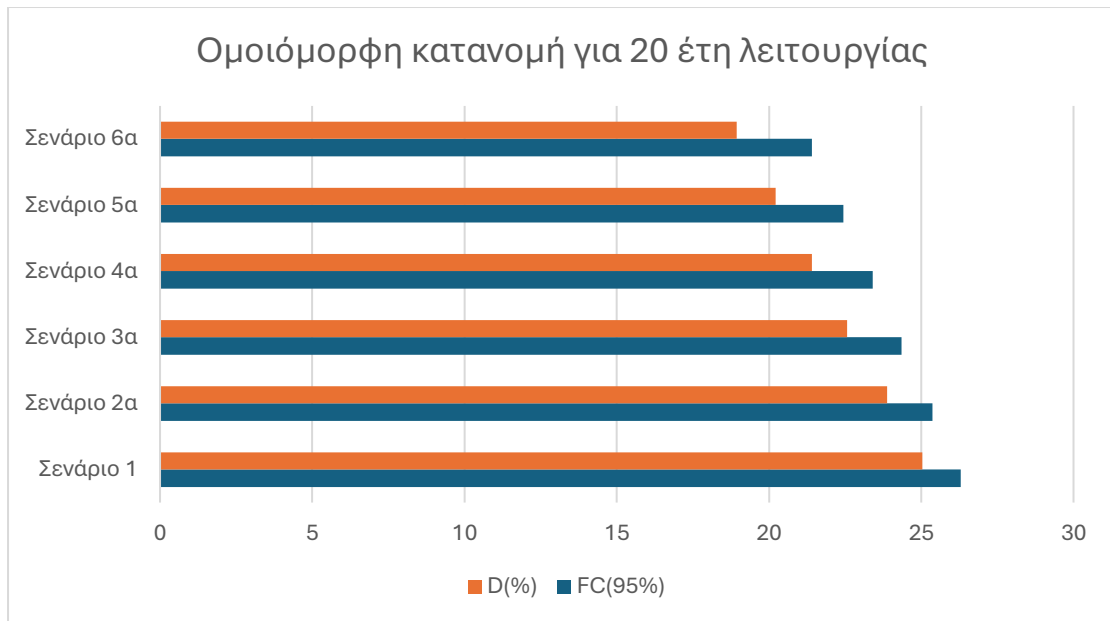
Εικόνα 44: Ρυθμός μεταβολής δείκτη D, διατομή2, 10 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 10 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 45.



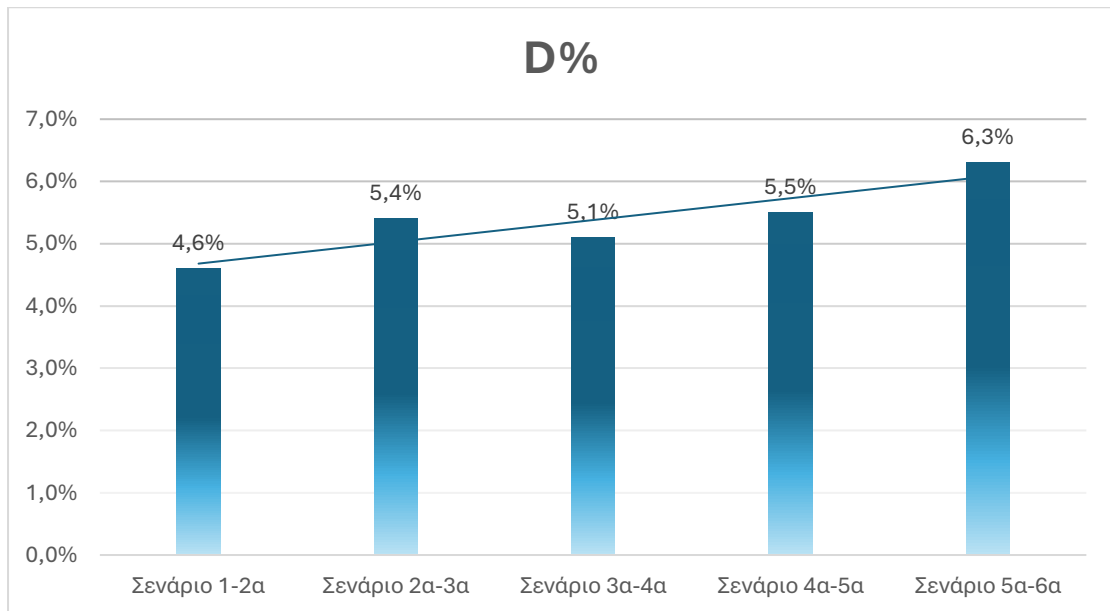
Εικόνα 45: Ρυθμός μεταβολής δείκτη FC, διατομή2, 10 έτη.

Στην Εικόνα 46 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή και τα 20 έτη ανάλυσης.



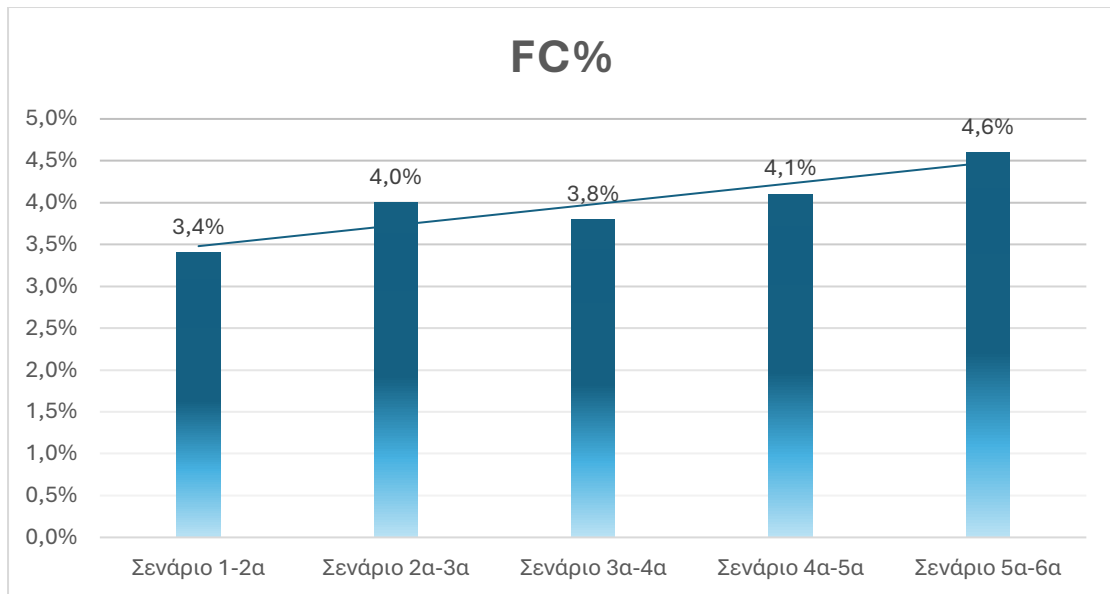
Εικόνα 46: Δείκτη FC και D, διατομή2, 20 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 47.



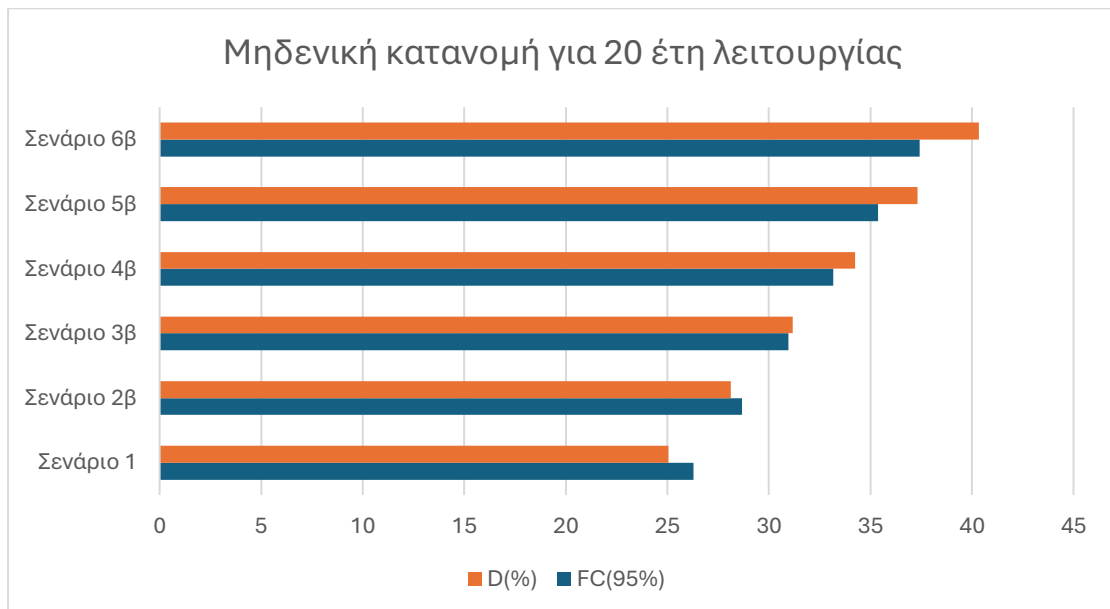
Εικόνα 47: Ρυθμός μεταβολής D, διατομή2, 20 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 48.



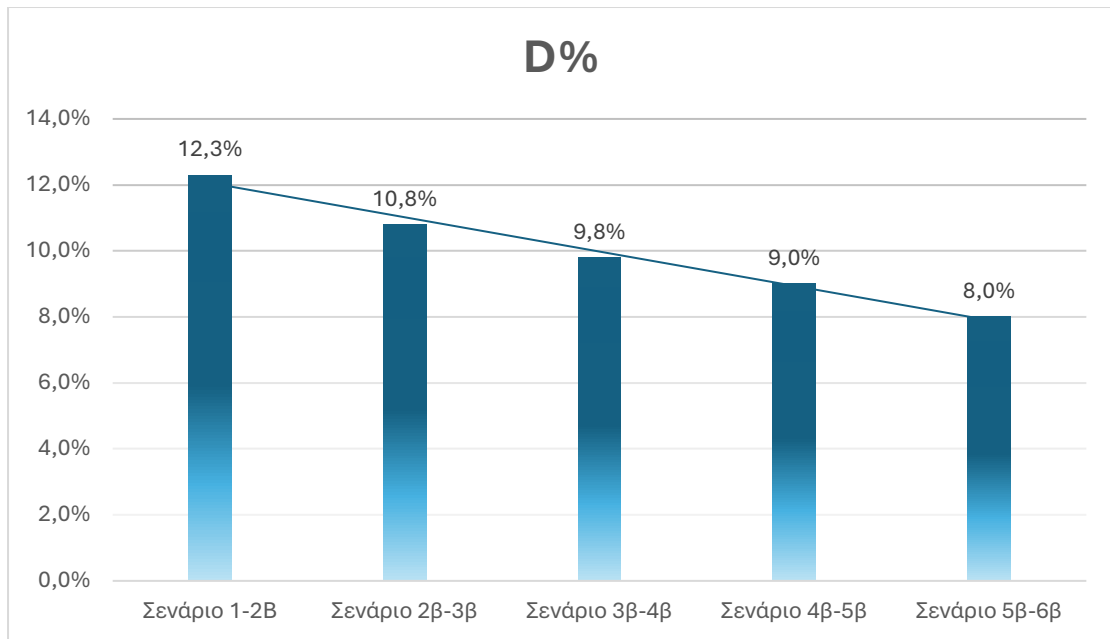
Εικόνα 48: Ρυθμός μεταβολής FC, διατομή2, 20 έτη.

Στην Εικόνα 49 παρουσιάζεται ο δείκτης φθοράς D και ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή και τα 20 έτη ανάλυσης.



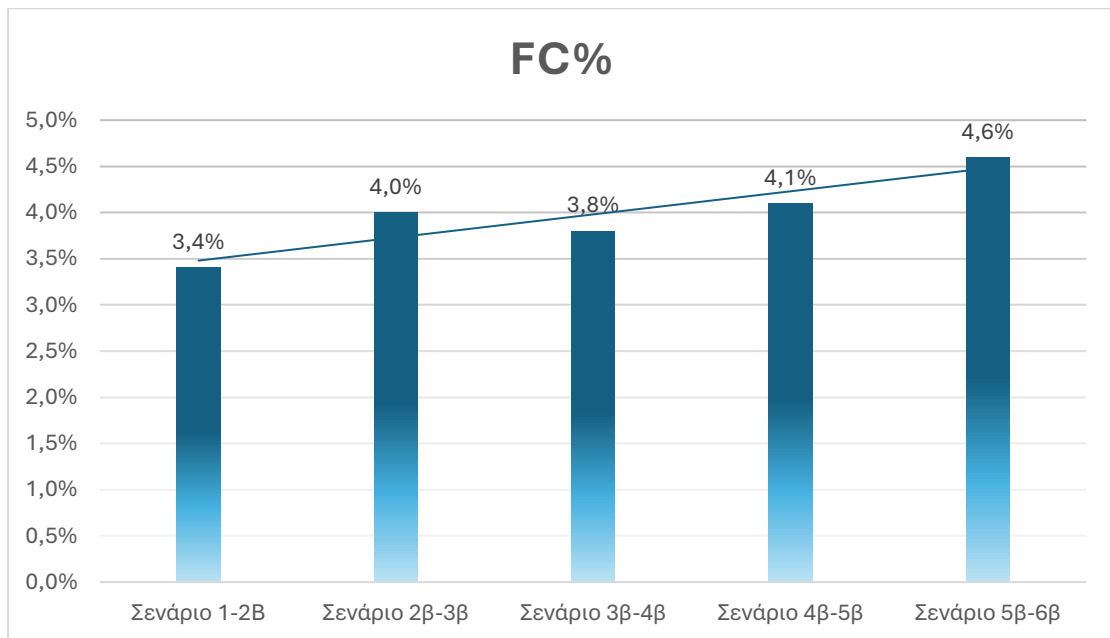
Εικόνα 49: Δείκτη FC και D, διατομή2, 33 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 50.



Εικόνα 50: Ρυθμός μεταβολής D, διατομή2, 20 έτη.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων και 20 έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 51.

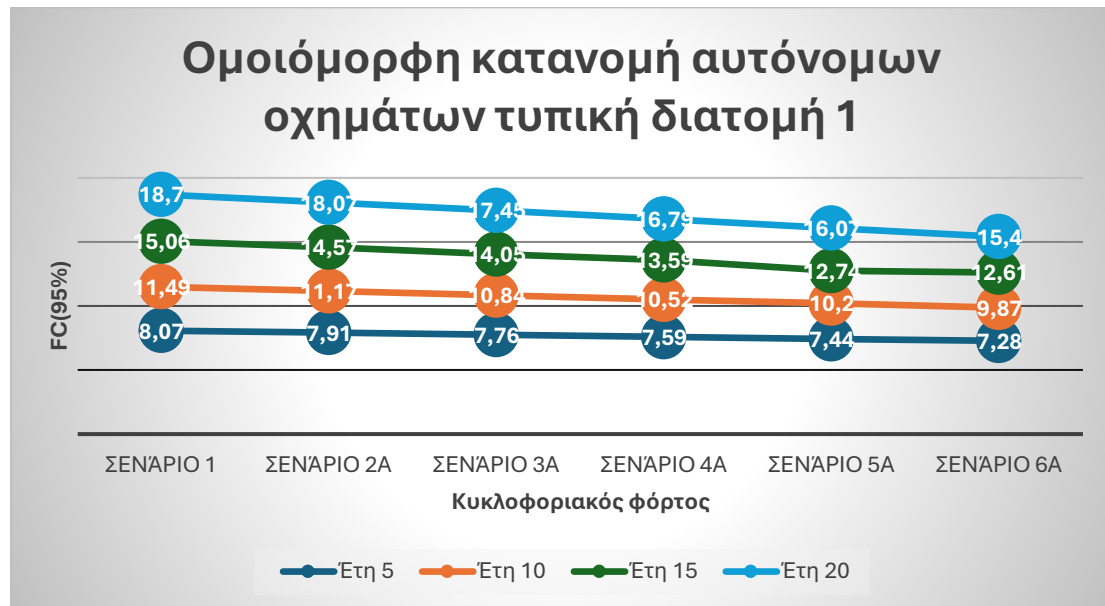


Εικόνα 51: Ρυθμός μεταβολής FC, διατομή2, 20 έτη.

7.3 Συγκριτική Αξιολόγηση

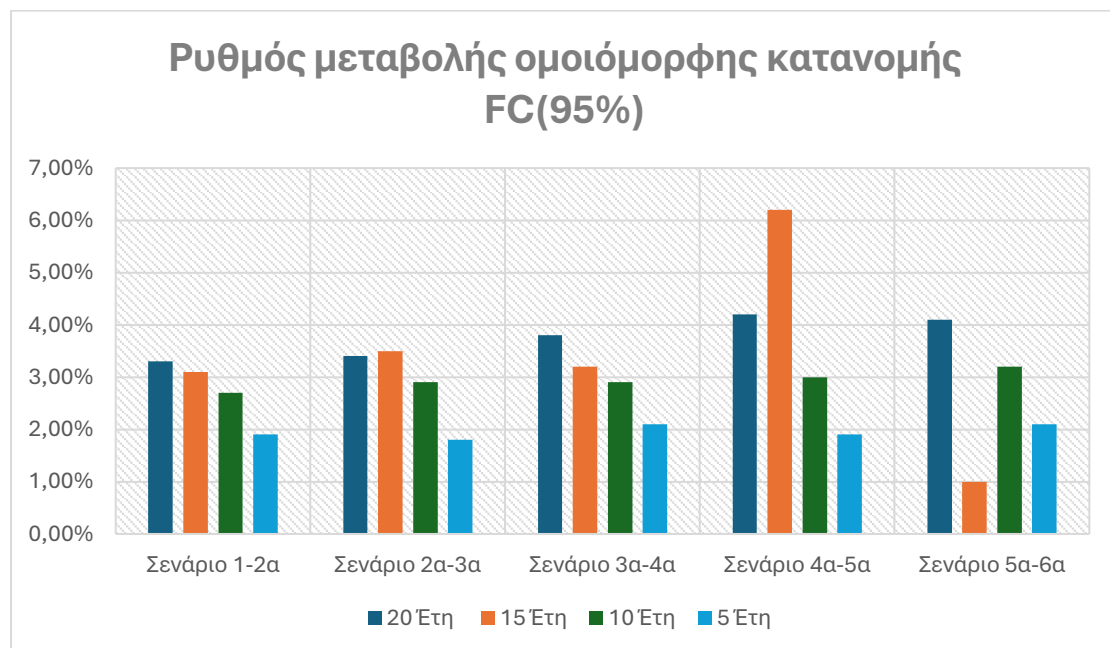
Στα διαγράμματα που ακολουθούν έχουμε συνολικά την ζημιά λόγω των αλιγοτορικών ρηγματώσεων, αλλά και φθοράς του οδοστρώματος για όλα τα έτη και ποσοστά των αυτόνομων οχημάτων για την τυπική διατομή 1. Αρχικά για την περίπτωση λόγω των αλιγοτορικών ρηγματώσεων φαίνεται πως όταν αυξάνεται το ποσοστό των αυτόνομων οχημάτων υπάρχει σημαντική μείωση στην ζημιά λόγω

ρηγματώσης με την πάροδο των χρόνων. Επίσης για την φθορά του οδοστρώματος λόγω κόπωσης φαίνεται πως και εκεί υπάρχει μεγάλη μείωση όσο περνάνε τα χρόνια και αυξάνεται το ποσοστό των αυτόνομων οχημάτων. Στην εικόνα 52 παρουσιάζεται ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



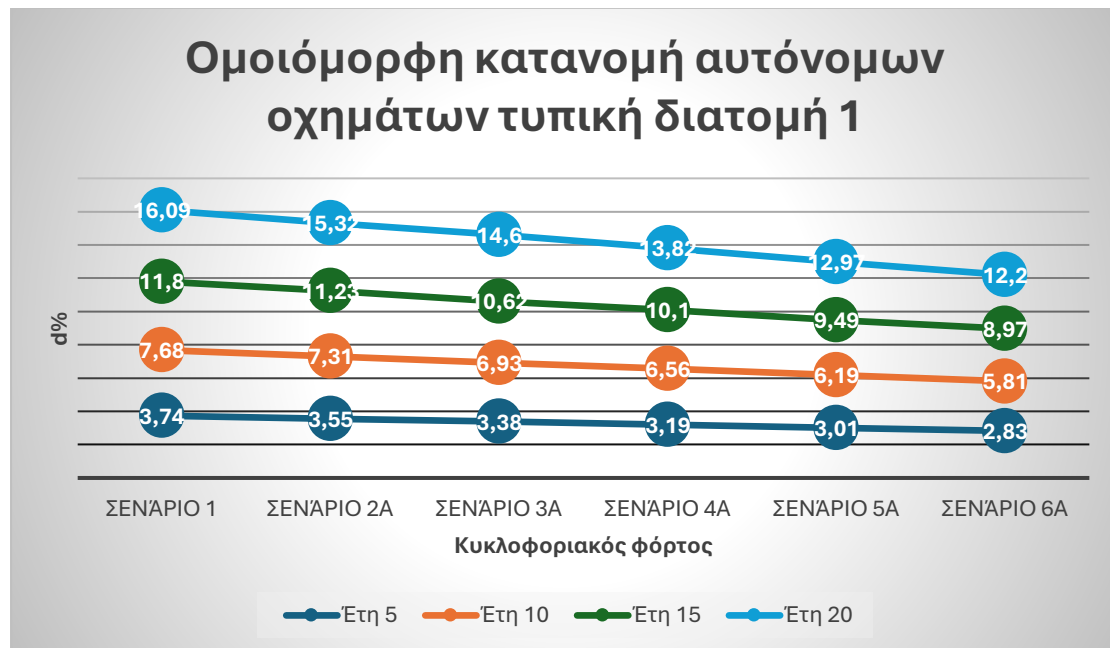
Εικόνα 52: Δείκτης FC, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 53.



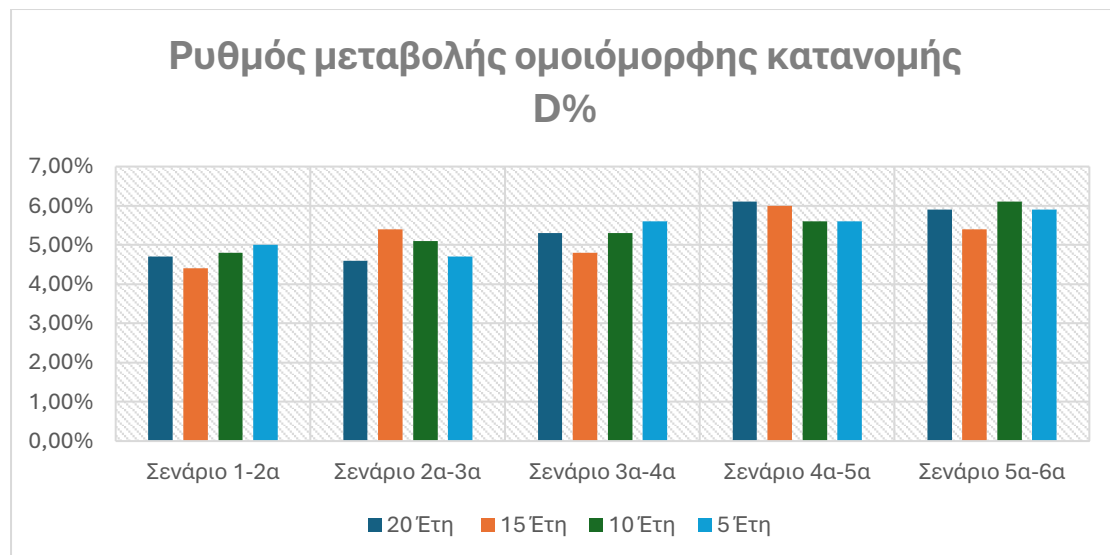
Εικόνα 53: Ρυθμός μεταβολής FC, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Στην εικόνα 54 παρουσιάζεται ο δείκτης D για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



Εικόνα 54: Δείκτης D , διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

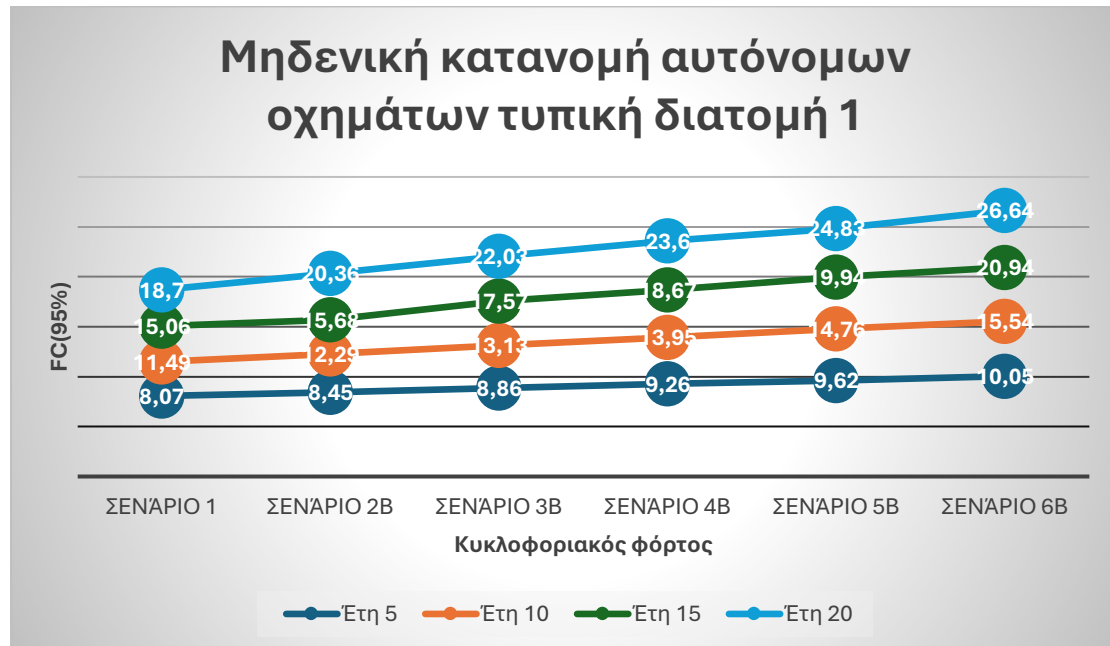
Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 55.



Εικόνα 55: Ρυθμός μεταβολής D, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

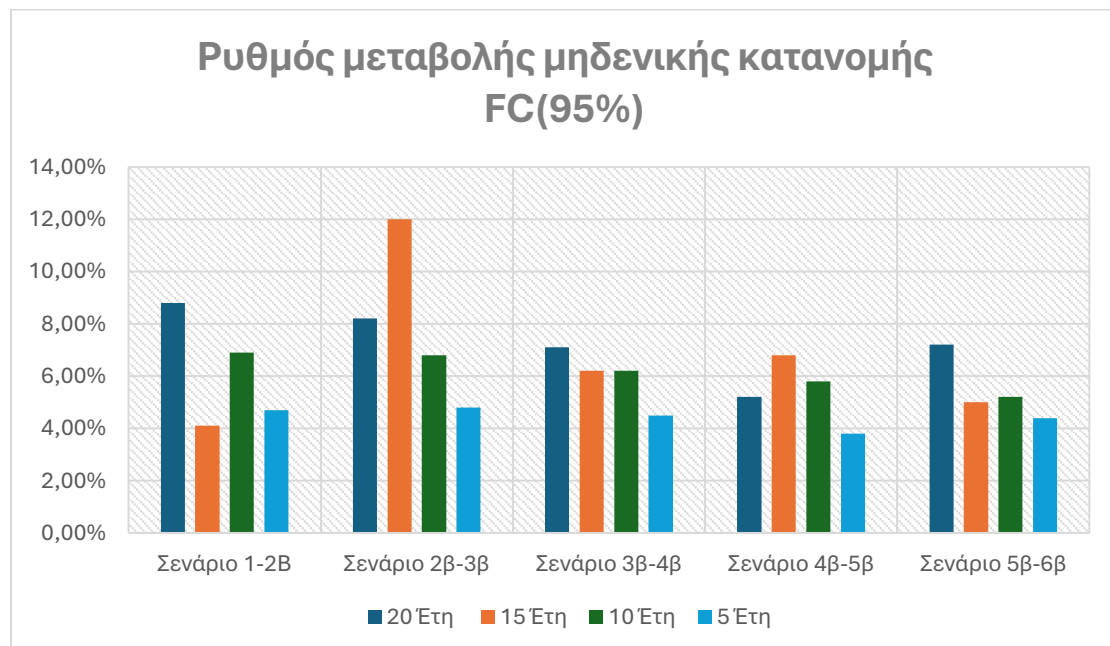
Όταν τα αυτόνομα οχήματα έχουν μηδενική κατανομή και φτάσουν στο σημείο να είναι 100% συμπεραίνουμε πως η ζημιά λόγω αλιγοτορικών ρηγματώσεων θα έρθει νωρίτερα. Θα μπορούσαμε να πούμε πως όταν τα αυτόνομα οχήματα έχουν ομοιόμορφη κατανομή τότε υπάρχει σημαντική βελτίωση στην συμπεριφορά του

οδοστρώματος όσον αφορά την ζημιά λόγω φθοράς αλλά και ρηγματώσης. Αντίθετα στην περίπτωση όπου τα αυτόνομα οχήματα έχουν μηδενική κατανομή θα φέρουν σε λιγότερο χρόνο το οδόστρωμα αντιμέτωπο με την ζημιά φθοράς και ρηγματώσης. Στην εικόνα 56 παρουσιάζεται ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



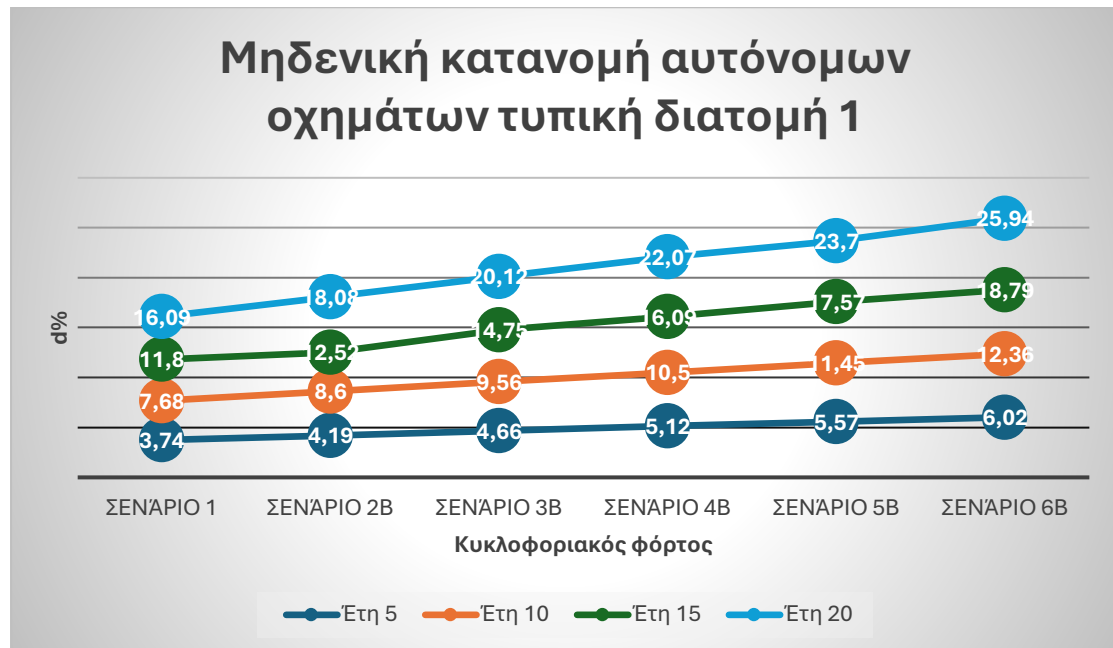
Εικόνα 56: Δείκτης FC, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγατορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 57.



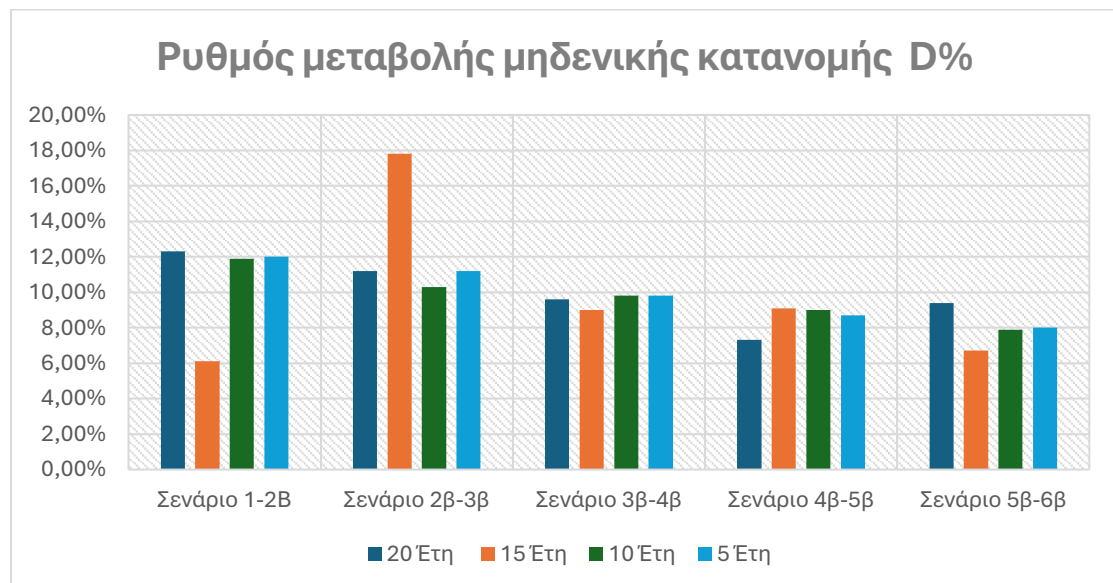
Εικόνα 57: Ρυθμός μεταβολής FC, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Στην εικόνα 58 παρουσιάζεται ο δείκτης D για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



Εικόνα 58: Δείκτης D, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

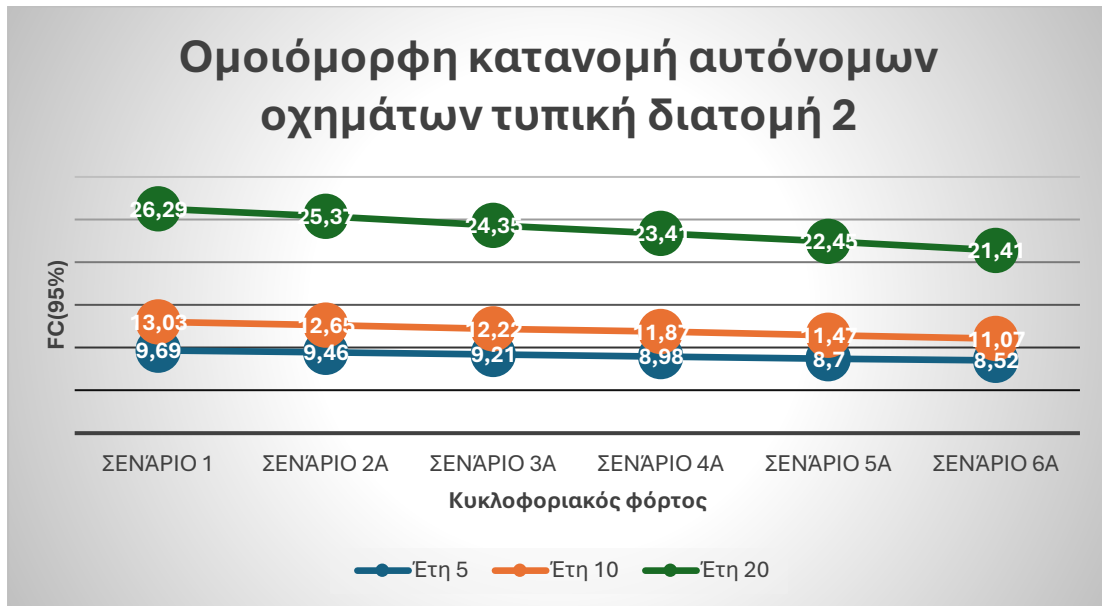
Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη D για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 59.



Εικόνα 59: Ρυθμός μεταβολής D, διατομή 1, για όλα τα έτη ανάλυσης.

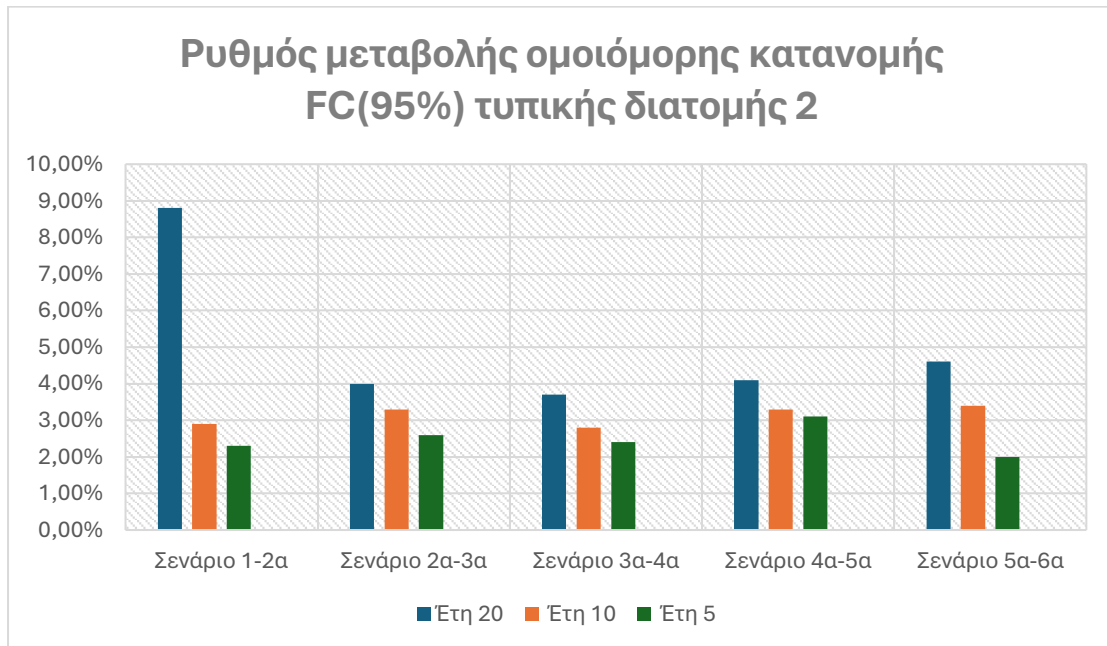
Στα παρακάτω διαγράμματα βλέπουμε μια συνολική εικόνα για την τυπική διατομή 2 ανάλογα τα έτη και το ποσοστό των αυτόνομων οχημάτων τον δείκτη φθοράς, αλλά και τις αλιγοτορικές ρηγματώσεις στο οδόστρωμα. Ένα συμπέρασμα που μπορούμε

να βγάλουμε, είναι ότι και στις δύο περιπτώσεις μειώνονται οι φθορές στο οδόστρωμα όσο αυξάνονται τα αυτόνομα οχήματα για ομοιόμορφη κατανομή. Συνεπώς στο ενδεχόμενο αυτό, τα αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή ευνοούν την μακροζωία του οδοστρώματος κάτι το οποίο είναι και το ζητούμενο. Στην εικόνα 60 παρουσιάζεται ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



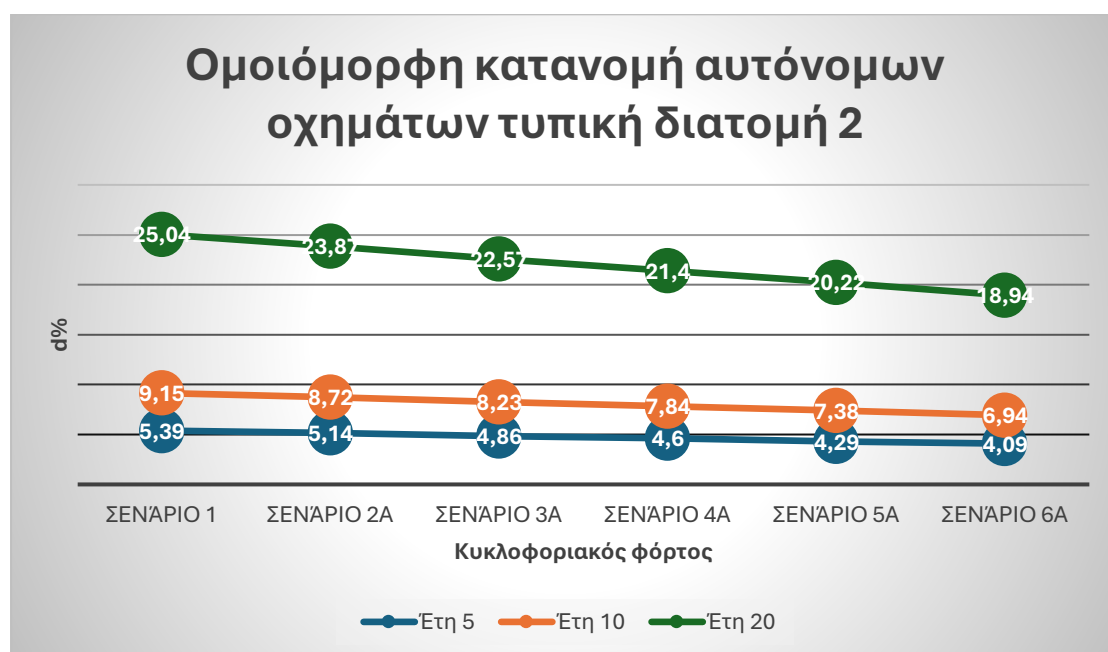
Εικόνα 60: Δείκτης FC, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοατορικών ρηγματώσεων για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 61.



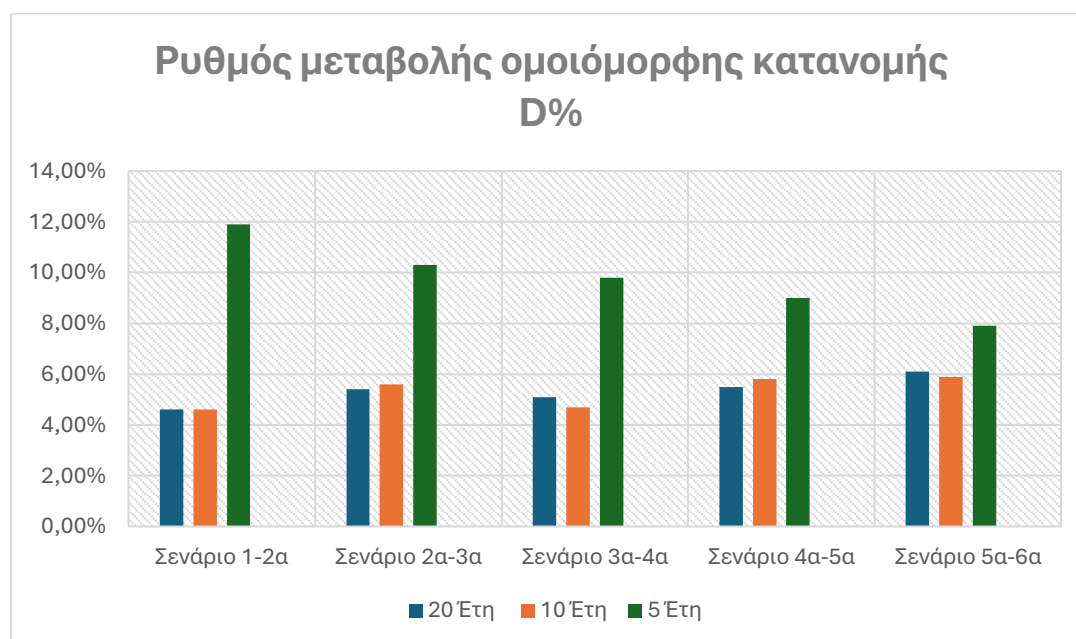
Εικόνα 61: Ρυθμός μεταβολής FC, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Στην εικόνα 62 παρουσιάζεται ο δείκτης D για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



Εικόνα 62: Δείκτης D, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

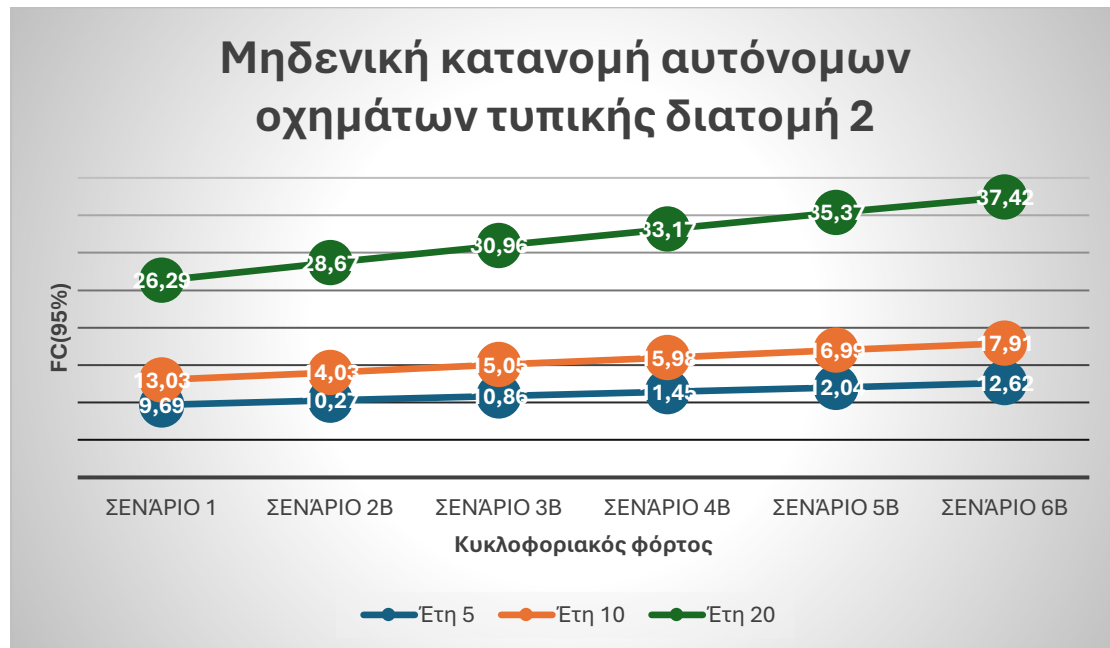
Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη φθοράς για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 63.



Εικόνα 63: Ρυθμός μεταβολής D, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

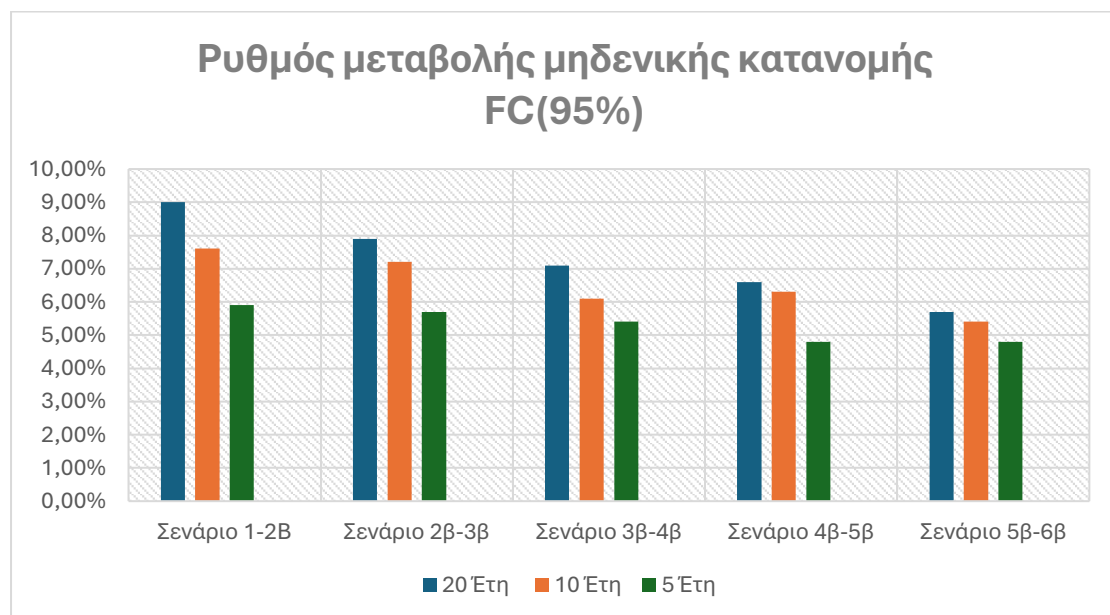
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα των αυτόνομων οχημάτων για μηδενική κατανομή. Αντιθέτως με την ομοιόμορφη κατανομή βλέπουμε πως τα αυτόνομα

οχήματα με μηδενική κατανομή καταπονούν και στις δύο καταστάσεις το εύκαμπτο οδόστρωμα πολύ περισσότερο κάτι το οποίο δεν θέλουμε. Στην εικόνα 64 παρουσιάζεται ο δείκτης FC για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



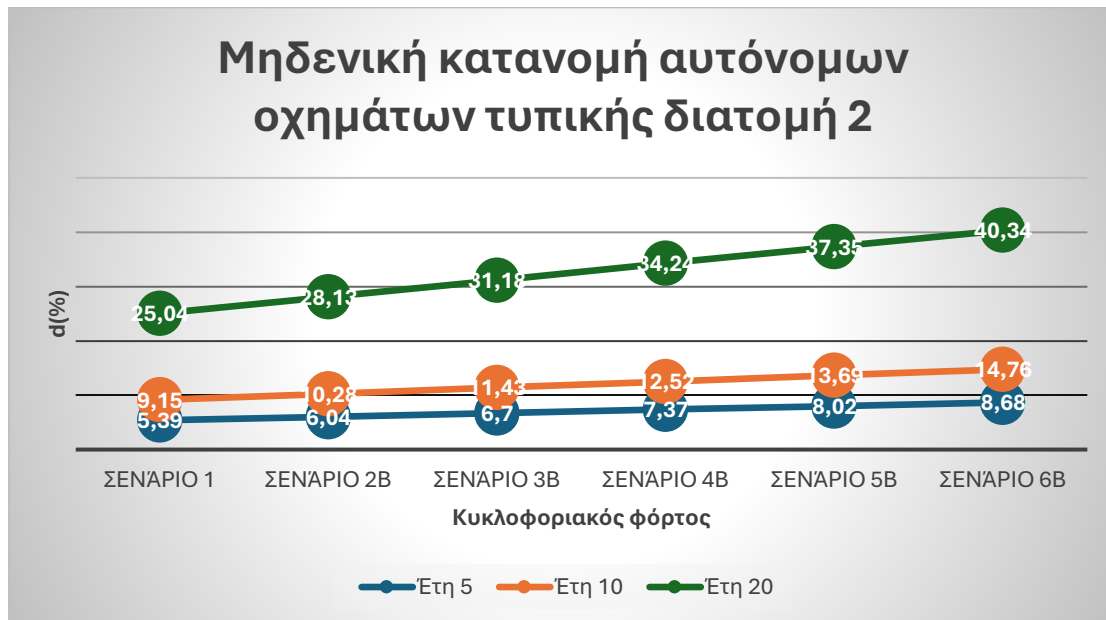
Εικόνα 64: Δείκτης FC, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αλιγοτορικών ρηγματώσεων για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 65.



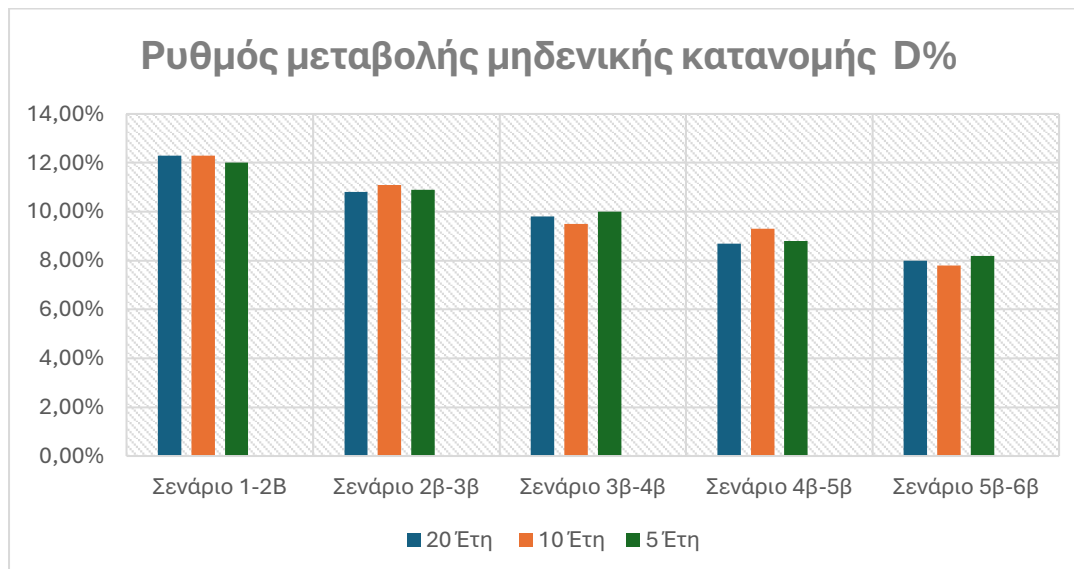
Εικόνα 65: Ρυθμός μεταβολής FC, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Στην εικόνα 66 παρουσιάζεται ο δείκτης D για τα διάφορα σενάρια κυκλοφορίας όπου τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν την μηδενική κατανομή για όλα τα έτη ανάλυσης.



Εικόνα 66: Δείκτης D, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

Ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη D για μηδενική κατανομή των αυτόνομων οχημάτων για όλα τα έτη ανάλυσης παρουσιάζεται στην εικόνα 67.



Εικόνα 67: Ρυθμός μεταβολής D, διατομή 2, για όλα τα έτη ανάλυσης.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της σταδιακής εισόδου των αυτόνομων βαρέων οχημάτων στη συμπεριφορά των εν λειτουργία οδοστρωμάτων. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ερευνητική διαδικασία που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του δείκτη D και FC για διάφορα σενάρια κυκλοφορίας σε βάθος χρόνου. Από την ανάλυση και επεξεργασία των στοιχείων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Για την περίπτωση όπου έχουμε την ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων διαπιστώθηκε ότι η τιμή της φθοράς είναι μικρότερη και κατά επέκταση επιβραδύνεται η αστοχία του οδοστρώματος λόγω αλληγορικών ρηγματώσεων. Πιο συγκεκριμένα για την τυπική διατομή 1 η φθορά λόγω αλληγορικών ρηγματώσεων στα 5 έτη ανάλυσης είναι 8,07 % όταν η κυκλοφορία αποτελείται μόνο από μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή της περιπλάνησης τροχού. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή ο δείκτης αλληγορικών ρηγματώσεων αγγίζει το 7,91%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με ομοιόμορφη κατανομή τότε το FC(95%) πλησιάζει το 7,76%. Όταν θα υπερσχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με ομοιόμορφη κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) θα είναι στο 7,59%. Παρατηρείται μείωση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης των αλληγορικών ρηγματώσεων φτάνει την τιμή του 7,44%. Τέλος όταν πλέον όλα τα οχήματα είναι αυτόνομα ο δείκτης FC(95%) φτάνει στο 7,28%. Έπειτα για τα 20 έτη ανάλυσης, ο δείκτης FC(95%) για τα μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 100% ανέρχεται στο 18,7%, ενώ για 100% αυτόνομα οχήματα προκύπτει ο δείκτης FC(95%) στο 15,4%. Στα μεταβατικά στάδια της ενσωμάτωσης των αυτόνομων οχημάτων όταν η κυκλοφορία αποτελείται από 80% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και το 20% από αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) αγγίζει την τιμή 18,07%. Στην συνέχεια στο σενάριο να αποτελείται από 60% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 40% από αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής έχουμε αλληγορικές ρηγματώσεις της τάξης του 17,45%. Επιπλέον όταν έχουμε μη αυτόνομα οχήματα 40% κανονικής κατανομής και 60% αυτόνομων οχημάτων ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης FC(95%) είναι 16,79. Στο σενάριο ότι έχουμε 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής έχουμε τιμή αλληγορικών ρηγματώσεων στο 16,07%. Ο ρυθμός μεταβολής για τον δείκτη FC(95%) κυμαίνεται στο 2% για όλα τα σενάρια κυκλοφορίας για τα 5 έτη ανάλυσης και δεν παρατηρείται μεγάλη απόκλιση όταν μεταβάλλεται το ποσοστό των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφορία. Επίσης, για τα 20 έτη ανάλυσης ο ρυθμός μεταβολής για τις αλληγορικές ρηγματώσεις κυμαίνεται στο 3-4% για όλα τα σενάρια κυκλοφορίας. Όσον αφορά το δείκτη φθοράς (D)

για την τυπική διατομή 1 και για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων, διαπιστώθηκε ότι για τα 5 έτη ανάλυσης η φθορά ανέρχεται στο 3,74% για 100% κυκλοφορία από μη αυτόνομα οχήματα. Όταν η κυκλοφορία αποτελείται από 100% αυτόνομα οχήματα η φθορά του οδοστρώματος ανέρχεται στο 2,83%. Για 80% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 20% αυτόνομων οχημάτων ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης D% φτάνει στο 3,55%. Στην συνέχεια όταν έχουμε 60% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 40% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης D% αγγίζει το 3,38%. Παρατηρείται μια μικρή μείωση με την αύξηση των αυτόνομων οχημάτων και όσον αφορά τον δείκτη φθοράς. Έπειτα όταν έχουμε 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης φθοράς είναι στο 3,01%. Για τα 20 έτη ανάλυσης, ο δείκτης D με 100% μη αυτόνομα οχήματα ανέρχεται στο 16,09%. Ωστόσο, για 100% αυτόνομα οχήματα ο δείκτης D είναι ίσος με 12,2%. Για 80% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 20% αυτόνομων οχημάτων ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης D% φτάνει στο 15,32%. Στην συνέχεια όταν έχουμε 60% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 40% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης D% αγγίζει το 14,6%. Παρατηρείται μια μικρή μείωση με την αύξηση των αυτόνομων οχημάτων και όσον αφορά τον δείκτη φθοράς. Όταν η πλειοψηφία της κυκλοφορίας αποτελείται από αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής στο 60% και μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε η ζημιά φθοράς του οδοστρώματος είναι στο 13,82%. Έπειτα όταν έχουμε 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης φθοράς είναι στο 12,97%. Ο ρυθμός μεταβολής για τον δείκτη D για την ομοιόμορφη κατανομή και 5 έτη ανάλυσης βρίσκεται κοντά στο 4-6%. Αυτό το ποσοστό αφορά όλα τα σενάρια κυκλοφορίας. Αντίστοιχα, για τα 20 έτη το εύρος του ρυθμού μεταβολής είναι το ίδιο με τα 5 έτη ανάλυσης. Συνεπώς, όταν τα αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή αποτελούν το 100% της κυκλοφορίας, τότε το οδόστρωμα για όλα τα έτη ανάλυσης, έρχεται σε αστοχία αργότερα σε σχέση με την κανονική κατανομή των μη αυτόνομων οχημάτων.

- Για την τυπική διατομή 1 για αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής διαπιστώθηκε επιτάχυνση της φθοράς και των αλληγορικών ρηγματώσεων. Πιο αναλυτικά, η τιμή του δείκτη FC(95%), για 100% μη αυτόνομα οχήματα και 5 έτη ανάλυσης, ανέρχεται στο 8,07%. Αντίστοιχα, για τα 5 έτη ανάλυσης και αυτόνομα οχήματα στο 100% ο δείκτης FC(95%) φτάνει την τιμή του 10,05%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή ο δείκτης αλληγορικών ρηγματώσεων αγγίζει το 8,45%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με μηδενική κατανομή τότε το FC(95%) πλησιάζει το 8,86%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με μηδενική κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) θα είναι στο 9,26%. Παρατηρείται αύξηση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα μηδενικής

κατανομής ο δείκτης των αλλιγομορφικών ρηγματώσεων φτάνει την τιμή του 9,62%. Τις ίδιες επιπτώσεις διαπιστώνουμε και για τα 20 έτη ανάλυσης αλλά σε πιο μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα, για 100% μη αυτόνομα οχήματα ο δείκτης FC(95%) είναι ίσος με 18,7%, ενώ για 100% αυτόνομα οχήματα ο δείκτης του FC(95%) αυξάνεται στο 26,64%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή ο δείκτης αλλιγομορφικών ρηγματώσεων αγγίζει το 20,36%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με ομοιόμορφη κατανομή τότε το FC(95%) πλησιάζει το 22,03%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με ομοιόμορφη κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) θα είναι στο 23,6%. Παρατηρείται μείωση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης των αλλιγομορφικών ρηγματώσεων φτάνει την τιμή του 24,83%. Ο ρυθμός μεταβολής των αλλιγομορφικών ρηγματώσεων για τα 5 έτη ανάλυσης βρίσκεται για όλα τα σενάρια κυκλοφορίας στο 3,5%-4,5%, ενώ για τα 20 έτη λειτουργίας ο ρυθμός μεταβολής καταγράφηκε στο 4,5%-8,5%. Όσον αφορά στη φθορά του οδοστρώματος, στα 5 έτη ανάλυσης και για 100% μη αυτόνομα οχήματα η τιμή της διαμορφώνεται στο 3,74% ενώ για 100% αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής και 5 έτη ανάλυσης η τιμή ανέρχεται στο 6,02%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή ο δείκτης φθοράς αγγίζει το 4,19%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με μηδενική κατανομή τότε το D% πλησιάζει το 4,66%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με μηδενική κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης D% θα είναι στο 5,12%. Παρατηρείται αύξηση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής ο δείκτης φθοράς φτάνει την τιμή του 5,57%. Στα 20 έτη ανάλυσης παρατηρείται ότι η μεταβολή της φθοράς είναι σαφώς μεγαλύτερη. Πιο αναλυτικά, για 100% μη αυτόνομα οχήματα η τιμή της φθοράς είναι 16,09% και για 100% αυτόνομα οχήματα 25,94%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή ο δείκτης φθοράς αγγίζει το 18,08%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με μηδενική κατανομή τότε το D% πλησιάζει το 20,12%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με μηδενική κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης D% θα είναι στο 22,07%. Στο σενάριο 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής έχουμε για τον δείκτη φθοράς την τιμή να ανέρχεται στο 23,7%. Συμπερασματικά, όταν τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν τη μηδενική κατανομή, η φθορά του οδοστρώματος επιταχύνεται.

- Για την περίπτωση όπου έχουμε την ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων διαπιστώθηκε ότι η τιμή της φθοράς είναι μικρότερη και κατά επέκταση επιβραδύνεται η αστοχία του οδοστρώματος λόγω αλληγορικών ρηγματώσεων. Πιο συγκεκριμένα για την τυπική διατομή 2 η φθορά λόγω αλληγορικών ρηγματώσεων στα 5 έτη ανάλυσης είναι 9,69% % όταν η κυκλοφορία αποτελείται μόνο από μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή της περιπλάνησης τροχού. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή ο δείκτης αλληγορικών ρηγματώσεων αγγίζει το 9,46%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με ομοιόμορφη κατανομή τότε το FC(95%) πλησιάζει το 9,21%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με ομοιόμορφη κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) θα είναι στο 8,98%. Παρατηρείται μείωση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης των αλληγορικών ρηγματώσεων φτάνει την τιμή του 8,7%. Τέλος όταν πλέον όλα τα οχήματα είναι αυτόνομα ο δείκτης FC(95%) φτάνει στο 8,52%. Έπειτα για τα 20 έτη ανάλυσης, ο δείκτης FC(95%) για τα μη αυτόνομα οχήματα σε ποσοστό 100% ανέρχεται στο 26,29%, ενώ για 100% αυτόνομα οχήματα προκύπτει ο δείκτης FC(95%) στο 21,41%. Στα μεταβατικά στάδια της ενσωμάτωσης των αυτόνομων οχημάτων όταν η κυκλοφορία αποτελείται από 80% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και το 20% από αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) αγγίζει την τιμή 25,37%. Στην συνέχεια στο σενάριο να αποτελείται από 60% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 40% από αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής έχουμε αλληγορικές ρηγματώσεις της τάξης του 24,35%. Επιπλέον όταν έχουμε μη αυτόνομα οχήματα 40% κανονικής κατανομής και 60% αυτόνομων οχημάτων ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης FC(95%) είναι 23,41. Στο σενάριο ότι έχουμε 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής έχουμε τιμή αλληγορικών ρηγματώσεων στο 22,45%. Ο ρυθμός μεταβολής για τον δείκτη FC(95%) κυμαίνεται στο 2-3% για όλα τα σενάρια κυκλοφορίας για τα 5 έτη ανάλυσης και δεν παρατηρείται μεγάλη απόκλιση όταν μεταβάλλεται το ποσοστό των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφορία. Επίσης, για τα 20 έτη ανάλυσης ο ρυθμός μεταβολής για τις αλληγορικές ρηγματώσεις κυμαίνεται στο 3-9% για όλα τα σενάρια κυκλοφορίας. Όσον αφορά το δείκτη φθοράς (D) για την τυπική διατομή 2 και για ομοιόμορφη κατανομή των αυτόνομων οχημάτων, διαπιστώθηκε ότι για τα 5 έτη ανάλυσης η φθορά ανέρχεται στο 5,39% για 100% κυκλοφορία από μη αυτόνομα οχήματα. Όταν η κυκλοφορία αποτελείται από 100% αυτόνομα οχήματα η φθορά του οδοστρώματος ανέρχεται στο 4,09%. Για 80% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 20% αυτόνομων οχημάτων ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης D% φτάνει στο 5,14%. Στην συνέχεια όταν έχουμε 60% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 40% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης D% αγγίζει το 4,86%. Παρατηρείται μια μικρή μείωση με την αύξηση

των αυτόνομων οχημάτων και όσον αφορά τον δείκτη φθοράς. Έπειτα όταν έχουμε 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης φθοράς είναι στο 4,6%. Για τα 20 έτη ανάλυσης, ο δείκτης D με 100% μη αυτόνομα οχήματα ανέρχεται στο 25,04%. Ωστόσο, για 100% αυτόνομα οχήματα ο δείκτης D είναι ίσος με 18,94%. Για 80% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 20% αυτόνομων οχημάτων ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης D φτάνει στο 23,87%. Στην συνέχεια όταν έχουμε 60% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 40% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης D αγγίζει το 22,57%. Παρατηρείται μια μικρή μείωση με την αύξηση των αυτόνομων οχημάτων και όσον αφορά τον δείκτη φθοράς. Όταν η πλειοψηφία της κυκλοφορίας αποτελείται από αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής στο 60% και μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε η ζημιά φθοράς του οδοστρώματος είναι στο 21,4%. Έπειτα όταν έχουμε 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής τότε ο δείκτης φθοράς είναι στο 20,22%. Ο ρυθμός μεταβολής για τον δείκτη D για την ομοιόμορφη κατανομή και 5 έτη ανάλυσης βρίσκεται κοντά στο 8-12%. Αυτό το ποσοστό αφορά όλα τα σενάρια κυκλοφορίας. Αντίστοιχα, για τα 20 έτη το εύρος του ρυθμού μεταβολής είναι 4-6%. Συνεπώς, όταν τα αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή αποτελούν το 100% της κυκλοφορίας, τότε το οδόστρωμα για όλα τα έτη ανάλυσης, έρχεται σε αστοχία αργότερα σε σχέση με την κανονική κατανομή των μη αυτόνομων οχημάτων.

- Για την τυπική διατομή 2 για αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής διαπιστώθηκε επιτάχυνση της φθοράς και των αλληγοροικών ρηγματώσεων. Πιο αναλυτικά, η τιμή του δείκτη FC(95%), για 100% μη αυτόνομα οχήματα και 5 έτη ανάλυσης, ανέρχεται στο 9,69%. Αντίστοιχα, για τα 5 έτη ανάλυσης και αυτόνομα οχήματα στο 100% ο δείκτης FC(95%) φτάνει την τιμή του 12,62%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή ο δείκτης αλληγοροικών ρηγματώσεων αγγίζει το 10,27%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με μηδενική κατανομή τότε το FC(95%) πλησιάζει το 10,86%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με μηδενική κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) θα είναι στο 11,45%. Παρατηρείται αύξηση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής ο δείκτης των αλληγοροικών ρηγματώσεων φτάνει την τιμή του 12,04%. Τις ίδιες επιπτώσεις διαπιστώνουμε και για τα 20 έτη ανάλυσης αλλά σε πιο μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα, για 100% μη αυτόνομα οχήματα ο δείκτης FC(95%) είναι ίσος με 26,29%, ενώ για 100% αυτόνομα οχήματα ο δείκτης του FC(95%) αυξάνεται στο 37,42%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή ο δείκτης αλληγοροικών ρηγματώσεων αγγίζει το 28,67%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με

ομοιόμορφη κατανομή τότε το FC(95%) πλησιάζει το 30,96%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με ομοιόμορφη κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης FC(95%) θα είναι στο 33,17%. Παρατηρείται μείωση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα ομοιόμορφης κατανομής ο δείκτης των αλληγοροικών ρηγματώσεων φτάνει την τιμή του 35,37%. Ο ρυθμός μεταβολής των αλληγοροικών ρηγματώσεων για τα 5 έτη ανάλυσης βρίσκεται για όλα τα σενάρια κυκλοφορίας στο 4.5%-6%, ενώ για τα 20 έτη λειτουργίας ο ρυθμός μεταβολής καταγράφηκε στο 5%-9%. Όσον αφορά στη φθορά του οδοστρώματος, στα 5 έτη ανάλυσης και για 100% μη αυτόνομα οχήματα η τιμή της διαμορφώνεται στο 5,39% ενώ για 100% αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής και 5 έτη ανάλυσης η τιμή ανέρχεται στο 8,68%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή ο δείκτης φθοράς αγγίζει το 6,04%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με μηδενική κατανομή τότε το D% πλησιάζει το 6,07%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με μηδενική κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης D% θα είναι στο 7,37%. Παρατηρείται αύξηση όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται. Στην συνέχεια όταν το 80% αποτελείται από τα αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής ο δείκτης φθοράς φτάνει την τιμή του 8,02%. Στα 20 έτη ανάλυσης παρατηρείται ότι η μεταβολή της φθοράς είναι σαφώς μεγαλύτερη. Πιο αναλυτικά, για 100% μη αυτόνομα οχήματα η τιμή της φθοράς είναι 25,04% και για 100% αυτόνομα οχήματα 40,34%. Στην περίπτωση όπου έχουμε 80% μη αυτόνομα οχήματα με κανονική κατανομή και 20% αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή ο δείκτης φθοράς αγγίζει το 28,13%. Στην συνέχεια όταν το ποσοστό των μη αυτόνομων οχημάτων είναι στο 60% με κανονική κατανομή και τα αυτόνομα βρίσκονται στο 40% με μηδενική κατανομή τότε το D% πλησιάζει το 31,18%. Όταν θα υπερισχύουν τα αυτόνομα οχήματα και θα είναι στο 60% με μηδενική κατανομή και το 40% θα αποτελείται από μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής τότε ο δείκτης D% θα είναι στο 34,24%. Στο σενάριο 20% μη αυτόνομα οχήματα κανονικής κατανομής και 80% αυτόνομα οχήματα μηδενικής κατανομής έχουμε για τον δείκτη φθοράς την τιμή να ανέρχεται στο 37,35%. Συμπερασματικά, όταν τα αυτόνομα οχήματα ακολουθούν τη μηδενική κατανομή, η φθορά του οδοστρώματος επιταχύνεται.

- Τέλος, παρόλο που οι δύο διατομές διαφέρουν ως προς τα πάχη και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των στρώσεων και την κυκλοφορία, η επίδραση των αυτόνομων οχημάτων ακολουθεί την ίδια τάση. Τα αυτόνομα οχήματα με ομοιόμορφη κατανομή παρατείνουν τον χρόνο εμφάνισης αστοχίας λόγω αλληγοροικών ρηγματώσεων και φθοράς του οδοστρώματος. Αντίθετα τα αυτόνομα οχήματα με μηδενική κατανομή φέρουν το οδόστρωμα σε αστοχία πολύ νωρίτερα σε σχέση με τα μη αυτόνομα οχήματα.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Beverly Kuhn, Mike Lukuc, Mohammad Poorsartep, Jason Wagner, Kevin Balke, Dan Middleton, Praprut Songchitruksa, Nick Wood, and Maarit Moran Commercial Truck Platooning Demonstration in Texas- Level 2 Automation, Texas A&M Transportation Institute, August 2017.
- Daniel J. Fagnat, Kara Kockelman, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, The University of Utah Department of Civil and Environmental Engineering, United States, The University of Texas, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 16 May 2015.
- Feng Chen, Mingato Song, Xiaoxiang Ma, Xingyi Zhu Asses, the impact of different autonomous trucks lateral control models on asphalt pavement performance, 2 April 2019.
- Guru Karnati, Autonomous Vehicles, Assessment of the Implications of Truck Positioning on Flexible Pavement Performance and Design, In Transportation Research Record Journal of the transportation Research Board, Hossein Noorvard, Shane Underwood, January 2017.
- Hasan Ozer , Rebekah Yang, Imad L. AL Qadi, Quantifying sustainable strategies for the construction of highway pavements in ILLINOIS, Department of Civil Engineering, University of Pretoria South Africa, 4 January 2017.
- Konstantina Georgouli, Andreas Loizos, Christina Plati, Autonomous vehicles wheel wander: Structural impact on flexible pavements (ScienseDirect), Department of Transportation Planning and Engineering, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Zografou 15773, Greece, 2021.
- Konstantina Georgouli & Christina Plati Autonomous trucks (Ats) lateral distribution and asphalt pavement performance, International Journal of Pavement Engineering, 05 march 2022.
- Osman Erman Gungor, A Literature Review on Wheel Wander, ILLINOIS Asphalt Pavement Association, 31 January 2018.
- Todd Litman Victoria Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning Transport Policy Institute, 18 March 2019.
- Wynand J. vdM. Steyn , James W. Maina, Guidelines for the use of accelerated pavement testing data in autonomous vehicle infrastructure research, Department of Civil Engineering, University of Pretoria South Africa, 16 May 2019.