

Οι επιπτώσεις
των αυτόνομων λεωφορείων
στην κυκλοφορία, στην
ασφάλεια και στο περιβάλλον
για μελλοντικά σενάρια
κινητικότητας

Μαρία Οικονόμου,
Ερευνήτρια ΕΜΠ

Ελένη Βλαχογιάννη, Ιουλία Ρούσσου,
Γιώργος Γιαννής



Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ερευνητικό Έργο (1/2)

➤ Μέλη έργου:

- LOUGH (UK), AIT (AT), AIMSUN (ES), **NTUA (EL)**, POLIS (BE), SWOV (NL), TOI (NO), TfGM (UK), City of Vienna (AT), QUT (AU), TJU (CN), UMTRI (US)

➤ Διάρκεια έργου:

- 36 μήνες (Δεκέμβριος 2018 – Δεκέμβριος 2021)

➤ Έργο στο πλαίσιο του:

- Προγράμματος Horizon 2020 – Ευρωπαϊκό Ερευνητικό έργο για την έρευνα και καινοτομία – Ανάπτυξη Κινητικότητας



levitate



Ερευνητικό Έργο (2/2)

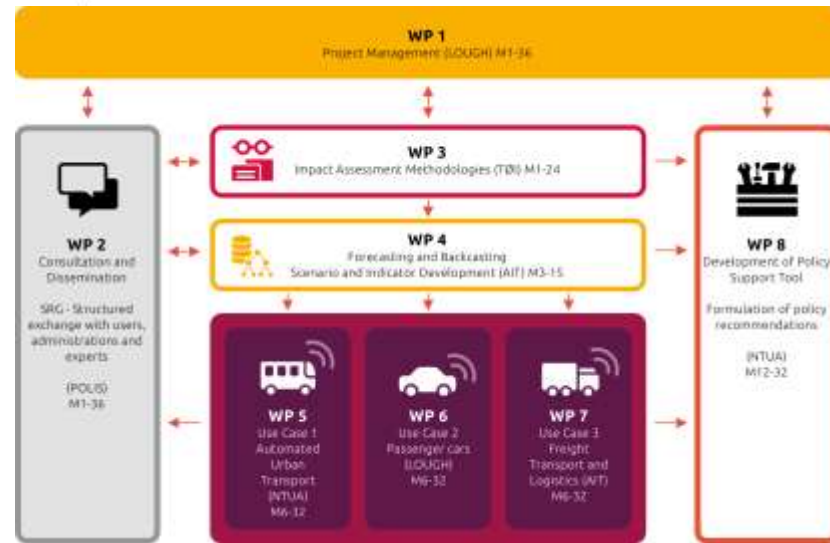


Το ερευνητικό έργο **LEVITATE** δημιουργεί εργαλεία για να βοηθήσει τις ευρωπαϊκές πόλεις, τις περιφέρειες και τις εθνικές κυβερνήσεις να προετοιμαστούν για ένα μέλλον με αυξανόμενα επίπεδα αυτόνομων οχημάτων: επιβατικών, υπηρεσιών αστικής συγκοινωνίας και εμπορευματικών μεταφορών.

Στόχος:

Ανάπτυξη ενός πλαισίου εκτίμησης επιπτώσεων που θα επιτρέψει στους υπεύθυνους να χαραχθεί πολιτική για:

- τη διαχείριση της εισαγωγής των αυτόνομων οχημάτων
- τη μεγιστοποίηση των ωφελειών
- την αξιοποίηση της τεχνολογίας για την επίτευξη ενός κοινωνικού στόχου.



Αντικείμενο Έρευνας

Η διερεύνηση των επιπτώσεων των αυτόνομων λεωφορείων στην κυκλοφορία, στην ασφάλεια και στο περιβάλλον, με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης της κυκλοφορίας, για μελλοντικά σενάρια κινητικότητας και συνθήκες:

- Ώρες αιχμής και εκτός αιχμής
- Χρήση ειδικής λωρίδας από τα αυτόνομα λεωφορεία
- Επείγουσα κατάσταση σε περίπτωση ατυχήματος.



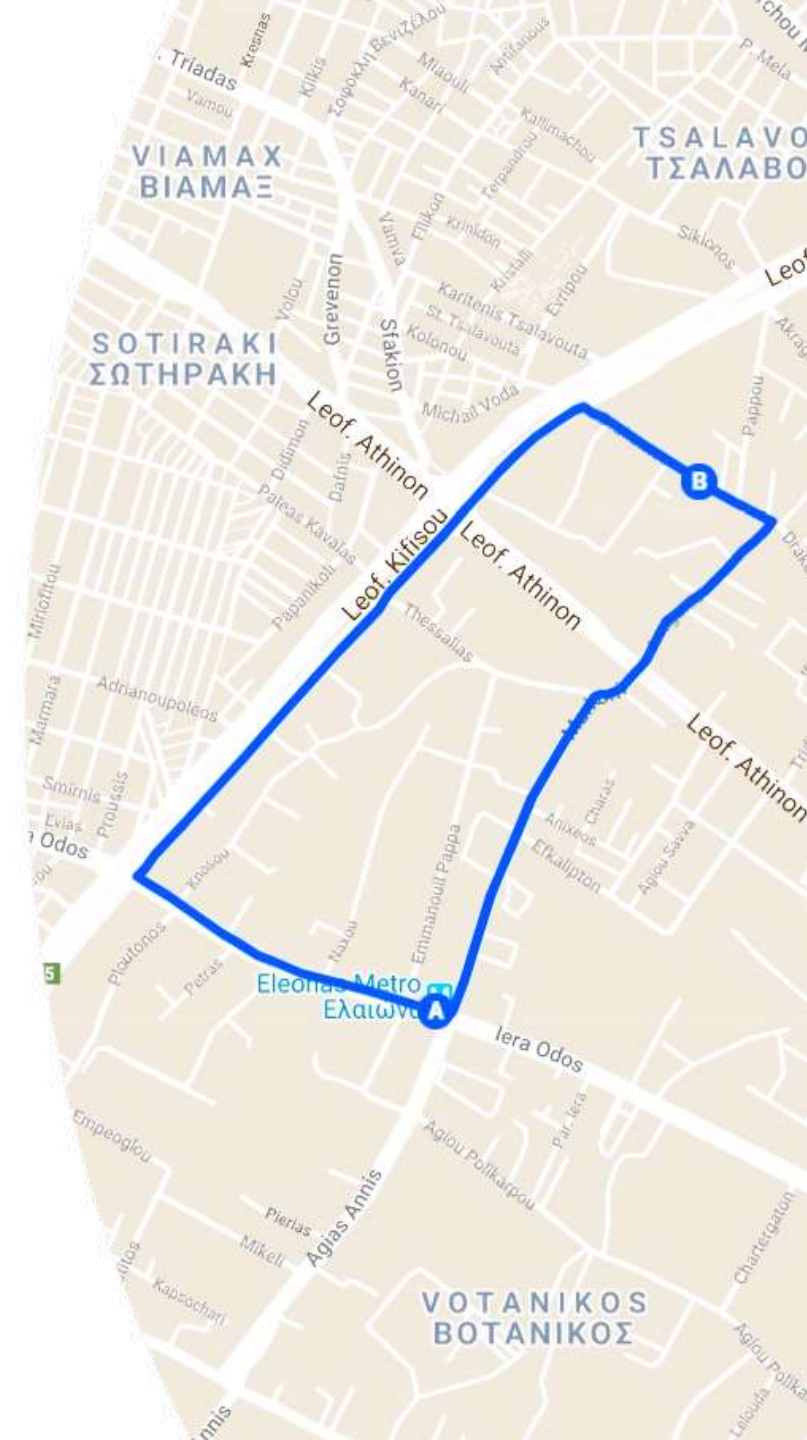
Προσομοίωση

Με τη χρήση του λογισμικού AIMSUN Next, πραγματοποιήθηκε η προσθήκη λεωφορειακής γραμμής με αυτόνομα λεωφορεία στο δίκτυο της Αθήνας η οποία συνδέει:

- A. τη στάση μετρό "Ελαιώνας" με
- B. τον σταθμό ΚΤΕΛ Κηφισού.

Μέγεθος δικτύου:
(τμήμα της Αθήνας)

- 728 κόμβοι
- 1.636 τμήματα οδών



Λεωφορειακή Γραμμή

Διαδρομή:

- 3,4 χλμ. μήκος
- Χωρίς ενδιάμεσες στάσεις
- Σηματοδοτούμενες αρτηρίες και δευτερεύουσες οδοί

Χαρακτηριστικά λεωφορείων:

- Αυτόνομο όχημα-συνδεδεμένο
- 5,00 μ. μήκος και 2,50 μ. πλάτος
- 10 επιβάτες χωρητικότητα
- 40,0 χλμ./ώρα μέγιστη ταχύτητα οδήγησης
- 25,0 χλμ./ώρα μέση ταχύτητα οδήγησης
- 15 λεπτά συχνότητα δρομολογίων



Υπόλοιπη κυκλοφορία

Δύο προφίλ οδήγησης

χρησιμοποιήθηκαν για τα αυτόνομα οχήματα στην προσομοίωση:

➤ “Επιθετικό” προφίλ:

μικρή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, μικρή απόσταση αναμονής για επιλογή λωρίδας, μικρή απόσταση στην αποδοχή θέσης για αλλαγή λωρίδας, περιορισμένη προσπέραση, χωρίς συνεργασία.

➤ “Προσεκτικό” προφίλ:

μεγάλη απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, μεγάλη απόσταση αναμονής για επιλογή λωρίδας, μεγάλη απόσταση στην αποδοχή θέσης για αλλαγή λωρίδας, περιορισμένη προσπέραση, χωρίς συνεργασία.



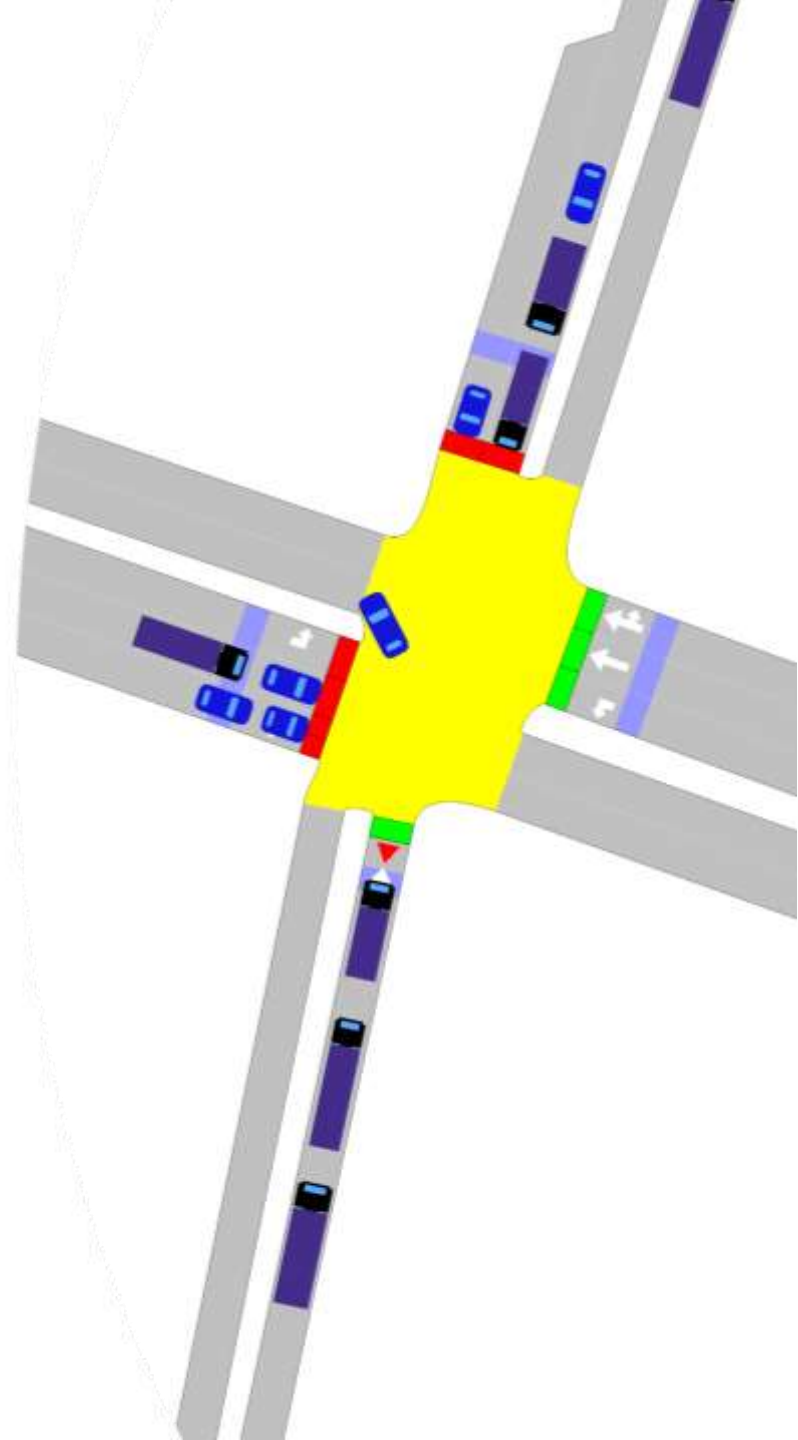
Σενάρια

A. Σε επίπεδο διαδρομής λεωφορείου:

- Χωρίς και με τη λεωφορειακή γραμμή το έτος 2021
- Κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής και εκτός

B. Σε επίπεδο δικτύου:

- Κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής και εκτός
- Για διάφορα μελλοντικά σενάρια κινητικότητας οχημάτων
- Σε επείγουσες συνθήκες με την πραγματοποίηση ατυχήματος στη διαδρομή του αυτόνομου λεωφορείου
- Χρήση ειδικής λωρίδας για τα αυτόνομα λεωφορεία ή μαζί με την υπόλοιπη κυκλοφορία



Μελλοντικά Σενάρια Κινητικότητας Οχημάτων

Προσομοιώθηκαν **11 διαφορετικά σενάρια** κινητικότητας οχημάτων με σκοπό να:

- Μειωθούν σταδιακά τα συμβατικά οχήματα.
- Αυξηθούν σταδιακά τα αυτόνομα οχήματα.
- Εισαχθούν ομαλά τα δύο διαφορετικά προφίλ αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφορία.

Σενάρια Κινητικότητας	Συμβατικά οχήματα	"Προσεκτικά" αυτόνομα οχήματα- συνδεδεμένα	"Επιθετικά" αυτόνομα οχήματα- συνδεδεμένα
A	100%	0%	0%
B	90%	10%	0%
C	80%	20%	0%
D	70%	30%	0%
E	60%	40%	0%
F	50%	50%	0%
G	40%	50%	10%
H	30%	50%	20%
I	20%	50%	30%
J	10%	50%	40%
K	0%	50%	50%



Αποτελέσματα Σεναρίων σε επίπεδο διαδρομής

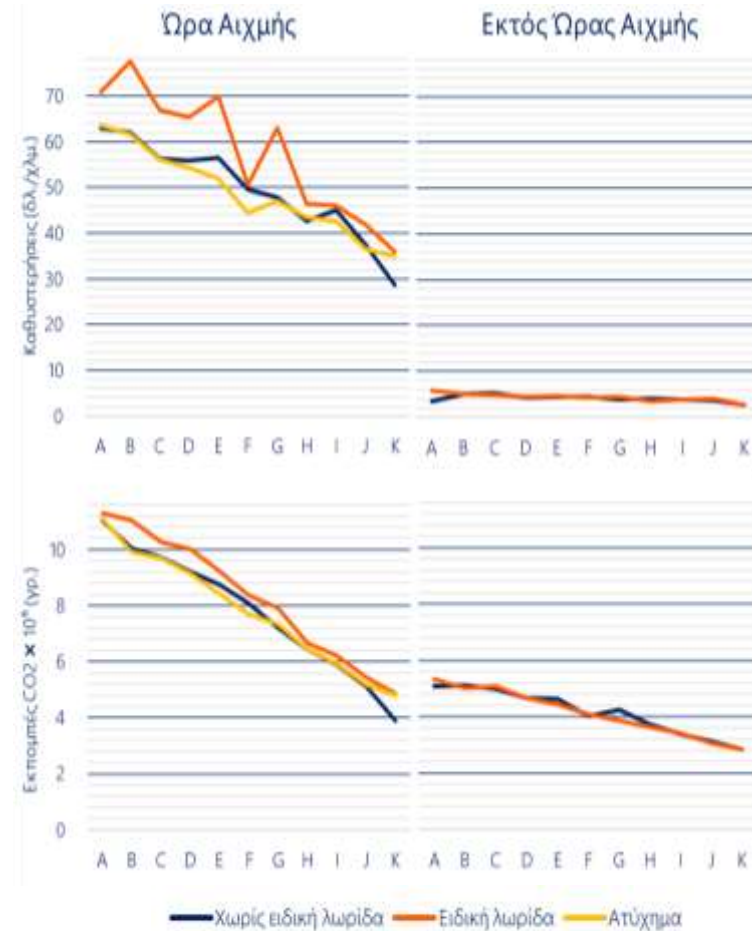
- Η **διαφορά ταχυτήτων μεταξύ των αυτόνομων λεωφορείων και της κυκλοφορίας** παρουσιάζει υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια ωρών εκτός αιχμής σε σχέση με την ώρα αιχμής.
- Η **ύπαρξη του αυτόνομου λεωφορείου** αυξάνει τις καθυστερήσεις στα τμήματα της διαδρομής του, ειδικά όταν πρόκειται για σηματοδοτούμενες αρτηρίες.
- Το **αυτόνομο λεωφορείο** επηρεάζει την κυκλοφορία μόνο κατά διάρκεια ωρών εκτός αιχμής, όταν η κυκλοφορία είναι χαμηλότερη και πιο στοχαστική.

Συνθήκες	Τύπος Οδού	Διαφορά Ταχυτήτων (χλμ./ώρα)	Μεταβολή Καθυστερήσεων	Μεταβολή Εκπομπών CO ₂
Ώρα Αιχμής	Σηματοδοτούμενη αρτηρία	34	0%	2%
	Δευτερεύουσα οδός	13	2%	8%
Εκτός Αιχμής	Σηματοδοτούμενη αρτηρία	45	63%	24%
	Δευτερεύουσα οδός	26	24%	-2%



Αποτελέσματα Σεναρίων σε επίπεδο δικτύου (1/3)

- Οι **καθυστερήσεις** είναι μειωμένες όταν περισσότερα αυτόνομα οχήματα υπάρχουν στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής ενώ παραμένουν σταθερές εκτός αιχμής.
- Οι **εκπομπές CO₂** μειώνονται όσο ο αριθμός των αυτόνομων οχημάτων αυξάνεται, τόσο κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής, όσο και εκτός.



Αποτελέσματα Σεναρίων σε επίπεδο δικτύου (2/3)

- Αν το αυτόνομο λεωφορείο χρησιμοποιεί **ειδική λωρίδα**, οι καθυστερήσεις και οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής και εκτός αιχμής.
- Αν συμβεί **ατύχημα στη διαδρομή** του αυτόνομου λεωφορείου δεν παρατηρείται να επηρεάζονται οι καθυστερήσεις και οι εκπομπές CO₂.
- Αν το αυτόνομο λεωφορείο χρησιμοποιεί ειδική λωρίδα, ο **αριθμός των εμπλοκών μεταξύ των οχημάτων** μειώνεται κατά τη διάρκεια ωρών εκτός αιχμής, ενώ στις άλλες περιπτώσεις παρατηρείται αύξηση.

B C D E F G H I J K

		Μεταβολή Καθυστερήσεων										
Ωρα Αιχμής	Χωρίς ειδική λωρίδα	-1%	-11%	-11%	-10%	-21%	-24%	-32%	-28%	-40%	-54%	
	Ειδική λωρίδα	10%	-6%	-8%	-1%	-29%	-11%	-34%	-35%	-41%	-49%	
	Ατύχημα	-3%	-12%	-15%	-18%	-30%	-26%	-31%	-33%	-43%	-45%	
Εκτός Αιχμής	Χωρίς ειδική λωρίδα	43%	48%	23%	29%	28%	11%	16%	10%	5%	-21%	
	Ειδική λωρίδα	-15%	-19%	-26%	-21%	-30%	-26%	-40%	-35%	-30%	-55%	
	Ατύχημα	-3%	-12%	-15%	-18%	-30%	-26%	-31%	-33%	-43%	-45%	
		Μεταβολή Εκπομπών CO ₂										
Ωρα Αιχμής	Χωρίς ειδική λωρίδα	-9%	-12%	-17%	-21%	-27%	-35%	-42%	-47%	-53%	-65%	
	Ειδική λωρίδα	-2%	-9%	-11%	-18%	-26%	-30%	-41%	-45%	-52%	-57%	
	Ατύχημα	-11%	-13%	-18%	-24%	-31%	-34%	-42%	-47%	-53%	-57%	
Εκτός Αιχμής	Χωρίς ειδική λωρίδα	1%	-2%	-8%	-9%	-20%	-16%	-26%	-33%	-38%	-44%	
	Ειδική λωρίδα	-6%	-5%	-12%	-17%	-23%	-28%	-32%	-36%	-43%	-46%	
	Ατύχημα	-11%	-13%	-18%	-24%	-31%	-34%	-42%	-47%	-53%	-57%	
		Μεταβολή Εμπλοκών										
Ωρα Αιχμής	Χωρίς ειδική λωρίδα	12%	10%	23%	27%	27%	25%	28%	30%	20%	-45%	
	Ειδική λωρίδα	23%	18%	39%	37%	25%	43%	11%	31%	20%	9%	
	Ατύχημα	16%	14%	30%	17%	7%	30%	16%	34%	19%	23%	
Εκτός Αιχμής	Χωρίς ειδική λωρίδα	6%	7%	1%	12%	14%	16%	18%	22%	26%	27%	
	Ειδική λωρίδα	-35%	-33%	-40%	-33%	-3%	8%	-35%	-24%	3%	-35%	
	Ατύχημα	16%	14%	30%	17%	7%	30%	16%	34%	19%	23%	



Αποτελέσματα Σεναρίων σε επίπεδο δικτύου (3/3)

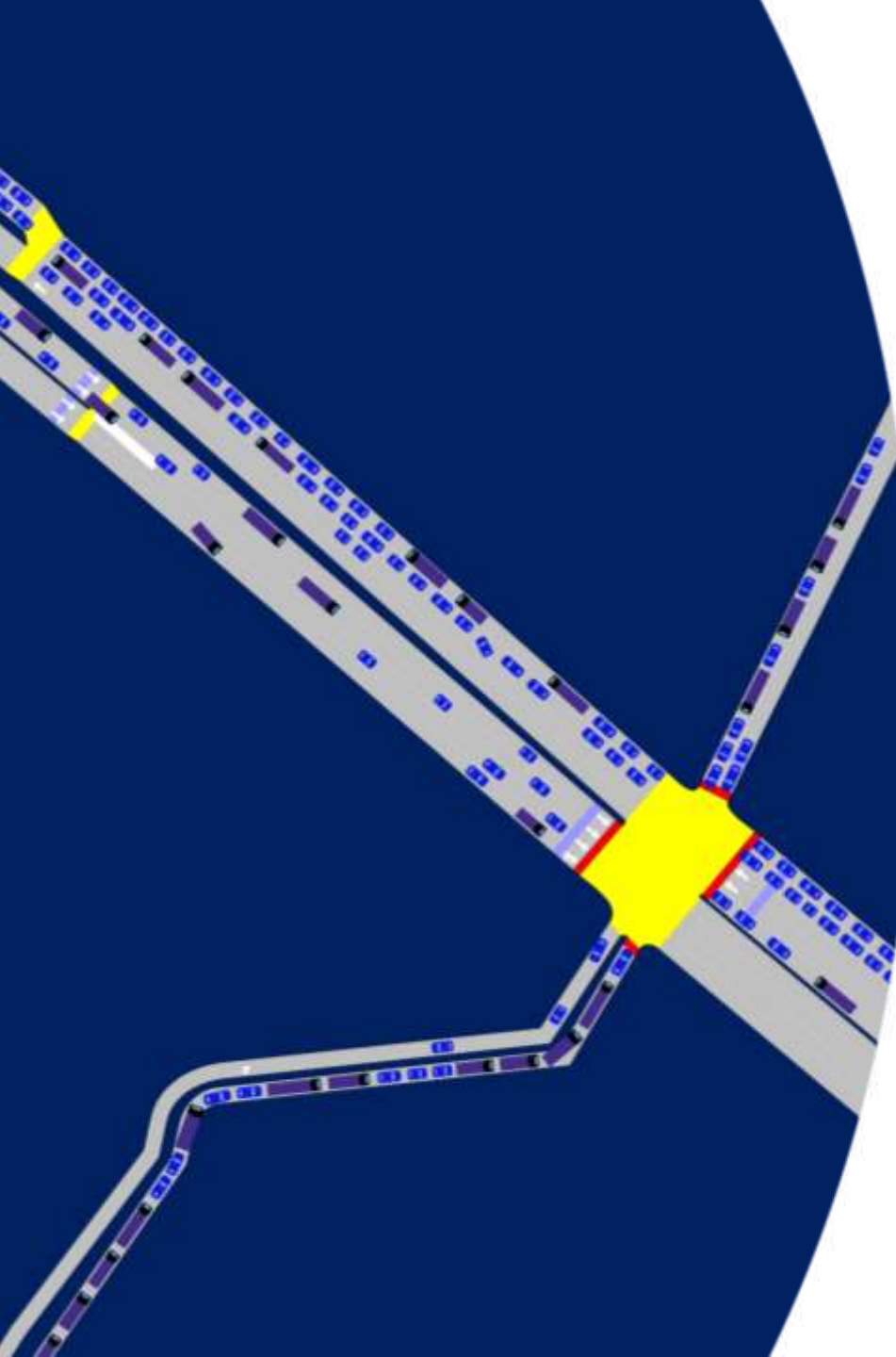
- Η **ύπαρξη αυτόνομων οχημάτων** φαίνεται να μειώνει τον αριθμό των **πλαγιομετωπικών εμπλοκών**.
- Αν το αυτόνομο λεωφορείο χρησιμοποιεί **ειδική λωρίδα**, ο αριθμός των **εμπλοκών αλλαγής λωρίδας** είναι υψηλότερος.
- Ο αριθμός των **νωτομετωπικών εμπλοκών** είναι αυξημένος στην περίπτωση που κάποιο **ατύχημα** συμβεί στη διαδρομή του αυτόνομου λεωφορείου.



Βασικά Συμπεράσματα

- Η **διαφορά ταχυτήτων** μεταξύ του αυτόνομου λεωφορείου και της υπόλοιπης κυκλοφορίας, ξεπερνάει τα 25 km/h κατά τη διάρκεια ωρών εκτός αιχμής, το οποίο σημαίνει ότι η **χρήση ειδικής λωρίδας** είναι λογική.
- Αν το αυτόνομο λεωφορείο χρησιμοποιεί ειδική λωρίδα, ο **αριθμός των εμπλοκών μεταξύ των οχημάτων** μειώνεται κατά τη διάρκεια ωρών εκτός αιχμής, ενώ οι καθυστερήσεις και οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται.
- Η **πραγματοποίηση ατυχήματος** στην διαδρομή του αυτόνομου λεωφορείου δεν φαίνεται να επηρεάζει τις καθυστερήσεις.





Οι επιπτώσεις
των αυτόνομων λεωφορείων
στην κυκλοφορία, στην
ασφάλεια και στο περιβάλλον
για μελλοντικά σενάρια
κινητικότητας

Μαρία Οικονόμου,
Ερευνήτρια ΕΜΠ

Ελένη Βλαχογιάννη, Ιουλία Ρούσσου,
Γιώργος Γιαννής



Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο