



Μεθοδολογία για την οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων οδικής ασφάλειας

Γιώργος Γιαννής ¹, Αναστάσιος Δραγομάνοβιτς ¹, Τζούλια Ρούσσου ¹, Δημήτριος Νικολάου ¹

¹ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15773 Αθήνα
E-mail: geyannis@central.ntua.gr

Περίληψη

Η οικονομική αξιολόγηση των επεμβάσεων οδικής ασφάλειας αποσκοπεί στη βέλτιστη αξιοποίηση των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων ώστε να επιτευχθούν τα μεγαλύτερα δυνατά οφέλη. Η εργασία αφορά στην ανάπτυξη μεθοδολογίας για την οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων οδικής ασφάλειας, με βάση αφενός ιστορικά στοιχεία ατυχημάτων και αφετέρου επιτόπου επιθεωρήσεις στις υπό εξέταση θέσεις. Με χρήση προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων κατάλληλα προσαρμοσμένων στις ελληνικές συνθήκες και στα διαθέσιμα δεδομένα, εκτιμώνται τα αναμενόμενα οφέλη από την εφαρμογή των επεμβάσεων, αρχικά ως μείωση θανάτων, σοβαρών και ελαφρών τραυματισμών και στη συνέχεια αποτιμώνται χρηματικά. Συνεκτιμώντας το κόστος υλοποίησης και συντήρησης των επεμβάσεων, υπολογίζεται ο οικονομικός βαθμός απόδοσης (ERR). Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε πιλοτικά για την αξιολόγηση των Μελετών Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας (MEBOA) του προγράμματος της Εγνατίας Οδού στις περιφερειακές ενότητες Βοιωτίας και Ημαθίας. Ο οικονομικός βαθμός απόδοσης εκτιμήθηκε σε 27,1% για τη Βοιωτία και 18,2% για την Ημαθία, καταδεικνύοντας την πολύ υψηλή οικονομική ανταποδοτικότητα των επεμβάσεων.

Λέξεις κλειδιά: Οδική ασφάλεια, MEBOA, επεμβάσεις οδικής ασφάλειας, μέτρα χαμηλού κόστους, οικονομική ανάλυση, οικονομικός βαθμός απόδοσης.

Abstract

The economic assessment of road safety interventions aims to effectively utilize limited available funds in order to maximize benefits. The study aims to present a methodology for the economic assessment of road safety schemes based on historic crash data as well as road safety inspections of the locations under consideration. Using accident prediction models suitably adjusted and calibrated for Greece and adapted according to data availability, the expected benefits from the implementation of road safety schemes are estimated in terms of fatalities and casualties reduction and translated into monetary terms. Taking also into account construction and maintenance costs of each scheme, the economic rate of return (ERR) is estimated. A pilot implementation of the methodology was performed for the Road Safety Interventions Design Studies of the Road Safety Program of Egnatia Odos for the sub-regions of Viotia and Imathia. The economic rates of return were estimated at 27,1% for Viotia and 18,2% for Imathia, demonstrating the very high cost effectiveness of road safety schemes.

Keywords: Road Safety, RSIS, road safety interventions, low cost measures, economic assessment, Economic Rate of Return.



1. Εισαγωγή

Η οικονομική αξιολόγηση των μέτρων οδικής ασφάλειας θεωρείται ένα σημαντικό εργαλείο που επιτρέπει στους λήπτες αποφάσεων να εφαρμόζουν πιο αποδοτικές πολιτικές (OECD, 2012). Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι διαθέσιμοι πόροι για την οδική ασφάλεια δεν είναι απεριόριστοι, οι πολιτικοί καλούνται να αποφασίσουν αναφορικά με τη βέλτιστη αξιοποίησή τους, με βασικό ίσως κριτήριο την αποδοτικότητα των εξεταζόμενων μέτρων. Η αποδοτικότητα μιας πολιτικής μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων και ποσοτικών μεθόδων αξιολόγησης του λόγου ωφέλειας - κόστους ή/ και της οικονομικής απόδοσής της (Yannis et al., 2015).

Στόχος της εργασίας είναι η παρουσίαση μεθοδολογίας για την οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων οδικής ασφάλειας με τη χρήση διεθνών προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων κατάλληλα προσαρμοσμένων στις ελληνικές συνθήκες και στα διαθέσιμα δεδομένα. Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε στο πλαίσιο έργου χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕΠ) προκειμένου να αξιολογηθεί η οικονομική ανταποδοτικότητα του προγράμματος Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας στο υπεραστικό οδικό δίκτυο της Ελλάδας της Εγνατίας Οδού Α.Ε.

Στο πλαίσιο του εν λόγω προγράμματος εκπονήθηκαν την περίοδο 2012-2015 εξήντα μελέτες εντοπισμού θέσεων υψηλής επικινδυνότητας - μειωμένης οδικής ασφάλειας (MOA) στο εθνικό και επαρχιακό υπεραστικό δίκτυο, με εξαίρεση τους αυτοκινητόδρομους, και μελετήθηκαν επεμβάσεις άμεσης εφαρμογής (βραχυπρόθεσμες), για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Συνολικά εξετάστηκαν περίπου 15.000χλμ. οδικού δικτύου και εντοπίστηκαν περίπου 7.000 θέσεις μειωμένης οδικής ασφάλειας (MOA) που καλύπτουν μήκος περίπου 2.500χλμ. σε 80 οδικούς άξονες. Οι θέσεις MOA κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες (κατά σειρά σπουδαιότητας):

- MOA-A: με βάση ανάλυση ατυχημάτων, μόνο στο εθνικό οδικό δίκτυο - περίπου 400 θέσεις.
- MOA-M: με βάση μαρτυρίες από τοπικές υπηρεσίες (τροχαία, διευθύνσεις τεχνικών έργων, κ.λπ.), που συλλέχθηκαν με έρευνα ερωτηματολογίου - περίπου 3.000 θέσεις.
- MOA-Δ: με βάση την αξιολόγηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου, αξιοποιώντας στοιχεία από επιτόπου επισκέψεις, βιντεοσκόπηση και καταγραφή με χρήση GPS - περίπου 3.600 θέσεις.

Στις θέσεις αυτές μελετήθηκαν επεμβάσεις άμεσης εφαρμογής οποίες είναι υλοποιήσιμες σε σύντομο χρονικό διάστημα, δεν απαιτούν απαλλοτριώσεις, εγκρίσεις ή αδειοδοτήσεις από άλλους φορείς και περιλαμβάνουν συγκεκριμένες εργασίες μικρής κλίμακας σε μέγεθος και κόστος (Εγνατία Οδός, 2013). Οι προβλεπόμενες επεμβάσεις περιλαμβάνουν κυρίως τα παρακάτω:

- επισκευή φθορών / ανωμαλιών του οδοστρώματος,
- διάστρωση αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης,
- εγκατάσταση / βελτίωση κατακόρυφης σήμανσης,
- διαγραμμίσεις οδοστρώματος,
- εγκατάσταση οριοδεικτών,
- εγκατάσταση ανακλαστήρων οδοστρώματος ("μάτια γάτας"),
- εγκατάσταση ακουστικών ταινιών,



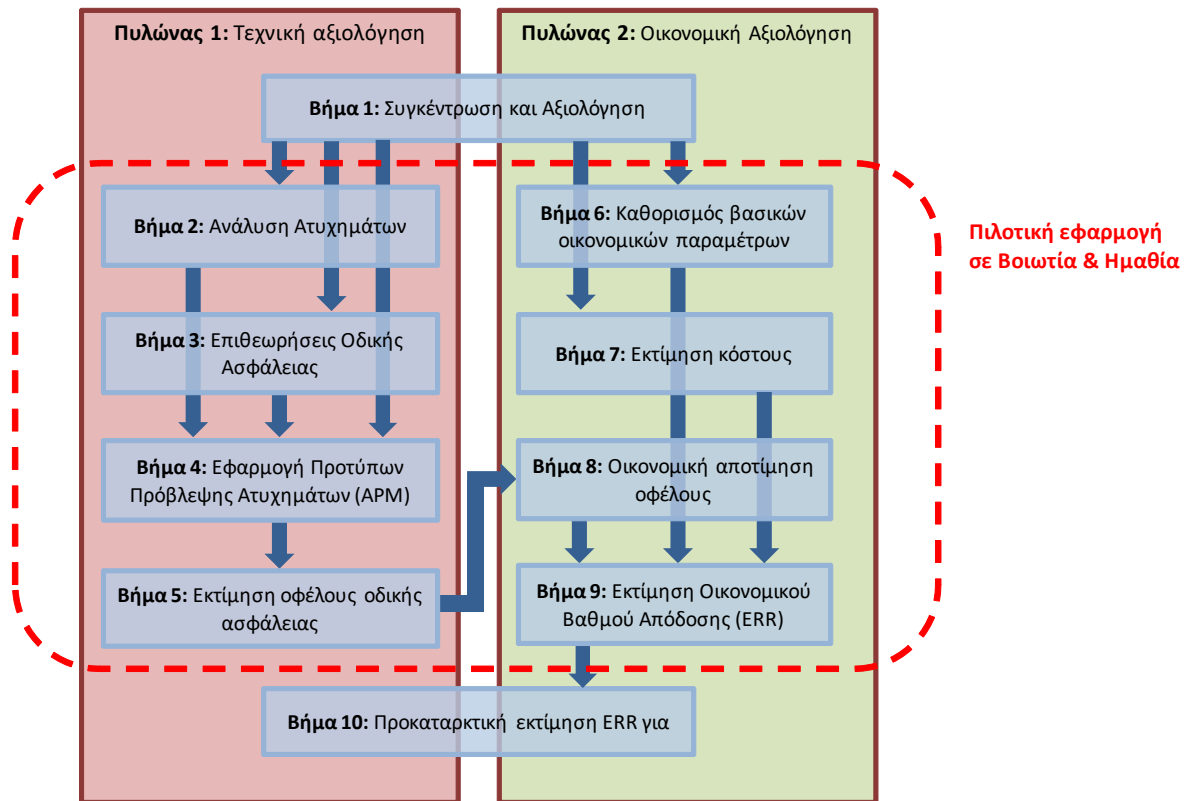
- επισκευή ερεισμάτων,
- συντήρηση βλάστησης,
- απομάκρυνση εμποδίων ορατότητας,
- εγκατάσταση οδοφωτισμού, κ.α.

Το συνολικό κόστος υλοποίησης των επεμβάσεων εκτιμήθηκε από την Εγνατία Οδό Α.Ε. σε περίπου 470εκ.€. Για την υποστήριξη της διαδικασίας χρηματοδότησης της υλοποίησης του έργου κρίθηκε αναγκαία η οικονομική αξιολόγηση του προγράμματος, με χρήση κατάλληλης μεθοδολογίας και αξιοποιώντας επικαιροποιημένα σχετικά δεδομένα.

Κατόπιν των παραπάνω, στο Κεφάλαιο 2 της εργασίας παρουσιάζεται η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση για την οικονομική αξιολόγηση των επεμβάσεων και στο Κεφάλαιο 3 η πιλοτική εφαρμογή της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στις περιφερειακές ενότητες Βοιωτίας και Ημαθίας. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για το σύνολο του προγράμματος και συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την οικονομική αξιολόγηση του προγράμματος περιλαμβάνει δύο βασικούς πυλώνες: την τεχνική αξιολόγηση και την οικονομική αξιολόγηση (βλ. και Σχήμα 1). Ο κορμός της μεθοδολογίας αφορά στις επιλογές για πιλοτική εφαρμογή περιφερειακές ενότητες Βοιωτία και Ημαθίας. Εντούτοις, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα και για το σύνολο του προγράμματος. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας, ενώ αναλυτικότερη παρουσίαση περιλαμβάνεται στην ενότητα της πιλοτικής εφαρμογής.



Σχήμα 1: Μεθοδολογική προσέγγιση

Το πρώτο βήμα, κοινό και για τους δύο πυλώνες, αναφέρεται στη **συγκέντρωση και αξιολόγηση των σχετικών δεδομένων**, που περιλαμβάνουν: συγκεντρωτικά στοιχεία και προδιαγραφές για το πρόγραμμα, τις σχετικές Μελέτες Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας (ΜΕΒΟΑ), επικαιροποιημένα στοιχεία ατυχημάτων, στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων, κ.λπ.

Στη συνέχεια, ο πυλώνας τεχνικής αξιολόγησης συνδυάζει με ολιστικό τρόπο δύο προσεγγίσεις για την οδική ασφάλεια: ανάλυση στοιχείων ατυχημάτων προηγούμενων ετών (εκ των υστέρων αντιμετώπιση) - βήμα 2 - καθώς και επιθεωρήσεις οδικής ασφάλειας στις εξεταζόμενες θέσεις (προληπτική αντιμετώπιση) - βήμα 3. Η **ανάλυση ατυχημάτων** βασίζεται στην Εθνική Βάση Δεδομένων Οδικών Ατυχημάτων που τηρείται από την ΕΛΣΤΑΤ, με στοιχεία που συλλέγονται από την Τροχαία για όλα τα ατυχήματα με παθόντες. Οι **επιθεωρήσεις οδικής ασφάλειας** (βήμα 3) αποσκοπούν: στην κατανόηση του εκάστοτε προβλήματος οδικής ασφάλειας σε κάθε θέση, στην επιβεβαίωση ότι δεν έχει μεταβληθεί εντωμεταξύ η υφιστάμενη κατάσταση (από το 2012 ως σήμερα), στον έλεγχο της καταλληλότητας και της κατασκευασιμότητας των επεμβάσεων και στην επιτόπου καταγραφή πρόσθετων στοιχείων αναγκαίων για την εφαρμογή προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων (χαρακτηριστικά παρόδιου χώρου, πλάτη λωρίδων κ.λπ.).

Το τέταρτο βήμα της μεθοδολογίας (**εφαρμογή προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων**) αποτελεί το βασικό στάδιο εκτίμηση της ωφέλειας των επεμβάσεων. Στόχος είναι η εκτίμηση του αριθμού των ατυχημάτων στις υπόψη θέσεις για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, αφενός αν εφαρμοστούν οι προβλεπόμενες επεμβάσεις οδικής ασφάλειας, και αφετέρου αν



δεν εφαρμοστούν (μηδενικό σενάριο). Η διαφορά μεταξύ των δύο συνιστά τη μείωση ατυχημάτων που μπορεί να αποδοθεί στην υλοποίηση των επεμβάσεων.

Μετά την εξέταση διάφορων εναλλακτικών προσεγγίσεων, αποφασίστηκε η εφαρμογή της μεθόδου πρόβλεψης ατυχημάτων του Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), κατάλληλα προσαρμοσμένης στις τοπικές συνθήκες και τα διαθέσιμα δεδομένα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το οδικό έργο διαχωρίζεται σε επιμέρους θέσεις, που μπορεί να είναι είτε μεμονωμένοι κόμβοι είτε οδικά τμήματα με ομοιογενή χαρακτηριστικά. Κατάλληλα πρότυπα βάσης ("Safety Performance Functions" - SPF) που έχουν αναπτυχθεί με στατιστικές μεθόδους σε μεγάλο αριθμό θέσεων χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της μέσης συχνότητας ατυχημάτων σε κάθε θέση, ως συνάρτηση της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (ΕΜΗΚ) και του μήκους του τμήματος. Τα πρότυπα αυτά αναφέρονται σε συγκεκριμένες "συνήθειες" συνθήκες γεωμετρίας, κυκλοφοριακών ρυθμίσεων και οδικού εξοπλισμού.

Για την προσαρμογή της παραπάνω εκτίμησης στις εκάστοτε τοπικές συνθήκες κάθε εξεταζόμενης θέσης χρησιμοποιούνται Παράγοντες Μεταβολής Ατυχημάτων ("Crash Modification Factors" - CMF), οι οποίοι προσδιορίζουν τη σχετική μεταβολή στη συχνότητα ατυχημάτων εξαιτίας αλλαγής σε ένα χαρακτηριστικό της οδού, όταν όλα τα υπόλοιπα παραμένουν σταθερά. Τιμή μεγαλύτερη της μονάδας σημαίνει ότι τα ατυχήματα αναμένεται να αυξηθούν και μικρότερη της μονάδας να μειωθούν.

Τέλος, για την προσαρμογή του προτύπου σε συνθήκες διαφορετικές από αυτές στις οποίες δημιουργήθηκε, χρησιμοποιείται ένας Συντελεστής Προσαρμογής (C). Με βάση τα παραπάνω, η γενική μορφή του προτύπου πρόβλεψης ατυχημάτων σύμφωνα με το Highway Safety Manual (AASHTO, 2010) απεικονίζεται στη σχέση 1:

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spf}} \times (CMF_1 \times CMF_2 \times \dots \times CMF_y) \times C \quad (1)$$

όπου:

$N_{\text{predicted}}$ = προβλεπόμενη μέση συχνότητα ατυχημάτων,
 N_{spf} = προβλεπόμενη μέση συχνότητα ατυχημάτων για "συνήθειες" συνθήκες,
 $CMF_1 \dots CMF_y$ = Παράγοντες Μεταβολής Ατυχημάτων,
 C = Συντελεστής Προσαρμογής

Επισημαίνεται ότι η μέθοδος πρόβλεψης ατυχημάτων του Highway Safety Manual έχει αναπτυχθεί με βάση έρευνες σε οδούς στις ΗΠΑ. Εντούτοις, μοντέλα πρόβλεψης ατυχημάτων ειδικά για το οδικό δίκτυο της Ελλάδας δεν υπάρχουν και επομένως η χρήση εξισώσεων που έχουν αναπτυχθεί στο εξωτερικό είναι αναπόφευκτη. Για την αντιμετώπιση του εν λόγω θέματος χρησιμοποιείται κατάλληλος συντελεστής προσαρμογής με βάση τα πραγματικά καταγεγραμμένα ατυχήματα στα εξεταζόμενα τμήματα, όπως αναλυτικά περιγράφεται στη συνέχεια.

Για τις ανάγκες της οικονομικής αξιολόγησης του εξεταζόμενου προγράμματος οδικής ασφάλειας, η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται ως εξής: Σε πρώτη φάση, πραγματοποιείται αναλυτική πρόβλεψη ατυχημάτων σε όλες τις θέσεις ΜΟΑ για την πενταετία 2013-2017 και τα εκτιμηθέντα ατυχήματα συγκρίνονται με τα καταγεγραμμένα ατυχήματα. Ο λόγος των καταγεγραμμένων προς τα εκτιμηθέντα ατυχήματα χρησιμοποιείται ως συντελεστής προσαρμογής του μοντέλου. Στη συνέχεια, με εφαρμογή του προσαρμοσμένου πλέον μοντέλου υπολογίζονται τα ατυχήματα στις εξεταζόμενες θέσεις για το έτος στόχο (με χρήση πρόβλεψης κυκλοφορίας για το έτος αυτό), αφενός χωρίς τις προβλεπόμενες επεμβάσεις



οδικής ασφάλειας (μηδενική λύση) και αφετέρου με αυτές. Η επίδραση των επεμβάσεων οδικής ασφάλειας συνυπολογίζεται στο μοντέλο μέσω κατάλληλης επιλογής Παραγόντων Μεταβολής Ατυχημάτων (CMF). Η διαφορά στον αριθμό ατυχημάτων μεταξύ των δύο αυτών περιπτώσεων μπορεί να αποδοθεί στα μέτρα οδικής ασφάλειας.

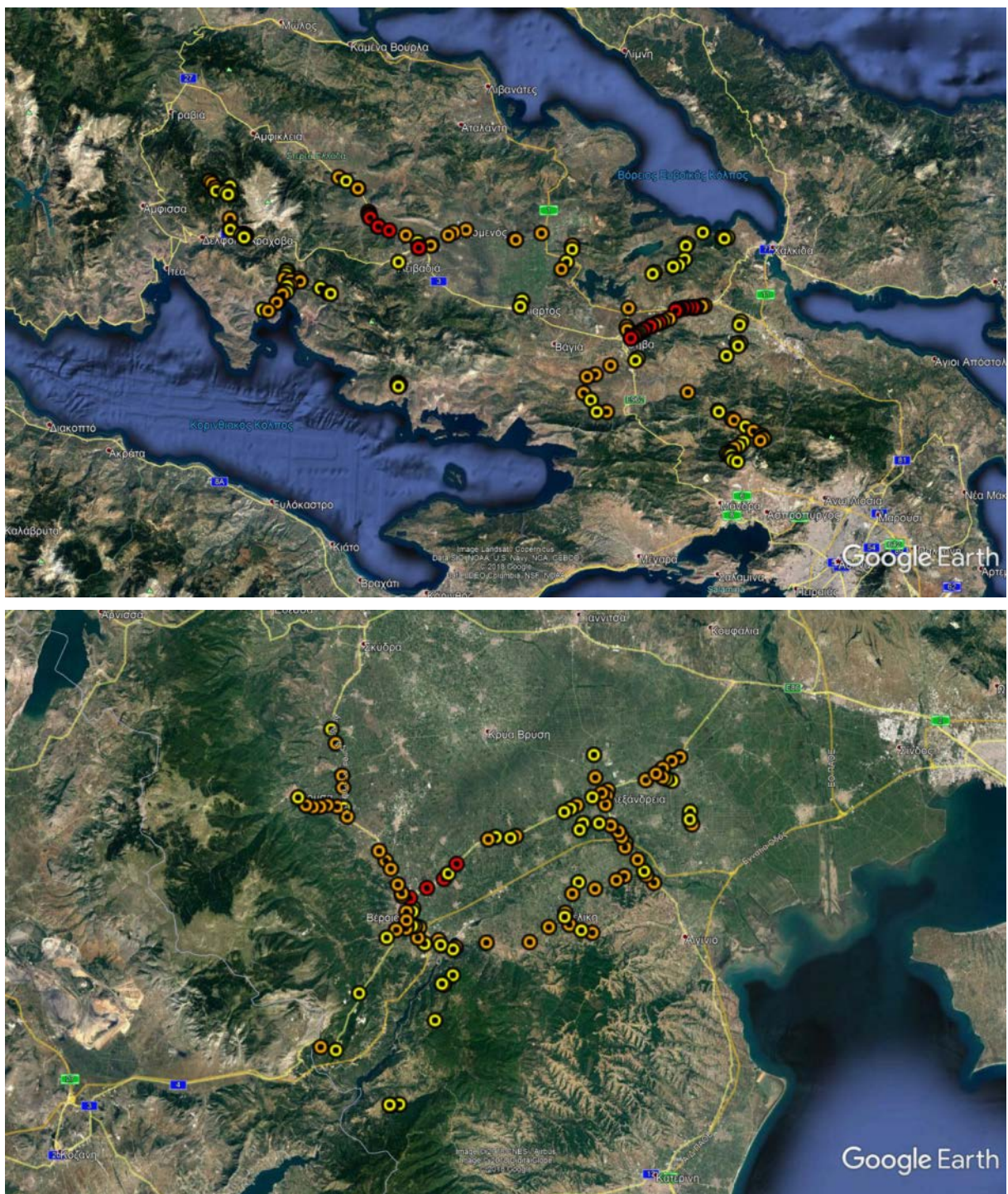
Κατά το πέμπτο βήμα, αξιοποιώντας τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία ατυχημάτων και με βάση την υπολογισθείσα μείωση του αριθμού ατυχημάτων, εκτιμώνται τα τελικά **οφέλη των επεμβάσεων**, δηλαδή οι αναμενόμενες μειώσεις στον αριθμό των νεκρών, σοβαρά και ελαφρά τραυματιών που αποδίδονται στο πρόγραμμα οδικής ασφάλειας.

Τα επόμενα τέσσερα βήματα της μεθοδολογίας εντάσσονται στον πυλώνα οικονομικής αξιολόγησης. Συγκεκριμένα, αρχικά (βήμα 6) καθορίζονται οι **βασικές οικονομικές παράμετροι**: χρονική περίοδος (2017-2032), διάρκεια ζωής έργων, επιτόκιο αναφοράς, κ.λπ. Στη συνέχεια προσδιορίζεται το **οικονομικό κόστος υλοποίησης των έργων** (βήμα 7), με βάση τους εγκεκριμένους προϋπολογισμούς, κατάλληλα επικαιροποιημένους και διορθωμένους σύμφωνα με τα συμπεράσματα από τις επιτόπου επισκέψεις και αξιολογήσεις σε κάθε θέση, καθώς και το ετήσιο κόστος επισκευών και συντήρησης. Επίσης (βήμα 8), πραγματοποιείται η **οικονομική αποτίμηση των αναμενόμενων ωφελειών** οδικής ασφάλειας (μείωση στον αριθμό των νεκρών, σοβαρά και ελαφρά τραυματιών), όπως αυτές υπολογίστηκαν στο πλαίσιο του τεχνικού πυλώνα της μεθοδολογίας (βήμα 5). Με βάση τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία κόστους και οφέλους για κάθε έτος της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, υπολογίζεται πλέον ο **οικονομικός βαθμός απόδοσης** ("Economic Rate of Return" - ERR), καταρχήν για τις λεπτομερώς εξεταζόμενες περιφερειακές ενότητες και στη συνέχεια, με αναγωγή στα συνολικά οικονομικά και τεχνικά στοιχεία, για το σύνολο του προγράμματος.

3. Πιλοτική Εφαρμογή

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε πιλοτικά για την αξιολόγηση των επεμβάσεων στις περιφερειακές ενότητες Βοιωτίας και Ημαθίας. Σύμφωνα με τις σχετικές Μελέτες Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας (ΜΕΒΟΑ), στην Βοιωτία προβλέπονται επεμβάσεις σε 111 θέσεις Μειωμένης Οδικής Ασφάλειας (ΜΟΑ) και στην Ημαθία σε 116 (Σχήμα 2). Το μήκος των θέσεων κυμαίνεται από περίπου 100m ως και 1,5km, με ένα τυπικό μέσο μήκος 350m.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη Βοιωτία προβλέπεται η εγκατάσταση περίπου 7,0km στηθαίων ασφαλείας, διάστρωση περίπου 187.000m² αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης και υλοποίηση 755m² διαγραμμίσεων με εκτιμώμενο κόστος 5,8εκ.€ (πλέον ΦΠΑ). Αντίστοιχα, στην Ημαθία προβλέπεται εγκατάσταση περίπου 13,1km στηθαίων ασφαλείας, διάστρωση περίπου 373.000m² αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης και υλοποίηση 485m² διαγραμμίσεων, με εκτιμώμενο κόστος 10,8εκ.€.



Σχήμα 2: Θέσεις Μειωμένης Οδικής Ασφάλειας στη Βοιωτία (πάνω) και στην Ημαθία (κάτω): ΜΟΑ-Α με κόκκινο, ΜΟΑ-Μ με πορτοκαλί, ΜΟΑ-Δ με κίτρινο (πηγή υποβάθρου: Google Earth).

3.1 Συγκέντρωση - Αξιολόγηση Δεδομένων

Για την οικονομική αξιολόγηση του προγράμματος σύμφωνα με την αναπτυχθείσα μεθοδολογία απαιτούνται τέσσερα κύρια είδη δεδομένων:



- δεδομένα γεωμετρίας της οδού ή του κόμβου και στοιχεία για τον οδικό εξοπλισμό, τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για τις προβλεπόμενες επεμβάσεις,
- δεδομένα ατυχημάτων,
- κυκλοφοριακά δεδομένα,
- προϋπολογισμός δαπάνης κατασκευής,

Στοιχεία γεωμετρίας της οδού/ κόμβου, οδικού εξοπλισμού κ.λπ. ελήφθησαν από τις αντίστοιχες ΜΕΒΟΑ σε Βοιωτία και Ημαθία, στις οποίες περιλαμβάνονται: ορθοφωτοχάρτες των θέσεων, σχέδια οριζοντιογραφίας και μηκοτομής του άξονα των οδών (αποτύπωση με χρήση ειδικού οχήματος εξοπλισμένου με GPS), λεπτομερής αποτύπωση της υφιστάμενης σήμανσης, ασφάλισης, οδοφωτισμού κ.λπ. καθώς και προσδιορισμός (σε στάδιο οριστικής μελέτης) των προβλεπόμενων επεμβάσεων οδικής ασφάλειας.

Δεδομένα ατυχημάτων ελήφθησαν από Εθνική Βάση Δεδομένων Οδικών Ατυχημάτων που τηρείται από την ΕΛΣΤΑΤ, επεξεργασμένα από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Η βάση δεδομένων αυτή περιλαμβάνει τα στοιχεία που συλλέγονται από την Τροχαία για όλα τα ατυχήματα με παθόντες. Στην πιλοτική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ατυχημάτων της τελευταίας διαθέσιμης πενταετίας (2013-2017), στο υπεραστικό οδικό δίκτυο των νομών Βοιωτίας και Ημαθίας, τα οποία εξήχθησαν με βάση τον κωδικό αριθμό οδού και τη χιλιομέτρηση.

Αναφορικά με τα **κυκλοφοριακά δεδομένα**, αξιοποιήθηκαν στοιχεία μετρήσεων κυκλοφορίας παλαιότερων ετών σε επιλεγμένες θέσεις του οδικού δικτύου, τα οποία χορηγήθηκαν για τη μεν Βοιωτία από τη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών Π.Ε. Βοιωτίας, για τη δε Ημαθία από το Παρατηρητήριο της Εγνατίας Οδού. Σε θέσεις για τις οποίες δεν υπήρχαν στοιχεία μετρήσεων, αξιοποιήθηκαν κυκλοφοριακές εκτιμήσεις από τη Μελέτη Εθνικού Στρατηγικού Σχεδίου της Ελλάδας, με κατάλληλες προσαρμογές καθώς το εν λόγω κυκλοφοριακό μοντέλο περιλαμβάνει μόνο μετακινήσεις υπερτοπικού χαρακτήρα. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία εκτιμήθηκε η ΕΜΗΚ σε κάθε θέση ΜΟΑ και επιβεβαιώθηκε ποιοτικά κατά τις επιτόπου επισκέψεις.

Τέλος, στοιχεία για τη **δαπάνη υλοποίησης των επεμβάσεων** ελήφθησαν από τους προϋπολογισμούς δαπάνης που περιλαμβάνονται στις αντίστοιχες ΜΕΒΟΑ.

3.2 Ανάλυση Ατυχημάτων

Η ανάλυση ατυχημάτων περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την αντιστοίχιση των ατυχημάτων που υπάρχουν στη βάση δεδομένων στις διάφορες θέσεις ΜΟΑ, ώστε να ληφθούν υπόψη για την προσαρμογή των προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων στις τοπικές συνθήκες. Στη διαδικασία αυτή προκύπτει η ανάγκη αντιμετώπισης δύο επιμέρους ζητημάτων: η διαχείριση των ατυχημάτων με άγνωστη ακριβή θέση καθώς και των ατυχημάτων που δεν έχουν καταγραφεί καθόλου από την Τροχαία.

Αναφορικά με τα **ατυχήματα με άγνωστη θέση**, διακρίνονται δύο περιπτώσεις: είτε να μην έχει καταγραφεί καθόλου η οδός είτε να έχει καταγραφεί η οδός αλλά όχι η χιλιομετρική θέση. Για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο 2013-2017, στο υπεραστικό οδικό δίκτυο της Βοιωτίας εκτός αυτοκινητοδρόμων δεν έχει καταγραφεί η οδός στο 16% των ατυχημάτων (31 από 190 ατυχήματα) και δεν έχει καταγραφεί η χιλιομετρική θέση στο 8% των ατυχημάτων (16 ατυχήματα). Τα αντίστοιχα ποσοστά για το οδικό δίκτυο της Ημαθίας είναι 4% χωρίς καταγραφή οδού (4 από 103 ατυχήματα) και 9% (9 ατυχήματα) χωρίς καταγραφή θέσης.



Στο πλαίσιο της οικονομικής ανάλυσης εφαρμόστηκαν δύο σενάρια: (1) να αγνοηθούν όλα τα ατυχήματα χωρίς ακριβή καταγραφή της θέσης τους, και (2) να αγνοηθούν τα ατυχήματα με άγνωστη οδό, και τα ατυχήματα με γνωστή οδό αλλά άγνωστη χιλιομετρική θέση να αντιστοιχηθούν στις θέσεις ΜΟΑ της συγκεκριμένης οδού κατ' αναλογία με το μήκος οδού και ΜΟΑ.

Αναφορικά με το ζήτημα της **ελλιπούς καταγραφής ατυχημάτων** με παθόντες, επισημαίνεται ότι παρατηρείται, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό σε όλες τις χώρες, και κυρίως αφορά είτε μη καταγραφή ατυχημάτων, συνήθως με ελαφρούς τραυματισμούς, είτε υποεκτίμηση της σοβαρότητας του ατυχήματος. Η έκταση του προβλήματος είναι δυνατόν να εκτιμηθεί με συγκριτική διερεύνηση των στοιχείων ατυχημάτων της ΕΛΣΤΑΤ με στοιχεία των νοσοκομείων. Αναφορικά με το ζήτημα αυτό επίσης εφαρμόστηκαν δύο σενάρια: (α) να ληφθούν υπόψη μόνο τα καταγεγραμμένα ατυχήματα, και (β) να χρησιμοποιηθούν συντελεστές διόρθωσης του αριθμού ατυχημάτων, σύμφωνα με σχετική έρευνα (Yannis et al., 2014): 1,15 για τους νεκρούς, 1,74 για τους σοβαρά και 1,54 για τους ελαφρά τραυματίες.

Με βάση τα παραπάνω, εξετάστηκαν τέσσερα σενάρια αναφορικά με τα ατυχήματα, με το σενάριο 2β να θεωρείται ως το πλέον κατάλληλο για την εξαγωγή συμπερασμάτων:

- Σενάριο 1α: μόνο ατυχήματα με γνωστή ακριβή θέση, χωρίς προσαύξηση των παθόντων λόγω ελλιπούς καταγραφής.
- Σενάριο 1β: μόνο ατυχήματα με γνωστή ακριβή θέση, με προσαύξηση των παθόντων λόγω ελλιπούς καταγραφής.
- Σενάριο 2α: περιλαμβάνονται ατυχήματα γνωστής οδού / άγνωστης χιλιομετρικής θέσης, χωρίς προσαύξηση των παθόντων λόγω ελλιπούς καταγραφής.
- Σενάριο 2β: περιλαμβάνονται ατυχήματα γνωστής οδού / άγνωστης χιλιομετρικής θέσης, με προσαύξηση των παθόντων λόγω ελλιπούς καταγραφής.

3.3 Επιθεωρήσεις Οδικής Ασφάλειας

Για την κατανόηση του εκάστοτε προβλήματος οδικής ασφάλειας σε κάθε θέση, την επιβεβαίωση ότι δεν έχει μεταβληθεί η υφιστάμενη κατάσταση από το 2012 ως σήμερα, τον έλεγχο της καταλληλότητας και της κατασκευασιμότητας των επεμβάσεων και την επιτόπου καταγραφή πρόσθετων στοιχείων πραγματοποιήθηκαν επιτόπου επισκέψεις / επιθεωρήσεις οδικής ασφάλειας σε 61 θέσεις ΜΟΑ στη Βοιωτία και 42 θέσεις στην Ημαθία, κατάλληλα επιλεγμένες ώστε να αντιπροσωπεύονται όλες οι κατηγορίες θέσεων: ΜΟΑ-Α ή Μ ή Δ, οδικά τμήματα ή κόμβοι, εθνικό ή πρωτεύον ή δευτερεύον επαρχιακό δίκτυο, σε πεδινά ή λοφώδη ή ορεινά εδάφη.

Η γενική διαπίστωση που προέκυψε από τις επιθεωρήσεις ήταν ότι η επιλογή των θέσεων ΜΟΑ είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία επιτυχημένη και οι βραχυπρόθεσμες επεμβάσεις είναι κατάλληλες για την αντιμετώπιση των ζητημάτων οδικής ασφάλειας ή την άμβλυνση των συνεπειών τους. Επιμέρους ευρήματα τα οποία λαμβάνονται υπόψη κατά την οικονομική αξιολόγηση είναι τα παρακάτω:

- Σε 8 θέσεις ΜΟΑ στη Βοιωτία και 1 θέση στην Ημαθία έχει πρόσφατα πραγματοποιηθεί ανακατασκευή του οδοστρώματος, και επομένως ορισμένες από τις προβλεπόμενες στις ΜΕΒΟΑ εργασίες επισκευής κ.λπ. δεν είναι πλέον αναγκαίες.
- Σε ορισμένες θέσεις (6 στην Βοιωτία και 4 στην Ημαθία) κρίθηκε αναγκαία η εγκατάσταση στηθαίου ασφαλείας, το οποίο δεν προβλεπόταν στις αντίστοιχες μελέτες.



- Κρίθηκαν αναγκαίες ορισμένες συμπληρώσεις στην προτεινόμενη από τις ΜΕΒΟΑ σήμανση, όπως π.χ. προσθήκη ρυθμιστικής σήμανσης στις συμβολές εγκάρσιων αγροτικών οδών, ομοιογενής αντιμετώπιση της σήμανσης ορίου ταχύτητας σε γειτονικές θέσεις ΜΟΑ κ.λπ.
- 27 θέσεις στην Ημαθία αφορούσαν επεμβάσεις εντός κατοικημένης περιοχής, σε ασυμφωνία με τις προδιαγραφές του προγράμματος. Οι θέσεις αυτές (και το αντίστοιχο κόστος υλοποίησης) εξαιρέθηκαν από την οικονομική αξιολόγηση.

3.4 Εφαρμογή Προτύπων Πρόβλεψης Ατυχημάτων

Για την εκτίμηση των ωφελειών από την υλοποίηση των επεμβάσεων οδικής ασφάλειας εφαρμόστηκαν πρότυπα πρόβλεψης ατυχημάτων σύμφωνα με τη μέθοδο του Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), όπως αυτή περιγράφεται στην ενότητα 2 της εργασίας.

3.4.1 Διαχωρισμός θέσεων

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε αρχικά διαχωρισμός των ΜΟΑ, όπου κρίθηκε απαραίτητο, σε επιμέρους θέσεις με ομοιογενή χαρακτηριστικά. Π.χ. ΜΟΑ που περιελάμβανε δύο γειτονικούς ισόπεδους κόμβους διαχωρίστηκε σε δύο θέσεις, και ΜΟΑ με διαδοχικές οριζοντιογραφικές καμπύλες διαχωρίστηκε ώστε κάθε θέση να περιλαμβάνει μία καμπύλη. Ως αποτέλεσμα, στην Βοιωτία προέκυψαν 129 θέσεις (από 111 αρχικά) και στην Ημαθία 126 θέσεις (από 116 αρχικά).

3.4.2 Πρόβλεψη ατυχημάτων για την περίοδο 2013-2017

Για κάθε επιμέρους θέση, με χρήση κατάλληλων προτύπων πρόβλεψης ατυχημάτων του Highway Safety Manual (AASHTO, 2010) και λαμβάνοντας υπόψη τα τοπικά χαρακτηριστικά (ΕΜΗΚ, γεωμετρία, οδικός εξοπλισμός, σήμανση κ.λπ.) υπολογίστηκαν τα ατυχήματα για την περίοδο 2013-2017.

Συγκεκριμένα, προκειμένου για **οδικά τμήματα** χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (2):

$$N_{spf} = (AADT) \times (L) \times (365) \times (10^{-6}) \times e^{(-0,312)} \quad (2)$$

όπου:

N_{spf} = προβλεπόμενη μέση συχνότητα ατυχημάτων / έτος για συνήθεις συνθήκες,

$AADT$ = ΕΜΗΚ (οχήματα/ημέρα),

L = μήκος τμήματος (μίλια).

Για την εκτίμηση της επίδρασης των τοπικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι Παράγοντες Μεταβολής Ατυχημάτων ("Crash Modification Factors" - CMF), που αφορούν στο πλάτος λωρίδας, το είδος και πλάτος ερείσματος, την οριζοντιογραφική καμπυλότητα, την κατά μήκος κλίση, τα χαρακτηριστικά του παρόδιου χώρου και την ύπαρξη οδοφωτισμού (AASHTO, 2010).

Για την εκτίμηση των ατυχημάτων στους **ισόπεδους κόμβους** χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις (3) και (4), ανάλογα με τη μορφή του κόμβου:

Τρισκελείς κόμβοι με STOP στη δευτερεύουσα οδό:

$$N_{spf} = \exp [-9,86 + 0,79 \times \ln(AADT_{maj}) + 0,49 \times \ln(AADT_{min})] \quad (3)$$



Τετρασκελείς κόμβοι με STOP στη δευτερεύουσα οδό:

$$N_{spf} = \exp [-8,56 + 0,60 \times \ln(AADT_{maj}) + 0,61 \times \ln(AADT_{min})] \quad (4)$$

όπου:

N_{spf} = προβλεπόμενη μέση συχνότητα ατυχημάτων / έτος για συνήθεις συνθήκες στην εγγύς περιοχή του κόμβου,

$AADT_{maj}$ = ΕΜΗΚ (οχήματα/ημέρα) στην κύρια οδό,

$AADT_{min}$ = ΕΜΗΚ (οχήματα/ημέρα) στη δευτερεύουσα οδό.

Για την εκτίμηση της επίδρασης των τοπικών χαρακτηριστικών επίσης χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι Παράγοντες Μεταβολής Ατυχημάτων ("Crash Modification Factors" - CMF), που αφορούν στην γωνία διασταύρωσης των αξόνων, την ύπαρξη πρόσθετης λωρίδας αριστερής ή/ και δεξιάς στροφής και την ύπαρξη οδοφωτισμού (AASHTO, 2010).

Σύμφωνα με το Highway Safety Manual, με τις παραπάνω σχέσεις εκτιμάται το σύνολο των ατυχημάτων, περιλαμβανομένων ατυχημάτων με υλικές ζημιές μόνο. Για τον περιορισμό της ανάλυσης σε ατυχήματα με παθόντες, χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι συντελεστές (AASHTO, 2010): 32,1% προκειμένου για οδικά τμήματα και 34,0% για κόμβους.

3.4.3 Προσαρμογή μοντέλου με βάση ιστορικά στοιχεία ατυχημάτων

Για την προσαρμογή του μοντέλου στις τοπικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκε ο λόγος των ατυχημάτων που πραγματικά καταγράφηκαν από την Τροχαία την χρονική περίοδο 2013-2017 στις εξεταζόμενες θέσεις στη Βοιωτία και στην Ημαθία (32 ατυχήματα σε κάθε μία), προς τον προβλεπόμενο αριθμό ατυχημάτων με βάση την προαναφερθείσα μέθοδο. Η προσαρμογή πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε περιφερειακή ενότητα.

Με τον τρόπο αυτό, τα προσαρμοσμένα πλέον μοντέλα πρόβλεψης ατυχημάτων, για την περίοδο 2013-2017 δίνουν ως αποτέλεσμα ετήσια πρόβλεψη αριθμού ατυχημάτων ίση με τον μέσο όρο του αριθμού ατυχημάτων που καταγράφηκε ετησίως κατά την περίοδο αυτή.

Επισημαίνεται ότι η προσέγγιση αυτή διαφέρει από την προτεινόμενη στο Highway Safety Manual διαδικασία υπολογισμού του Συντελεστή Προσαρμογής (C): ο συντελεστής C αναφέρεται στα "βασικά" πρότυπα ατυχημάτων (SPF), πριν τον συνυπολογισμό Παραγόντων Μεταβολής Ατυχημάτων (CMF) και για τον υπολογισμό του απαιτείται η εξέταση μεγάλου αριθμού θέσεων (όχι MOA), με συγκεκριμένα "συνήθη" χαρακτηριστικά. Σχετικά στοιχεία δεν υπάρχουν διαθέσιμα στην Ελλάδα.

3.4.4 Εκτίμηση ατυχημάτων για το έτος στόχο, χωρίς υλοποίηση επεμβάσεων

Με χρήση των προσαρμοσμένων πλέον μοντέλων πρόβλεψης ατυχημάτων υπολογίστηκε ο αριθμός ατυχημάτων χωρίς την υλοποίηση επεμβάσεων σε κάθε θέση MOA στη Βοιωτία και στην Ημαθία, για κάθε έτος μεταξύ του έτους βάσης (2017) και του έτους στόχου (2032) της ανάλυσης. Στον υπολογισμό ελήφθησαν υπόψη δύο πρόσθετοι παράγοντες σε σχέση με το μοντέλο των ετών 2013-2017: η ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας και η γενικότερη τάση μείωσης των ατυχημάτων.

Συγκεκριμένα, αναφορικά με την κυκλοφορία, θεωρήθηκε αύξηση της ΕΜΗΚ στις υπόψη θέσεις σύμφωνα με τις προβλέψεις του Εθνικού Κυκλοφοριακού Μοντέλου, ίση με 1,58% ετησίως για την Ημαθία και 3,37% για τη Βοιωτία.



Επιπλέον, σύμφωνα με τη διεθνή σχετική βιβλιογραφία, η οδική ασφάλεια εμφανίζει βελτίωση με την πάροδο των ετών ακόμη και χωρίς την υλοποίηση επεμβάσεων στην οδική υποδομή, λόγω παραγόντων όπως η βελτίωση των οχημάτων, η αύξηση της αστυνόμευσης, η ευαισθητοποίηση των πολιτών κ.λπ. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η βελτίωση αυτή, αξιοποιήθηκαν τα συμπεράσματα του έργου SafeFITS (Yannis et al., 2017; Yannis et al., 2018) και συγκεκριμένα το εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων SafeFITS (https://www.unecce.org/trans/theme_safefits.html). Το συγκεκριμένο εργαλείο βασίζεται σε πρόσφατη ακαδημαϊκή και επιστημονική έρευνα και παρέχει μακροσκοπικές προβλέψεις του αριθμού των νεκρών σε οδικά ατυχήματα, με εναλλακτικές πολιτικές οδικής ασφάλειας. Στην εξεταζόμενη περίπτωση και με την παραδοχή μη υλοποίησης επεμβάσεων οδικής ασφάλειας, εκτιμήθηκε μείωση των νεκρών στην Ελλάδα από το έτος βάση 2017 μέχρι το έτος στόχο 2032 κατά 17%. Θεωρώντας ότι η τάση μείωσης του αριθμού των ατυχημάτων ακολουθεί την αντίστοιχη τάση στους νεκρούς, στην οικονομική ανάλυση θεωρήθηκε η αντίστοιχη μέση ετήσια μείωση 1,03%.

Οι εκτιμήσεις αριθμού ατυχημάτων για το έτος 2032 στις εξεταζόμενες θέσεις MOA για τη Βοιωτία ανέρχονται σε 8,63 ατυχήματα (Σενάριο 1) ή 9,21 ατυχήματα (Σενάριο 2) και για την Ημαθία σε 6,65 ατυχήματα (Σενάριο 1) ή 7,10 ατυχήματα (Σενάριο 2).

3.4.5 Εκτίμηση ατυχημάτων για το έτος στόχο, με υλοποίηση επεμβάσεων

Για την εκτίμηση των ατυχημάτων σε κάθε έτος μετά την υλοποίηση των επεμβάσεων χρησιμοποιήθηκαν τα προσαρμοσμένα μοντέλα πρόβλεψης ατυχημάτων, θεωρώντας όμως την πλήρη εφαρμογή των προβλεπόμενων βραχυπρόθεσμων επεμβάσεων. Ελήφθησαν υπόψη η ετήσια αύξηση της κυκλοφορίας και η γενικότερη τάση μείωσης των ατυχημάτων όπως περιγράφηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν όμως πρόσθετοι Παράγοντες Μεταβολής Ατυχημάτων (CMF) για να απεικονίσουν την αναμενόμενη επίδραση των επεμβάσεων στα ατυχήματα. Για την επιλογή κατάλληλων Παραγόντων Μεταβολής Ατυχημάτων αξιοποιήθηκε η διεθνής βιβλιογραφία καθώς και σχετικές ψηφιακές βάσεις δεδομένων, όπως τα FHWA CMF Clearinghouse (<http://www.cmfclearinghouse.org>) και PRACT APM & CMF Repository (<https://www.pract-repository.eu/>).

Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε θέση καθώς σημειώνονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί. Οι περιπτώσεις του Πίνακα στις οποίες αναγράφεται "χωρίς μεταβολή", όπως π.χ. οριζοντιογραφική καμπύλη, κατά μήκος κλίση κ.λπ., αφορούν χαρακτηριστικά της οδού που δεν προβλέπεται να μεταβληθούν, δεδομένου ότι οι επεμβάσεις είναι στο σύνολό τους άμεσης εφαρμογής και χαμηλού κόστους. Στις περιπτώσεις που η εκάστοτε βελτίωση (π.χ. ταινίες ακουστικής προειδοποίησης) δεν προβλέπεται για τη συγκεκριμένη θέση, λαμβάνεται τιμή CMF ίση με τη μονάδα.



Πίνακας 1: Παράγοντες Μεταβολής Ατυχημάτων (CMF)

Θέμα	Πηγή	Τιμή / Εύρος τιμών
Για οδικά τμήματα:		
Πλάτος λωρίδας	AASHTO, 2010 - Μέρος C	1,000 - 1,172
Είδος & πλάτος ερείσματος	AASHTO, 2010 - Μέρος C	0,987 - 1,287
Οριζοντιογραφική καμπύλη	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Επίκλιση	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Κατά μήκος κλίση	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Πυκνότητα προσβάσεων	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Ταινίες ακουστικής προειδοποίησης στον άξονα	AASHTO, 2010 - Μέρος C	0,94
Λωρίδα προσπέρασης / βραδυπορείας	AASHTO, 2010 - Μέρος C	0,75
Οδοφωτισμός	AASHTO, 2010 - Μέρος C	0,841 - 0,857 (ανάλογα με % ατυχημάτων τη νύχτα)
Βελτίωση κατακόρυφης σήμανσης (περιλαμβανομένου ορίου ταχύτητας)	AASHTO, 2010 - Μέρος D	0,87
Διάστρωση αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης	Labi, 2011	0,99 (εθνικές οδοί) ή 0,98 (επαρχιακές οδοί) $\exp(0,185 \cdot \text{RHS})$
Βελτιώσεις σε παρόδιο χώρο	Cafiso et al., 2010	RHS=μεταβολή στο Roadside Hazard Rating
Εγκατάσταση στηθαίων ασφαλείας (κατά EN-1317)	Cafiso et al., 2014	0,78
Βελτίωση ανακατασκευή διαγράμμισης	AASHTO, 2010 - Μέρος D	0,94
Εγκατάσταση πλευρικών οριοδεικτών	Dissanayake & Galgamuwa, 2017	0,98 (ανάλογα με το % ατυχημάτων εκτροπής)
Ταινίες ακουστικής προειδοποίησης εγκάρσια (για μείωση ταχύτητας)	Elvik et al., 2009	0,66
Για κόμβους:		
Γωνία συμβολής	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Πρόσθετη λωρίδα αριστερά στροφής	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Πρόσθετη λωρίδα δεξιά στροφής	AASHTO, 2010 - Μέρος C	χωρίς μεταβολή
Οδοφωτισμός	AASHTO, 2010 - Μέρος C	0,892 - 0,919 (ανάλογα με % ατυχημάτων τη νύχτα)
Απομάκρυνση εμποδίων ορατότητας	FHWA, 2000	0,95
Διάστρωση αντιολισθηρής ασφαλτικής στρώσης	Lyon & Persaud, 2008	0,94 - 0,98 (ανάλογα με τη μορφή του κόμβου και το % ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα)



Με τη συνδυασμένη εφαρμογή των προτύπων για οδικά τμήματα και για κόμβους, μετά την υλοποίηση των επεμβάσεων, εκτιμήθηκε ότι το έτος 2032 στις εξεταζόμενες θέσεις ΜΟΑ στη Βοιωτία θα συμβούν 5,09 ατυχήματα (Σενάριο 1) ή 5,43 ατυχήματα (Σενάριο 2) και στην Ημαθία 4,08 ατυχήματα (Σενάριο 1) ή 4,36 ατυχήματα (Σενάριο 2).

3.5 Εκτίμηση Οφέλους Οδικής Ασφάλειας

Το βασικό αναμενόμενο όφελος από την υλοποίηση των επεμβάσεων είναι προφανώς η μείωση του αριθμού των νεκρών, σοβαρά και ελαφρά τραυματιών στις εξεταζόμενες θέσεις ΜΟΑ στη Βοιωτία και την Ημαθία. Λαμβάνοντας υπόψη το είδος και το μέγεθος των επεμβάσεων, δευτερεύοντα οφέλη και επιπτώσεις (π.χ. στην απασχόληση, στο περιβάλλον κ.λπ.) θεωρήθηκαν αμελητέα.

Η διαφορά μεταξύ των προβλέψεων του μοντέλου ατυχημάτων χωρίς τις επεμβάσεις (μηδενική λύση) και του μοντέλου με επεμβάσεις, για κάθε έτος εντός της χρονικής περιόδου αξιολόγησης αποτελεί μια αξιόπιστη εκτίμηση του οφέλους των επεμβάσεων αναφορικά με τον αριθμό των ατυχημάτων. Η μείωση αυτή για το έτος 2032 στις εξεταζόμενες θέσεις ΜΟΑ στη εκτιμήθηκε σε 3,54 ατυχήματα (Σενάριο 1) ή 3,78 ατυχήματα (Σενάριο 2) και στην Ημαθία 2,57 ατυχήματα (Σενάριο 1) ή 2,74 ατυχήματα (Σενάριο 2).

Για την εκτίμηση της αντίστοιχης μείωσης του αριθμού των παθόντων υπολογίστηκαν, με αξιοποίηση κατάλληλων στοιχείων από την βάση δεδομένων ατυχημάτων της ΕΛΣΤΑΤ σε επαρκές χρονικό διάστημα (10ετία 2008-2017), κατάλληλοι δείκτες σοβαρότητας των ατυχημάτων, οι οποίοι θεωρήθηκε ότι δεν θα επηρεαστούν από το πρόγραμμα. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκαν κατά μέσο όρο 22,01 νεκροί ανά 100 ατυχήματα, 20,76 σοβαρά τραυματίες και 122,14 ελαφρά τραυματίες. Επιπλέον, ως εναλλακτικά σενάρια (Σενάρια β) χρησιμοποιήθηκαν διορθωτικοί συντελεστές για την ελλιπή καταγραφή ατυχημάτων με παθόντες (βλ. και παράγραφο 3.2): 1,15 για τους νεκρούς, 1,74 για τους σοβαρά και 1,54 για τους ελαφρά τραυματίες.

Με βάση τα παραπάνω, εκτιμήθηκε το συνολικό όφελος από τις επεμβάσεις οδικής ασφάλειας στις θέσεις ΜΟΑ, για όλη τη διάρκεια των 15 εξεταζόμενων ετών (2017-2032) το οποίο συνοψίζεται στον Πίνακα 2:

Πίνακας 2: Όφελος από τις επεμβάσεις οδικής ασφάλειας στις θέσεις ΜΟΑ σε Βοιωτία και Ημαθία

Μείωση σε:	Βοιωτία				Ημαθία			
	Σενάριο 1α	Σενάριο 1β	Σενάριο 2α	Σενάριο 2β	Σενάριο 1α	Σενάριο 1β	Σενάριο 2α	Σενάριο 2β
Νεκρούς	10	12	11	13	9	10	9	11
Σοβαρά τραυματίες	10	17	10	18	8	14	9	15
Ελαφρά τραυματίες	58	89	62	95	48	74	51	79

3.6 Προσδιορισμός Παραμέτρων Οικονομικής Αξιολόγησης

Οι βασικές παράμετροι της οικονομικής αξιολόγησης συνοψίζονται στα εξής:



- Χρονική περίοδος αξιολόγησης: ορίστηκε στα 15 έτη, με έτος βάσης το 2017 και έτος στόχο το 2032. **Επισημαίνεται ότι οι εξεταζόμενες επεμβάσεις αφορούν μέτρα χαμηλού κόστους, βραχυπρόθεσμης εφαρμογής και μειωμένης διάρκειας ζωής (βλ. και αναφορά στη συνέχεια), με αποτέλεσμα να μην έχει εφαρμογή η χρήση περιόδου αξιολόγησης 30 ετών όπως προβλέπεται από την Ε.Ε. για συνήθη οδικά έργα.**
- Επιτόκιο αναφοράς: ορίστηκε σε 5%, σύμφωνα με την πρακτική της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων.
- Διάρκεια ζωής έργων: σύμφωνα με τη σχετική διεθνή βιβλιογραφία (AUSTROADS, 2010; NHTSA, 2015) η διάρκεια ζωής επεμβάσεων χαμηλού κόστους όπως οι εξεταζόμενες κυμαίνεται από 5 ως 20 έτη. **Σχετικά στοιχεία για την Ελλάδα δεν υπάρχουν διαθέσιμα. Με βάση τη βιβλιογραφία θεωρήθηκε μέση διάρκεια ζωής 15 έτη, ίση με τη χρονική περίοδο αξιολόγησης. Επομένως, στο πέρας της περιόδου αξιολόγησης η αξία των επεμβάσεων (υπολειμματική αξία) είναι μηδενική.**

3.7 Κόστος Επεμβάσεων Οδικής Ασφάλειας

Το κόστος των επεμβάσεων περιλαμβάνει τη δαπάνη της αρχικής κατασκευής και τις δαπάνες τακτικής συντήρησης των έργων. Η δαπάνη κατασκευής εκτιμήθηκε με βάση τους αναλυτικούς προϋπολογισμούς κατασκευής που έχουν συνταχθεί στο πλαίσιο των ΜΕΒΟΑ, επικαιροποιημένους όμως ως προς τις τιμές μονάδας και με ενιαία πλέον αντιμετώπιση ως προς τον τρόπο δημοπράτησης (ανά περιφερειακή ενότητα). Δεν ελήφθη υπόψη ενδεχόμενη έκπτωση του Αναδόχου Κατασκευής, ώστε να αντισταθμιστούν ενδεχόμενες υπερβάσεις της δαπάνης κατά την υλοποίηση των έργων.

Το κόστος ετήσιας συντήρησης αφορά στη συντήρηση των επεμβάσεων που θα υλοποιηθούν και όχι στο σύνολο του οδικού έργου και αναμένεται να αυξάνει με την πάροδο των ετών. Με βάση την εμπειρία από παραπλήσιες επεμβάσεις οδικής ασφάλειας, το κόστος συντήρησης εκτιμήθηκε σε 0,5% της δαπάνης κατασκευής ετησίως για τα πέντε πρώτα έτη, 2,5% ετησίως για τα επόμενα πέντε έτη και 4,5% ετησίως για τα τελευταία πέντε έτη της αξιολόγησης.

3.8 Οικονομική αποτίμηση Ωφελειών Οδικής Ασφάλειας

Για την οικονομική αποτίμηση της αναμενόμενης μείωσης στον αριθμό των παθόντων χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις των Kourtis et al. (2018) για την Ελλάδα, σύμφωνα με τους οποίους ο θάνατος αποτιμάται σε 2.148.034,20€, ο σοβαρός τραυματισμός 273.574,25€ και ο ελαφρύς τραυματισμός 51.372,70€. Οι εκτιμήσεις αυτές είναι συμβατές με παρόμοιες έρευνες στην Ευρώπη (Wijnen et al., 2018; InDeV, 2016), σύμφωνα με τις οποίες σε 31 Ευρωπαϊκές χώρες το κόστος της απώλειας ανθρώπινης ζωής σε οδικό ατύχημα κυμαίνεται από 0,7εκ.€ ως 3,0εκ.€, με την Ελλάδα να κατατάσσεται στην 9η θέση, με κόστος περί τα 2εκ. €

3.9 Υπολογισμός Οικονομικού Βαθμού Απόδοσης (ERR)

Ο οικονομικός βαθμός απόδοσης (ERR) απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία των πρόσθετων ετήσιων ταμειακών ροών (κόστος & όφελος) οι οποίες αποδίδονται στο πρόγραμμα, με το αρχικό κόστος του προγράμματος. Με άλλα λόγια, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία του προγράμματος. **Ο οικονομικός βαθμός απόδοσης χρησιμοποιείται εναλλακτικά με το μέγεθος της καθαρής παρούσας αξίας για την αξιολόγηση κόστους - ωφέλειας ενός έργου ή μίας δραστηριότητας.**



Μετά την ποσοτική αποτίμηση του κόστους και του οφέλους για κάθε έτος (2017 ως 2032), υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης ξεχωριστά για τη Βοιωτία και για την Ημαθία, για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια (βλ. και παράγραφο 3.2). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε **προκαταρκτική εκτίμηση** του βαθμού απόδοσης για το σύνολο του προγράμματος οδικής ασφάλειας της Εγνατίας Οδού, με τις ακόλουθες παραδοχές:

- Αναφορικά με το κόστος υλοποίησης, η συνολική δαπάνη που προεβλέπεται στους προϋπολογισμούς των ΜΕΒΟΑ επικαιροποιήθηκε (λόγω αλλαγής τιμών μονάδος και τρόπου δημοπράτησης) σε όμοιο ποσοστό με αυτό που υπολογίστηκε αναλυτικά στην πιλοτική εφαρμογή για τη Βοιωτία και την Ημαθία. Το συνολικό κόστος δημοπράτησης εκτιμήθηκε σε περίπου 456εκ€ (δεν περιλαμβάνεται ΦΠΑ).
- Το κόστος συντήρησης ελήφθη όμοιο με τις εκτιμήσεις της πιλοτικής εφαρμογής.
- Αναφορικά με τα οφέλη, θεωρήθηκε ότι σε κάθε περιφερειακή ενότητα η μείωση στον αριθμό ατυχημάτων και παθόντων λόγω του προγράμματος θα είναι ίση με τη μέση ποσοστιαία μείωση σε Βοιωτία και Ημαθία (σταθμισμένη με βάση το πλήθος των ατυχημάτων).

Επισημαίνεται ότι η προκαταρκτική αυτή εκτίμηση θα πρέπει να επιβεβαιωθεί με την εφαρμογή της περιγραφείσας μεθοδολογίας σε όλες τις περιφερειακές ενότητες της Ελλάδας.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 3. Επισημαίνεται ότι το Σενάριο 2β, στο οποίο περιλαμβάνονται τα ατυχήματα γνωστής οδού / άγνωστης χιλιομετρικής θέσης και έχει ληφθεί υπόψη η ελλιπής καταγραφή των οδικών ατυχημάτων θεωρείται το πλέον κατάλληλο για την αξιολόγηση του προγράμματος.

Πίνακας 3: Οικονομικός Βαθμός Απόδοσης (ERR)

Σενάριο	Βοιωτία	Ημαθία	Σύνολο Προγράμματος (προκαταρκτική εκτίμηση)
Σενάριο 1α	19,5%	11,6%	11,2%
Σενάριο 1β	25,2%	16,6%	16,7%
Σενάριο 2α	21,1%	13,1%	12,6%
Σενάριο 2β (προτεινόμενο)	27,1%	18,2%	18,2%

4. Συμπεράσματα

Στην εργασία παρουσιάστηκε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την οικονομική αξιολόγηση επεμβάσεων οδικής ασφάλειας, η οποία εφαρμόστηκε με επιτυχία για την εκτίμηση του οικονομικού βαθμού απόδοσης στις Μελέτες Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας της Εγνατίας Οδού Α.Ε., στις περιφερειακές ενότητες Βοιωτίας και Ημαθίας.

Η μεθοδολογία βασίζεται στην αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων οδικής ασφάλειας, κυκλοφορίας, γεωμετρίας των οδών / κόμβων, οδικού εξοπλισμού και προϋπολογισμού δαπάνης κατασκευής των επεμβάσεων, και σε ανάλυση των πλέον πρόσφατων ιστορικών στοιχείων ατυχημάτων (2013-2017), τα συμπεράσματα της οποίας συμπληρώθηκαν και



επιβεβαιώθηκαν με επιτόπου επιθεωρήσεις των εξεταζόμενων θέσεων Μειωμένης Οδικής Ασφάλειας (ΜΟΑ). Με τη χρήση Προτύπων Πρόβλεψης Ατυχημάτων κατάλληλα προσαρμοσμένων στις τοπικές συνθήκες, προσδιορίστηκε ποσοτικά η μείωση στον αριθμό των νεκρών, σοβαρά και ελαφρά τραυματιών στις εν λόγω θέσεις για κάθε έτος, εκτιμήθηκε το αντίστοιχο οικονομικό όφελος και, σε συνδυασμό με επικαιροποιημένα στοιχεία κόστους, υπολογίστηκε ο οικονομικός βαθμός απόδοσης για το πρόγραμμα επεμβάσεων στη Βοιωτία και την Ημαθία αρχικά, και στη συνέχεια, κατά προσέγγιση, για το σύνολο του προγράμματος, για επιλεγμένα σενάρια.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση και την εμπειρία της πιλοτικής εφαρμογής, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω ενδιαφέροντα συμπεράσματα:

Σε συμφωνία με τη σχετική διεθνή εμπειρία, οι επεμβάσεις βελτίωσης της ασφάλειας στην οδική υποδομή (μέτρα χαμηλού κόστους και άμεσης εφαρμογής) χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλό οικονομικό βαθμό απόδοσης, είναι δηλαδή **ιδιαίτερα ανταποδοτικά**. Αυτό αποδίδεται αφενός στον συνδυασμό του χαμηλού κόστους υλοποίησης με την υψηλή οικονομική αποτίμηση του οφέλους τους (π.χ. 2,15εκ.€ για κάθε νεκρό που σώζεται), αλλά και στο ότι οι επεμβάσεις είναι εστιασμένες στις συγκεκριμένες θέσεις στις οποίες πράγματι συμβαίνουν ατυχήματα.

Η οικονομική ανταποδοτικότητα των επεμβάσεων **δεν ανατρέπεται** σε ενδεχόμενη μεταβολή των δεδομένων ή των παραδοχών. Ήδη από τον Πίνακα 3 είναι σαφές ότι, αν και υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις παραδοχές μεταξύ των ακραίων σεναρίων 1α και 2β, εντούτοις το πρόγραμμα είναι σε όλα τα σενάρια ανταποδοτικό.

Όπως γίνεται αντιληπτό στον Πίνακα 3, παρατηρείται **αξιόλογη διαφορά** στην οικονομική ανταποδοτικότητα μεταξύ των περιφερειακών ενοτήτων Βοιωτίας και Ημαθίας. Και στις δύο περιπτώσεις, η αναμενόμενη ποσοστιαία μείωση στον αριθμό ατυχημάτων λόγω των επεμβάσεων δεν διαφέρει σημαντικά (41% στη Βοιωτία, 38,5% στην Ημαθία). Όμως, στη Βοιωτία προβλέπεται να δαπανηθούν περίπου 7,3εκ.€ για τη βελτίωση 39,3Km θέσεων ΜΟΑ (0,19εκ.€/Km), ενώ στην Ημαθία 9,1εκ.€ σε 27,5Km θέσεων ΜΟΑ (0,33εκ.€/Km). Επιπλέον, το υπόψη οδικό δίκτυο της Βοιωτίας εμφανίζει υψηλότερους κυκλοφοριακούς φόρτους σε σύγκριση με την Ημαθία, που αναμένεται να αυξηθούν περαιτέρω στο μέλλον. Στους παράγοντες αυτούς μπορεί να αποδοθεί η αυξημένη ανταποδοτικότητα των επεμβάσεων στην Ημαθία.

Επισημαίνεται τέλος ότι αν και με την περιγραφείσα μεθοδολογία είναι δυνατή η εξαγωγή αξιόπιστων γενικών συμπερασμάτων για την οικονομική ανταποδοτικότητα επεμβάσεων οδικής ασφάλειας ακόμη και με περιορισμούς στα διαθέσιμα δεδομένα, η ύπαρξη αξιόπιστης, επικαιροποιημένης και εύκολα προσβάσιμης πληροφορίας αναφορικά με τα οδικά ατυχήματα, την ακριβή θέση στην οποία συμβαίνουν, τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα στοιχεία γεωμετρικού σχεδιασμού για το σύνολο του οδικού δικτύου της χώρας είναι ιδιαίτερα σημαντική και απαραίτητα για την εφαρμογή λεπτομερών ποσοτικών μεθόδων και προηγμένων εργαλείων οικονομικής αξιολόγησης των επεμβάσεων οδικής ασφάλειας.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά τους: Ελένη Γιώτη, Κωνσταντίνο Καργάκο, Per Mathiasen, Collins Makoriwa (Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων), Κυριακή Σαριδάκη και



Αλέξανδρο Μαραβά (Εγνατία Οδός Α.Ε.), για την πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους κατά την εκπόνηση του έργου.

5. Αναφορές-Βιβλιογραφία

1. AASHTO (2010). *Highway Safety Manual*, First Edition, American Association of State and Highway Transportation Officials.
2. AUSTRROADS (2010). *Road safety Engineering Risk Assessment, Part 4: Treatment Life for Road Safety Measures*. AUSTRROADS Technical Report AP-T149/10.
3. Cafiso, S., D' Agostino, C., Persaud, B. (2014). *Investigating the influence on safety of retrofitting Italian motorways with barriers meeting a new EU standard*. TRB 2014 annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, 12-16 January 2014.
4. Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., Persaud, B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1072-1079.
5. Elvik, R., Hoye, A., Vaa, T., Sorensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*, 2nd Edition, Emerald Group Publishing Ltd.
6. FHWA (2000). *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*. Publication NO. FHWA-RD-99-207. D.W. Harwood, F.M. Council, E. Hauer, W.E. Hughes, and A. Vogt.
7. InDeV (2016). *Review of European Accident Cost Calculation Methods - With Regard to Vulnerable Road Users*. In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users (InDeV) Project - Deliverable 5.1.
8. OECD (2012). *Sharing road safety: Developing an international framework for crash modification functions*. Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Publishing, Paris.
9. *FHWA CMF Clearinghouse*. Retrieved May 10, 2019, from <http://www.cmfclearinghouse.org>
10. Kourtis, M., Ziakopoulos, A., Yannis, G. (2018). *Modelling the economic impact of road accidents in Greece*. Diploma Thesis, NTUA, School of Civil Engineering, Athens, July 2018.
11. Labi, S (2011). Efficacies of roadway safety improvements across functional subclasses of rural two-lane highways. *Journal of Safety Research*, 42, 231-239.
12. Lyon & Persaud, 2008. *Safety Effects of a Targeted Skid Resistance Improvement Program*. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
13. NHTSA (2015). *Synthesis of Countermeasure Service Life and Crash Severity Costs User Guide*.
14. *PRACT APM and CMF Repository*. Retrieved May 10, 2019, from <https://www.pract-repository.eu/>
15. Wijnen, W., Weijermarsb, W., Schoetersc, A., Van den Berghec, W., Bauerd, R., Carnise, L., Elvikf, R., Martensenc, H. (2019). An analysis of official road crash cost estimates in European countries. *Safety Science*, 113, 318-327.



16. Yannis G., Papadimitriou E., Folla K., Nikolic N., Molnar E. (2018). *SafeFITS – A global model as a tool for road safety policy making*. Proceedings of the 13th International Conference “Road Safety in Local Community”. 18-21 April 2018, Kopaonik, Serbia.
17. Yannis, G., Papadimitriou, E., Chaziris, A., Broughton, J. (2014). Modeling road accident injury under-reporting in Europe. *European Transport Research Review*, 6 (4), 425-438.
18. Yannis, G., Papadimitriou, E., Evgenikos, P., Dragomanovits, A. (2015). Good practices on cost - effective road infrastructure safety investments. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 23(4), 373-387.
19. Yannis, G., Papadimitriou, E., Folla, K. (2017). *SafeFITS. A Global Road Safety Model For Future Inland Transport Systems*. Presentation at the UNECE Working Party on Road Traffic Safety, 19 September 2017, Geneva.
20. Εγνατία Οδός Α.Ε. (2013). *Μελέτες Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας. Κατευθυντήριες Οδηγίες*. Έκδοση 3.