



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
και Μηχανικών Γεωπληροφορικής



Εργαστήριο
Συγκοινωνιακής
Τεχνικής (ΕΣΤε)

Υποστήριξη Διδακτορικής Διατριβής

Δημιουργία Πλαισίου Επιθεώρηση Οδικής Ασφάλειας για την Αντιμετώπιση Προβλημάτων Οδικής Ασφάλειας

Κωνσταντίνος Αποστολέρης
Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., MSc

11 Ιουλίου 2022





Αφορμή - Στόχος

Αφορμή για την έναρξη της έρευνας που αποτέλεσε αντικείμενο της παρούσας διατριβής ήταν η ενεργή ενασχόληση μου με τις Μελέτες Επεμβάσεων Βελτίωσης Οδικής Ασφάλειας (ΜΕΒΟΑ) από το 2012, οι οποίες περιλάμβαναν την αξιολόγηση και την πρόταση στοχευμένων παρεμβάσεων σε 15.000χλμ του εθνικού και επαρχιακού οδικού δικτύου της χώρας δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Μέσα από την ενεργή συμμετοχή μου στον καθορισμό της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση των συγκεκριμένων μελετών, διαπίστωσα το σημαντικό κενό που υπήρχε στο συγκεκριμένο ερευνητικό αντικείμενο.

Στο πλαίσιο αυτό ως στόχος της παρούσας διατριβής καθορίστηκε η διερεύνηση, η διατύπωση και η **ανάδειξη μίας νέας μεθοδολογίας αξιολόγησης της επικινδυνότητας οδών**, μέσω της οποίας να είναι δυνατή η αξιολόγηση ενός υφιστάμενου ή ενός υπό μελέτη οδικού δικτύου δύο λωρίδων κυκλοφορίας, αναφορικά με στοιχεία που χαρακτηρίζουν τον ευρύτερο γεωμετρικό του σχεδιασμό.

Ταυτόχρονα ήταν ιδιαίτερα κρίσιμο να επιτυγχάνεται μία ιεράρχηση των οδικών τμημάτων, των οριζοντιογραφικών καμπυλών και των ισόπεδων κόμβων, προκειμένου να αναδεικνύονται οι θέσεις που παρουσιάζουν μειωμένο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας με στόχο την κατάλληλη μέριμνα και πρόληψη.



Βιβλιογραφική ανασκόπηση – Υφιστάμενη προσέγγιση

Σήμερα η αξιολόγηση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας των οδικών δικτύων δύο λωρίδων κυκλοφορίας πραγματοποιείται με τρεις κυρίως διαδικασίες:

1. Με εφαρμογή των κριτηρίων ασφαλείας I, II και III. Τα κριτήρια αυτά εφαρμόζονται διεθνώς και αξιοποιούν τόσο την ταχύτητα σχεδιασμού, όσο και τη λειτουργική ταχύτητα (V_{85}), όπως αυτές καθορίζονται από τις σχετικές οδηγίες και τα αντίστοιχα μοντέλα κάθε χώρας.
2. Με εφαρμογή του δείκτη συχνότητας αναμενόμενων συγκρούσεων (CMF) και του δείκτη μείωσης αναμενόμενων συγκρούσεων (CRF), όπως αυτοί καθορίζονται με την έως σήμερα ερευνητική δραστηριότητα.
3. Με την εφαρμογή αριθμητικών και στατιστικών μεθόδων που αξιοποιούν τα καταγεγραμμένα ατυχήματα προηγούμενων ετών. Τα σχετικά πρότυπα που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των αναμενόμενων ατυχημάτων σε κάθε υπό εξέταση οδικό τμήμα και την αντίστοιχη κατάταξη του ως προς την επικινδυνότητα που παρουσιάζει.
4. Συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων.



Βιβλιογραφική ανασκόπηση – Υφιστάμενα λογισμικά

Σήμερα αξιοποιούνται αρκετά λογισμικά με τα ευρύτερα διαδεδομένα να είναι:

- Το λογισμικό IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model), το οποίο αξιοποιεί μαθηματικές αναλύσεις και αλγορίθμους που πηγάζουν αφενός από τις οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού και αφετέρου από τους δείκτες CMF όπως αυτοί παρουσιάζονται κυρίως στο αμερικανικό Εγχειρίδιο Ασφάλειας Οδών (HSM). Παρόλο που το συγκεκριμένο λογισμικό αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο σημειώνεται ότι η αξιολόγηση του γεωμετρικού σχεδιασμού και το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων (SPF) αξιοποιεί κατά κύριο λόγο στοιχεία και έρευνες από την Αμερική, οι οποίες σε πάρα πολλές περιπτώσεις δεν εναρμονίζονται με τις Ευρωπαϊκές.
- Η μεθοδολογία του iRap η οποία πραγματοποιείται μέσω βιντεοσκόπησης του οδικού δικτύου και αξιολόγησης εικόνων με ένα σταθερό βήμα. Από τις εικόνες πραγματοποιείται κωδικοποίηση των χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου και καταγραφή των στοιχείων που είναι ορατά σε μία εικόνα με γεωαναφορά με στόχο να αξιολογηθεί και να βαθμολογηθεί.



Επικαιροποίηση της μαθηματικής σχέσης προσδιορισμού της λειτουργικής ταχύτητας

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχυτήτων σε 25 θέσεις οριζοντιογραφικών καμπυλών και ευθυγραμμιών προκειμένου να επιβεβαιωθεί / επικαιροποιηθεί η μαθηματική σχέση των ΟΜΟΕ-Χ και να ενσωματωθεί η επιρροή της κατά μήκος κλίσης της οδού.



$$V_{85} = \frac{1000000}{10150.10 + 8.529 * K_E} + 5 * (b - 3.75) + 25 * \bar{s}$$

V_{85} = Η λειτουργική ταχύτητα του εξεταζόμενου οδικού τμήματος ή ενός μεμονωμένου γεωμετρικού στοιχείου (km/h)

K_E = Η ελικτότητα του εξεταζόμενου οδικού τμήματος ή ενός μεμονωμένου γεωμετρικού στοιχείου (grad/km)

b = το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας (m)

\bar{s} = η μέση κατά μήκος κλίση του εξεταζόμενου οδικού τμήματος ή ενός μεμονωμένου γεωμετρικού στοιχείου (%)



Κρίσιμες παράμετροι γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού ως προς την οδική ασφάλεια

Αναφορικά με την αξιολόγηση του γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού αξιολογήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

1. Η ακτίνα των οριζοντιογραφικών καμπυλών
2. Η κατά μήκος κλίση της οδού (μόνο ως επιρροή στη λειτουργική ταχύτητα V_{85})
3. Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας (μόνο ως επιρροή στη λειτουργική ταχύτητα V_{85})
4. Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση
5. Η απαιτούμενη επίκλιση στις καμπύλες





Ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφίας

Προκειμένου να διασφαλίζεται η εγκάρσια ισορροπία του οχήματος κατά τη διέλευση του από μία οριζοντιογραφική καμπύλη, πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη ανισότητα:

$$R_{min} \geq \frac{V^2}{127 \times (f_R + q)}$$

R = Η ακτίνα οριζοντιογραφίας

V = Η ταχύτητα διέλευσης από την καμπύλη

q = Η επίκλιση στην καμπύλη

f_R = Ο συντελεστής ακτινικής (εγκάρσιας) τριβής

Καθώς σε μία υφιστάμενη οδό οι τρεις παράμετροι είναι καθορισμένες (ακτίνα, επίκλιση, τριβή), ο κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την εμφάνιση ατυχημάτων είναι η ταχύτητα V του διερχόμενου οχήματος.





Ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφίας

Κρίσιμα ερωτήματα:

- Ποια είναι μία ρεαλιστική τιμή της ταχύτητας διέλευσης ενός οχήματος σε πραγματικές συνθήκες?
- Πως μπορεί αυτή η τιμή της ταχύτητας να συσχετιστεί με την υφιστάμενη γεωμετρία της οδού και να αναδείξει τις θέσεις / καμπύλες που παρουσιάζουν αυξημένη επικινδυνότητα?
- Με ποιο γνώμονα θα καθοριστούν οι οριακές τιμές μίας ασφαλούς και μίας επικίνδυνης καμπύλης?





Ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφίας

Προσέγγιση:

- Η ταχύτητα που κινείται ένας οδηγός σε ένα οδικό δίκτυο δεν “ανεβοκατεβαίνει” σημαντικά καθώς αυτό αναιρεί την αίσθηση άνεσης και ασφάλειας που αποκομίζει.
- Θεωρείται ότι σε κάθε ομοιογενές οδικό τμήμα ο οδηγός διατηρεί μία περίπου σταθερή ταχύτητα κατά τη διέλευση του τόσο από τις ευθυγραμμίες, όσο και από τις καμπύλες.
- Ανάλογα με το μέγεθος της οριζοντιογραφικής ακτίνας ο οδηγός δέχεται μεγαλύτερη ή μικρότερη φυγόκεντρη δύναμη και “ανέχεται” μεγαλύτερη ή μικρότερη πλευρική επιτάχυνση με αντίστοιχες επιπτώσεις στην πιθανότητα εκτροπής του οχήματος.





Ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφίας

Υπολογισμοί:

- Καθορίζεται ένα ομοιογενές τμήμα και προσδιορίζεται η λειτουργική του ταχύτητα με βάση τη μέση ελικτότητα.
- Καθορίζεται η ελάχιστη καμπύλη οριζοντιογραφίας με βάση τη θεμελιώδη σχέση δυναμικής της κυκλοφορίας.
- Συσχετίζεται η οριζοντιογραφική ακτίνα κάθε καμπύλης με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα, αναδεικνύοντας τις καμπύλες που παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από τον ομοιογενή σχεδιασμό.





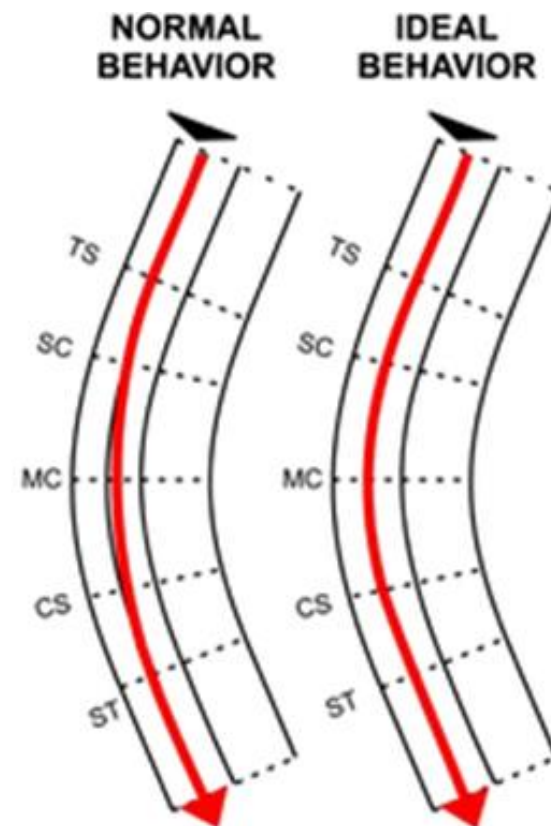
Ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφίας

Εκτός από το μέγεθος της ακτίνας σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η γωνία αλλαγής κατεύθυνσης που παρουσιάζει κάθε στροφή της οδού, καθώς επηρεάζει θετικά την πραγματική ακτίνα διέλευσης του οχήματος και κατ' επέκταση την παραγόμενη φυγόκεντρο δύναμη, την εγκάρσια επιτάχυνση που δέχεται ο οδηγός και την πιθανότητα εκτροπής του οχήματος.

Με βάση τη διατιθέμενη και την απαιτούμενη τιμή της οριζοντιογραφικής ακτίνας καθορίζεται ο συντελεστής επικινδυνότητας από τη σχέση:

$$Coef_R = \frac{5 \times R_{min}}{4 \times R + R_{min}}$$

R= η υφιστάμενη οριζοντιογραφική ακτίνα και
R_{min}= η ελάχιστη επιτρεπόμενη οριζοντιογραφική ακτίνα





Μήκος Ορατότητας για στάση (απαιτούμενο)

Κρίσιμος παράγοντας για την αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας ενός οδικού δικτύου δύο λωρίδων με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, είναι η εξασφάλιση της απαιτούμενης ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος του οδικού δικτύου. Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση σε κάθε οριζοντιογραφική καμπύλη δίνεται από την εξίσωση:

$$S_h = V_{85} \cdot \frac{t_1}{3,6} + \frac{V_{85}^2}{(2 \cdot 9,81 \cdot 3,6^2)} \cdot \frac{1}{(f_T + s_m)}$$

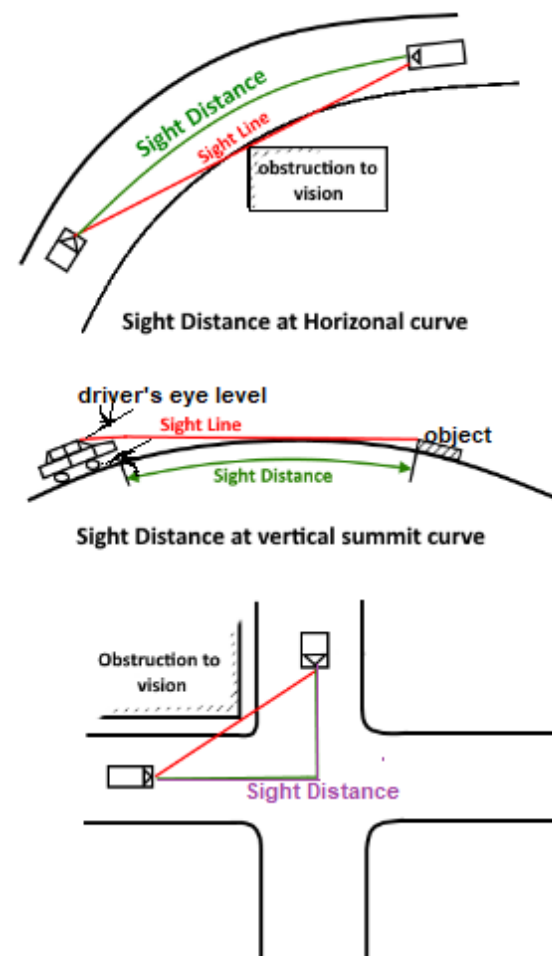
V_{85} = η λειτουργική ταχύτητα (km/h)

t_1 = ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού (sec)

f_T = ο συντελεστής εφασπτομενικής τριβής του οδοστρώματος

s_m = η κατά μήκος κλίση της κύριας οδού,

(+) για ανηφόρα, (-) για κατηφόρα





Μήκος Ορατότητας για στάση (διατιθέμενο)

Ο μαθηματικός υπολογισμός της απαιτούμενης ορατότητας για στάση προσδιορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη μόνο τον οριζοντιογραφικό σχεδιασμό, αγνοώντας ενδεχόμενη επιρροή της μηκοτομής. Υπό την προϋπόθεση αυτή το διατιθέμενο μήκος ορατότητας δίνεται από τη σχέση:

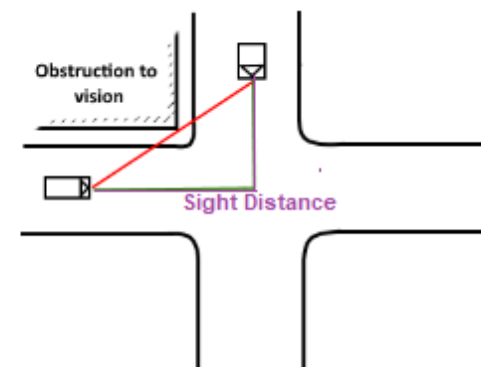
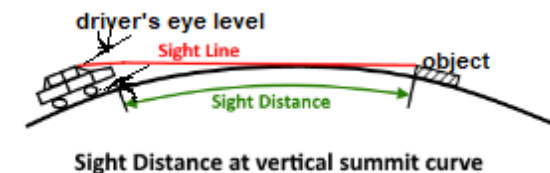
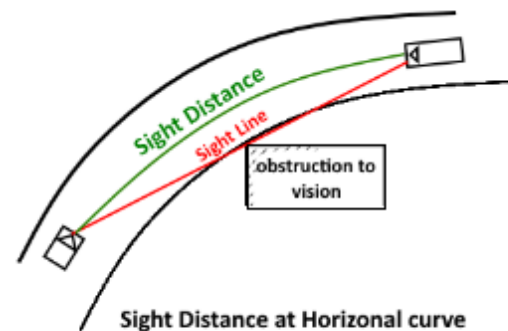
$$S_{hexist} = \sqrt{8 \times R \times M}$$

R = Η ακτίνα της κάθε οριζοντιογραφικής καμπύλης και

M = Η απόσταση από το μέσο της λωρίδας κυκλοφορίας μέχρι το πλευρικό εμπόδιο λόγω του οποίου αποκόπτεται η ορατότητα

Αφού προσδιοριστεί το απαιτούμενο και το διατιθέμενο μήκος ορατότητας για στάση, ο συντελεστής επικινδυνότητας προσδιορίζεται με βάση τη σχέση:

$$Coef_{sh} = \frac{15 \cdot S_h}{14 \cdot S_{hexist} + S_h}$$





Επίκλιση στην καμπύλη

Το μέγεθος της εγκάρσιας κλίσης (επίκλισης) που εξασφαλίζεται σε μία καμπύλη αποτελεί μία επίσης σημαντική παράμετρο που εμπεριέχεται στη θεμελιώδη μαθηματική σχέση δυναμικής. Αξιοποιώντας τις απαιτήσεις των ελληνικών οδηγιών η απαιτούμενη τιμή της επίκλισης που πρέπει να έχει μία καμπύλη είναι:

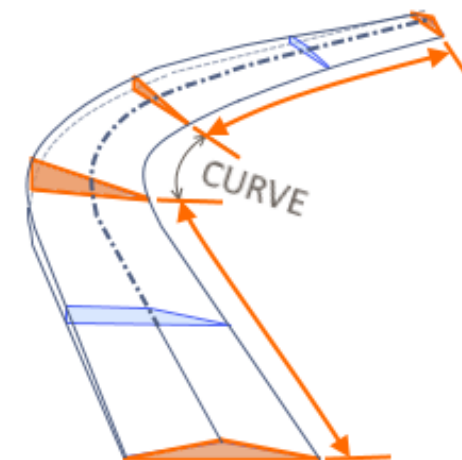
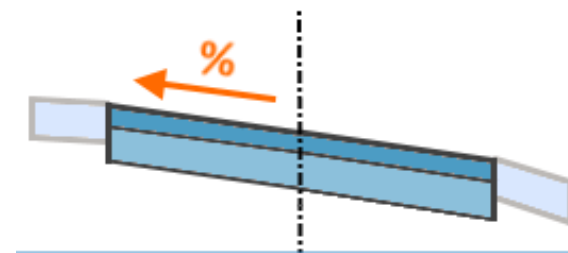
$$q_{\text{απαιτ}} = -3.68 \times \ln R - 0.00055 \times V_{85}^2 + 0.202 \times V_{85} + 14.75$$

R= Η ακτίνα της κάθε οριζοντιογραφικής καμπύλης και

V_{85} = Η λειτουργική ταχύτητα όπως υπολογίζεται από τη σχέση

Με βάση τη διατιθέμενη και την απαιτούμενη τιμή της επίκλισης καθορίζεται ο συντελεστής επικινδυνότητας από τη σχέση:

$$Coef_q = 0.25 \times (q_{ex} - q_{dem})$$





Αξιολόγηση Γεωμετρικού Σχεδιασμού

Μεμονωμένης Καμπύλης

$$Coef_R = \frac{5 \times R_{min}}{4 \times R + R_{min}}$$

R = η υφιστάμενη οριζοντιογραφική ακτίνα και

R_{min} = η ελάχιστη επιτρεπόμενη οριζοντογραφική ακτίνα

$$Coef_{sh} = \frac{15 \cdot S_h}{14 \cdot S_{hexist} + S_h}$$

S_h = το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση και

S_{hexist} = το διατιθέμενο μήκος ορατότητας για στάση

$$Coef_q = 0.25 \times (q_{ex} - q_{dem})$$

q_{ex} (%) = Η υφιστάμενη επίκλιση σε κάθε καμπύλη

q_{dem} (%) = Η απαιτούμενη επίκλιση σε κάθε καμπύλη

Οδικού Τμήματος

$$Coef_{RTot} = \sum Coef_R/L$$

$$Coef_{shTot} = \sum Coef_{sh}/L$$

$$Coef_{qTot} = \sum Coef_q/L$$

L = Μήκος οδικού τμήματος



Καθορισμός Συντελεστών Επικινδυνότητας

Οι συντελεστές επικινδυνότητας $Coef_R$, $Coef_{Sh}$, $Coef_q$ προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη:

- Να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ υφιστάμενης και επιτρεπόμενης τιμής.
- Θεωρήθηκε ότι οι παράμετροι R και q οφείλονται για όλα τα ατυχήματα που είχαν ως αποτέλεσμα την εκτροπή, ενώ η παράμετρος S_h οφείλεται για τα ατυχήματα που είχαν ως αποτέλεσμα τη σύγκρουση.
- Το ποσοστό των ατυχημάτων που οδήγησαν σε εκτροπή είναι περίπου 70% του συνόλου ενώ το υπόλοιπο 30% οδήγησε σε σύγκρουση.
- Οι αριθμητικοί συντελεστές στις σχέσεις προσδιορισμού των $Coef_R$, $Coef_{Sh}$, $Coef_q$, προέκυψαν με βάση επαναλαμβανόμενους υπολογισμούς σε πολλά χιλιόμετρα οδικού δικτύου προκειμένου η αναλογία να ικανοποιεί περίπου τα παραπάνω ποσοστά (70% εκτροπές, $Coef_R + Coef_q$ και 30% συγκρούσεις, $Coef_{Sh}$).
- Για το ποσοστό των εκτροπών (70%) θεωρήθηκε ότι οφείλεται κατά 70% στην ακτίνα R και κατά 30% στην τιμή της επίκλισης.



Αξιολόγηση Γεωμετρικού Σχεδιασμού

Προκειμένου να προσδιοριστεί η τελική βαθμολογία της κάθε μεμονωμένης καμπύλης και του κάθε οδικού τμήματος, οι επιμέρους συντελεστές επικινδυνότητας αθροίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις:

Για κάθε μεμονωμένη καμπύλη από την ακόλουθη σχέση:

$$\mathit{Coef}_{\text{Curv}} = \mathit{Coef}_{\text{R}} + \mathit{Coef}_{\text{Sh}} + \mathit{Coef}_{\text{q}}$$

Όπου: $\mathit{Coef}_{\text{Curv}}$ = Συντ. Επικινδυνότητας μεμονωμένης καμπύλης

Coef_{R} = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω οριζοντιογραφικής ακτίνας

$\mathit{Coef}_{\text{Sh}}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω διατιθέμενης ορατότητας

Coef_{q} = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω επίκλισης

και για κάθε οδικό τμήμα από την ακόλουθη σχέση:

$$\mathit{Coef}_{\text{Tot}} = \mathit{Coef}_{\text{RTot}} + \mathit{Coef}_{\text{ShTot}} + \mathit{Coef}_{\text{qTot}}$$

Όπου: $\mathit{Coef}_{\text{Tot}}$ = Συντ. Επικινδυνότητας οδικού τμήματος λόγω γεωμετρίας

Coef_{R} = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω οριζοντιογραφικών ακτίνων

$\mathit{Coef}_{\text{Sh}}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω διατιθέμενης ορατότητας

Coef_{q} = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω επίκλισης στις καμπύλες

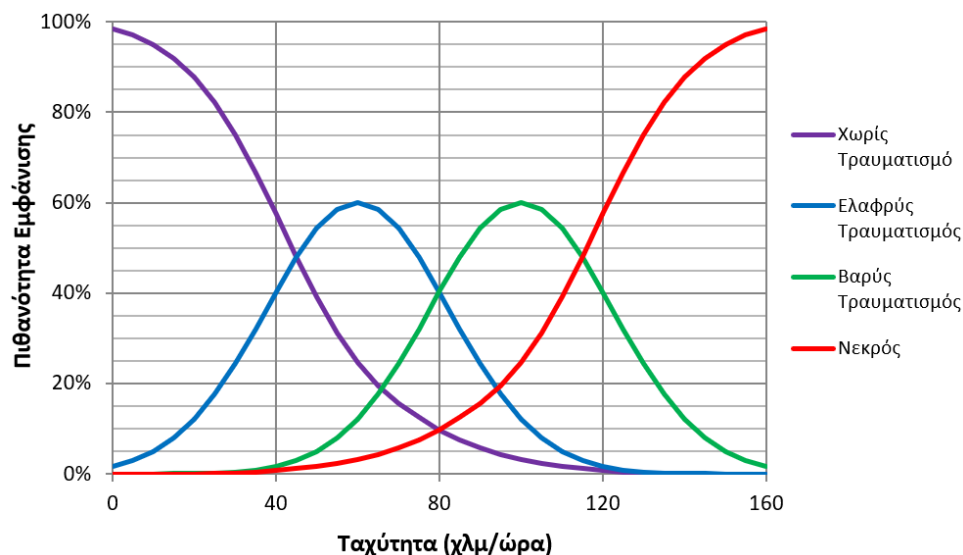


Επιρροή της ταχύτητας στις επιπτώσεις ενός ατύχηματος

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ενδεχόμενο ατύχημα με χαμηλή ταχύτητα κυκλοφορίας είναι πιθανό να οδηγήσει μόνο σε υλικές ζημιές, ενώ αντίστοιχα ένα ατύχημα που θα συμβεί με μεγάλη ταχύτητα έχει αυξημένη πιθανότητα να οδηγήσει ακόμα και σε νεκρούς, κρίθηκε σκόπιμη η υιοθέτηση ενός πρόσθετου δείκτη που θα ανταποκρίνεται στις συνέπειες που θα έχει ένα οδικό ατύχημα. Για τον καθορισμό του συγκεκριμένου δείκτη αξιοποιήθηκε το μέγεθος της λειτουργικής ταχύτητας.

Σημειώνεται όμως ότι η ταχύτητα δεν αντικατοπτρίζει την ταχύτητα πρόσκρουσης του οχήματος με κάποιο εμπόδιο, αλλά την ταχύτητα V με την οποία κινείται το όχημα αμέσως πριν χάσει ο οδηγός τον έλεγχο του οχήματος. Για το λόγο αυτό δεν αξιοποιήθηκαν αναφορές από τη βιβλιογραφία, αλλά μία ορθολογική προσέγγιση.

$$Coef_{Acc} = p_e + 14 \times p_b + 100 \times p_v$$





Επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου

Με βάση τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν προκύπτει μία βαθμολογία (ένας συντελεστής επικινδυνότητας), χωρίς να προσδιορίζεται ο αναμενόμενος αριθμός των ατυχημάτων που εκτιμάται ότι θα συμβούν. Αυτό συμβαίνει αφενός γιατί δεν έχει γίνει συσχέτιση με καταγεγραμμένα ατυχήματα και δεν έχει αξιοποιηθεί ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού.

Στις περιπτώσεις που σε ένα οδικό τμήμα επικρατεί ελεύθερη και ανεμπόδιστη κυκλοφορία των οχημάτων, τα ατυχήματα αναμένεται να συνδέονται γραμμικά με τον κυκλοφοριακό φόρτο. Ως κυκλοφοριακός φόρτος βάσης θεωρήθηκε το οδικό τμήμα που εξυπηρετεί περίπου 2000 οχήματα/ημέρα (και στις 2 κατευθύνσεις):

$$Coef_q = \frac{Q}{2000}$$

Q = ο κυκλοφοριακός φόρτος της κύριας οδού (και στις 2 κατευθύνσεις)

Σημειώνεται ότι σε οδικά τμήματα με αυξημένη κυκλοφορία στα οποία καταστρατηγείται η έννοια της ελεύθερης και ανεμπόδιστης ροής, υπάρχει σημαντική επιρροή στην ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων βελτιώνοντας τις συνθήκες οδικής ασφάλειας και περιορίζοντας τον αναμενόμενο αριθμό των ατυχημάτων. Συνεπώς στις περιπτώσεις αυτές ο δείκτης δε θα είναι γραμμικός και θα πρέπει να επανεξεταστεί.



Καθορισμός περιοχών βαθμολογικής κατάταξης

Αξιοποιώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία αναλύθηκαν περίπου 1.500 χιλιόμετρα Εθνικού και Επαρχιακού οδικού δικτύου της Ελλάδας και προσδιορίστηκε η βαθμολογία για περίπου 11.000 μεμονωμένες καμπύλες. Ακολουθώντας τη μεθοδολογία στατιστικής ανάλυσης “clustering”, η βαθμολογία των μεμονωμένων καμπυλών χωρίστηκε σε τέσσερις διακριτές περιοχές:

Από 0 έως 40 ανταποκρίνεται σε αυξημένο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 40 έως 90 ανταποκρίνεται σε μέτριο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 90 έως 150 ανταποκρίνεται σε χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Πάνω από 150 ανταποκρίνεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Στο ίδιο οδικό δίκτυο, προσδιορίστηκε η βαθμολογία για περίπου 750 ομοιογενή οδικά τμήματα, μήκους από 1.500μ. έως 3.000μ, όπου ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, τα οδικά τμήματα χωρίστηκαν σε τέσσερις διακριτές περιοχές:

Από 0 έως 150 ανταποκρίνεται σε αυξημένο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 150 έως 300 ανταποκρίνεται σε μέτριο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 300 έως 450 ανταποκρίνεται σε χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Πάνω από 450 ανταποκρίνεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.



Συσχέτιση με τα αποτελέσματα υφιστάμενων μεθόδων

Προκειμένου να αξιολογηθεί η προτεινόμενη μεθοδολογία, συσχετίστηκαν τα αποτελέσματα της με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μεθοδολογία του κριτηρίου II, καθώς επίσης και με τα αποτελέσματα της ανάλυσης “crash prediction model” που πραγματοποιεί το λογισμικό IHSDM.

Κατανομή Pearson	Κριτήριο II	IHSDM	Προτεινόμενη μεθοδολογία
Κριτήρια I και II	-	0.552***	0.636***
IHSDM	0.552***	-	0.724***
Προτεινόμενη μεθοδολογία	0.636***	0.724***	-
Δείγμα N	1219		

Επιπρόσθετα αξιοποιήθηκαν τα καταγεγραμμένα ατυχήματα που διατέθηκαν για τα οδικά τμήματα της πολιτείας του Κεντάκι προκειμένου αφενός να εξεταστεί η συσχέτιση της μεθοδολογίας με αυτά και αφετέρου να προκύψει μία μαθηματική εξίσωση προσδιορισμού των οδικών ατυχημάτων από τους συντελεστές επικινδυνότητας.

Κατανομή Pearson	Κριτήρια I και II	IHSDM	Προτεινόμενη μεθοδολογία
Ατυχήματα***	0.302***	0.221***	0.317***
N	223		

$$\text{Αναμενομενα Ατυχηματα} = \frac{\text{Coef}_{Tot} \cdot \text{Coef}_{Acc} \cdot \text{Coef}_Q}{200}$$



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

και Μηχανικών Γεωπληροφορικής



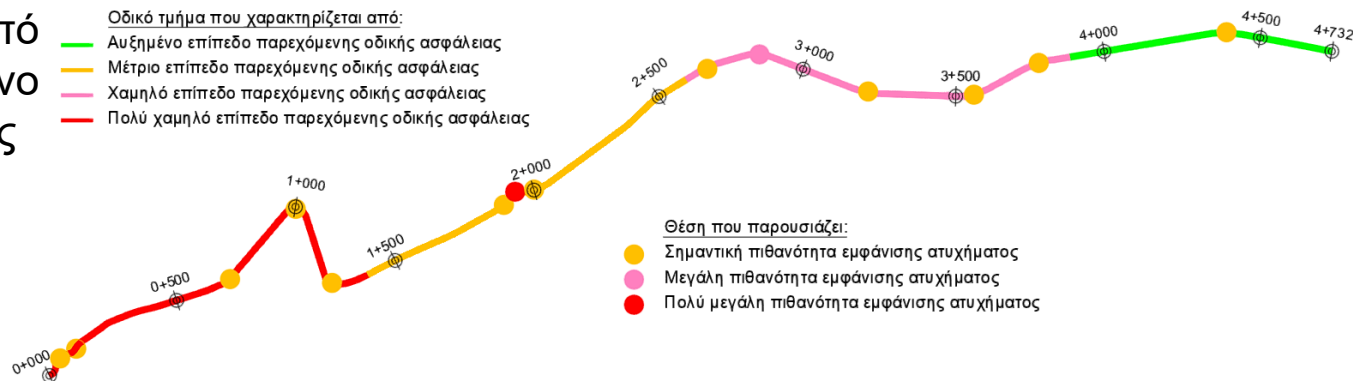
	Κορυφή	Ακτίνα		Coef			Κορυφή	Ακτίνα		Coef	
		(m)	Καμπύλη	Τμήμα	(m)			Καμπύλη	Τμήμα		
Τμήμα 1 (από Χ.Θ. 0+000 ~ Χ.Θ. 1+400) $V_{85}=71.38\text{km/h}$	K2	25	70.96	461.22	Τμήμα 2 (από Χ.Θ. 1+400 ~ Χ.Θ. 2+600) $V_{85}=89.80\text{km/h}$	K15	1687	13.26	370.70		
	K3	47	28.29			K16	418	20.31			
	K4	13	95.29			K17	145	85.13			
	K5	32	67.25			K18	46	155.70			
	K6	65	40.17			K19	163	89.63			
	K7	370	1.40			K20	329	31.16			
	K8	92	23.90			K21	363	49.62			
	K9	307	9.03			K22	249	63.03			
	K10	766	3.20			Τμήμα 3 (από Χ.Θ. 2+600 ~ Χ.Θ. 3+900) $V_{85}=89.50\text{km/h}$	K23	137		104.15	295.87
	K11	228	5.31		K15		277	65.44			
	K12	34	59.65		K16		190	86.62			
	K13	45	16.49		K17		280	65.39			
	K14	23	80.47		Τμήμα 4 (από Χ.Θ. 3+900 ~ Χ.Θ. 4+732) $V_{85}=95.20\text{km/h}$		K18	226	97.95	118.86	
	K15	44	60.31				K19	5469	0.94		
	K16	42	65.77								
	K17	260	18.23								

Αξιολόγηση Γεωμετρικού Σχεδιασμού

Για να είναι πιο εποπτικό το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας που παρέχει κάθε οδικό τμήμα και κάθε καμπύλη, η οριζοντιογραφία της οδού χρωματίζεται ανάλογα με την επικινδυνότητα.

Χρωματική ιεράρχηση από το αυξημένο στο μειωμένο επίπεδο οδικής ασφάλειας

- Πράσινο Χρώμα
- Πορτοκαλί Χρώμα
- Ανοιχτό Μωβ Χρώμα
- Κόκκινο Χρώμα





Κρίσιμες παράμετροι γεωμετρικού σχεδιασμού ισόπεδων κόμβων

Αναφορικά με την αξιολόγηση του γεωμετρικού σχεδιασμού των ισόπεδων κόμβων αξιολογήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

- Μήκος Ορατότητας για στάση (τρίγωνα ορατότητας)
- Χρόνος ασφαλούς διέλευσης ενός οχήματος από τη δευτερεύουσα οδό στην κύρια οδό.
- Αποκλειστική λωρίδα δεξιάς ή αριστερής στροφής.
- Πλάτος λωρίδας δεξιάς ή αριστερής στροφής.
- Νησίδια διαχωρισμού των ρευμάτων κυκλοφορίας στη δευτερεύουσα οδό.
- Οδοφωτισμός.
- Κατακόρυφη σήμανση.
- Κυκλοφοριακός φόρτος της δευτερεύουσας οδού.





Μήκος Ορατότητας για στάση (απαιτούμενο)

Η επάρκεια ορατότητας κρίνεται ως μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην αξιολόγηση των ισόπεδων κόμβων, προκειμένου να εξασφαλίζεται ένα αυξημένο επίπεδο οδικής ασφάλειας. Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, όπως προκύπτει από τα τρίγωνα ορατότητας, καθορίζεται από τους νόμους της φυσικής αναφορικά με την ομαλά επιβραδυνόμενη κίνηση. Η εξίσωση υπολογισμού είναι:

$$S_h = V_{85} \cdot \frac{t_1}{3,6} + \frac{V_{85}^2}{(2 \cdot 9,81 \cdot 3,6^2)} \cdot \frac{1}{(f_T + s_m)}$$

V_{85} = η λειτουργική ταχύτητα (km/h)

t_1 = ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού (sec)

f_T = ο συντελεστής εφασπτομενικής τριβής του οδοστρώματος

s_m = η κατά μήκος κλίση της κύριας οδού στην περιοχή του ισόπεδου κόμβου, (+) για ανηφόρα, (-) για κατηφόρα





Μήκος Ορατότητας για στάση (διατιθέμενο)

Για τον υπολογισμό του διατιθέμενου μήκους ορατότητας εξετάζονται τρεις διακριτές περιπτώσεις καθώς παρουσιάζουν σημαντικές αριθμητικές διαφορές. Εξετάζεται ο ισόπεδος κόμβος να διαμορφώνεται:

- σε περιοχή ευθυγραμμίας της κύριας οδού
- στο εσωτερικό οριζοντιογραφικής καμπύλης της κύριας οδού
- στο εξωτερικό οριζοντιογραφικής καμπύλης της κύριας οδού

Γενικές παραδοχές:

- Για γωνίες συμβολής μεταξύ 72 και 108 μοίρες (80 έως 120 βαθμούς) θα πρέπει το διαθέσιμο μήκος ορατότητας να είναι “άπειρο”.
- Όσο πιο μικρή είναι η γωνία συμβολής της δευτερεύουσας οδού, απαιτείται μεγαλύτερη στροφή του κεφαλιού από τον οδηγό που ακινητοποιείται επί της δευτερεύουσας οδού για να ελέγξει.



Μήκος Ορατότητας για στάση (διατιθέμενο)

Για τον υπολογισμό του διατιθέμενου μήκους ορατότητας εξετάζονται τρεις διακριτές περιπτώσεις καθώς παρουσιάζουν σημαντικές αριθμητικές διαφορές. Εξετάζεται ο ισόπεδος κόμβος να διαμορφώνεται:

- σε περιοχή ευθυγραμμίας της κύριας οδού
- στο εσωτερικό οριζοντιογραφικής καμπύλης της κύριας οδού
- στο εξωτερικό οριζοντιογραφικής καμπύλης της κύριας οδού

Αφού προσδιοριστεί το απαιτούμενο και το διατιθέμενο μήκος ορατότητας για στάση, ο συντελεστής επικινδυνότητας προσδιορίζεται με βάση τη σχέση:

$$Coef_{IKsh} = \frac{15 \cdot S_h}{14 \cdot S_{hexist} + S_h} + 1$$





Χρόνος για τη διέλευση της κύριας οδού (απαιτούμενος)

Κάθε εισερχόμενο όχημα χρειάζεται κάποιο χρόνο προκειμένου να ενσωματωθεί από την κάθετη οδό στην κύρια οδό ο οποίος εξαρτάται από:

- Το χρόνο αντίδρασης/εκκίνησης του οδηγού
- Την επιτάχυνση που μπορεί να επιτύχει το όχημα κατά την εκκίνηση
- Το μήκος που πρέπει να διανυθεί από το όχημα
- Την κατά μήκος κλίση της κάθετης οδού στην περιοχή της θέσης ακινητοποίησης του οχήματος

$$t_{0\lambda} = \begin{cases} \sqrt{\frac{2 \cdot X}{\alpha}} + t_{\text{αντ}} + s \cdot 10 + 1, & s < 3\% \\ \sqrt{\frac{2 \cdot X}{\alpha}} + t_{\text{αντ}} + 1,3 + 20 \cdot (s - 0,03), & s \geq 3\% \end{cases}$$

X = το διανυόμενο μήκος που θα πραγματοποιήσει το όχημα

$t_{\text{αντ}}$ = ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή που ο οδηγός διαπιστώνει ότι έχει ελεύθερο πεδίο, μέχρι τη στιγμή που πατάει το γκάζι του οχήματος για την πραγματοποίηση του ελιγμού.

s = Η κατά μήκος κλίση της δευτερεύουσας οδού στην περιοχή συμβολής με την κύρια οδό.

α = Η μέση επιτάχυνση του οχήματος κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης της ενέργειας



Χρόνος για τη διέλευση της κύριας οδού (διαθέσιμος)

Ο διαθέσιμος χρόνος μπορεί να προσδιοριστεί ως ο χρόνος που χρειάζεται ένα όχημα που βρίσκεται στο όριο διατιθέμενης ορατότητας από τη διασταύρωση, κινούμενο με ταχύτητα ίση με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} , μέχρι να ακινητοποιηθεί και είναι:

$$t_h = \frac{3,6 \cdot (S_{hexist.} - S_h)}{V_{85}} + \frac{V_{85}}{9,81 \cdot (f_T + S_{κύριας})} + t_{αντιδρ.}$$

- V_{85} = η λειτουργική ταχύτητα των διερχόμενων οχημάτων επί της κύριας οδού
 S_{hexist} = το διατιθέμενο μήκος ορατότητας
 S_h = το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση
 $t_{αντιδρ}$ = ο χρόνος αντίδρασης-αντίληψης του οδηγού
 f_T = ο διαμήκης συντελεστής τριβής που διατίθεται για πέδηση
 $S_{κύριας}$ = η κατά μήκος κλίση της κύριας οδού (+) ανωφέρεια, (-) κατωφέρεια (%)

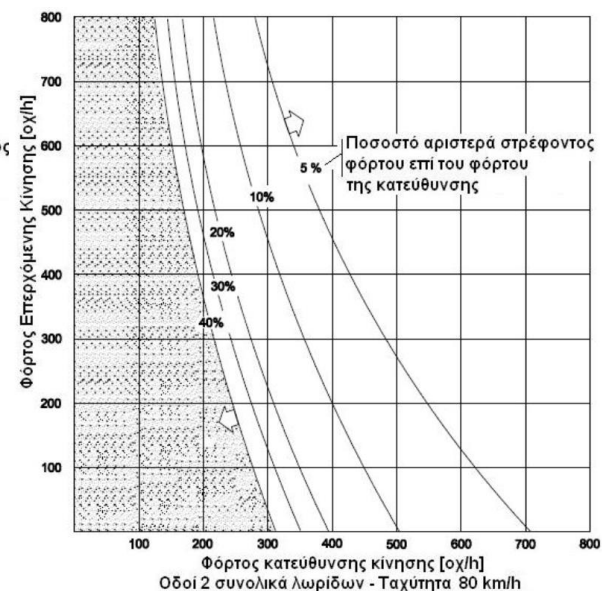
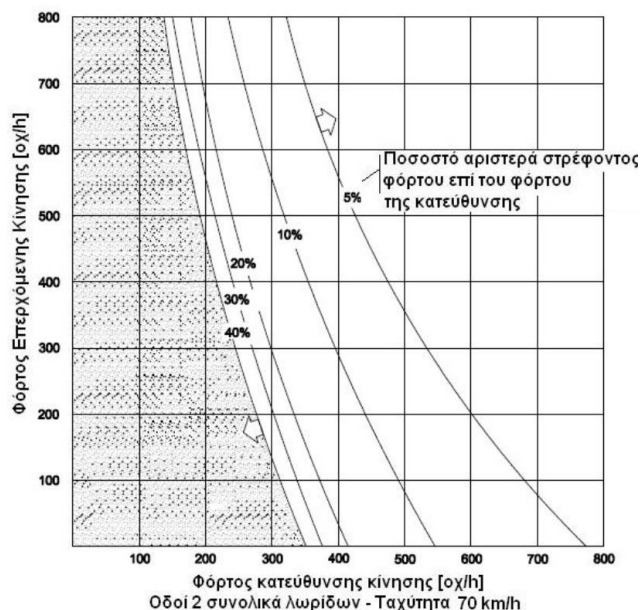
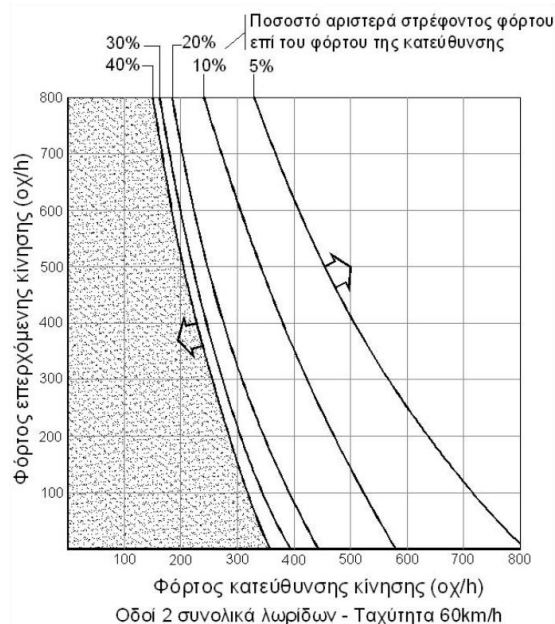
Αφού προσδιοριστεί ο απαιτούμενος και ο διατιθέμενος χρόνος διέλευσης της κύριας οδού, ο συντελεστής επικινδυνότητας προσδιορίζεται με βάση τη σχέση:

$$Coeft_h = \frac{25 \cdot t_h}{24 \cdot t_{0\Lambda} + t_h}$$



Διαμόρφωση Λωρίδας Αριστερής Στροφής

Οι ισόπεδοι κόμβοι που χαρακτηρίζονται από σημαντική κυκλοφορία επί της κύριας και της δευτερεύουσας οδού θα πρέπει να εξασφαλίζουν διακριτή λωρίδα αριστερής στροφής για τις ανάγκες των στρεφουσών κινήσεων. Η απαίτηση αυτή είναι πιο κρίσιμη στην περίπτωση που η επιτρεπόμενη ταχύτητα στην κύρια οδό είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιήθηκαν οι απαιτήσεις και οι οριακές τιμές που αναφέρονται στις ελληνικές και τις διεθνείς οδηγίες, όπως αποτυπώνονται στα διαγράμματα.





Διαμόρφωση Λωρίδας Αριστερής Στροφής

Με βάση τα στοιχεία της επιτρεπόμενης ταχύτητας στην κύρια οδό, του κυκλοφοριακού φόρτου της κύριας οδού και το ποσοστό των οχημάτων που στρέφουν αριστερά, δημιουργήθηκε και αξιοποιήθηκε η ακόλουθη μαθηματική σχέση, βάση της οποίας προσδιορίζεται ο απαιτούμενος κυκλοφοριακός φόρτος των αριστερά στρεφόντων οχημάτων, πάνω από τον οποίο η διαμόρφωση λωρίδας αριστερής στροφής κρίνεται απαραίτητη για την αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας:

$$Q_{\alpha\pi} = (8.125.000 \cdot V + 172.500.000) \cdot Q_{\kappa\upsilon\rho}^{-0,007 \cdot V - 2,25}$$

- $Q_{\alpha\pi}$ = Ο απαιτούμενος κυκλοφοριακός φόρτος των αριστερά στρεφόντων οχημάτων πάνω από τον οποίο κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή διακριτής λωρίδας αριστερής στροφής
- $Q_{\kappa\upsilon\rho}$ = Ο κυκλοφοριακός φόρτος της κύριας οδού στην κατεύθυνση της κίνησης
- V = Η ταχύτητα κυκλοφορίας επί της κύριας οδού



Διαμόρφωση Λωρίδας Αριστερής Στροφής

Αξιοποιώντας τον απαιτούμενο και τον διατιθέμενο (πραγματικό) κυκλοφοριακό φόρτο είναι κρίσιμο να προσδιοριστεί μία μαθηματική σχέση που να αποδίδει το συντελεστή επικινδυνότητας για τη συγκεκριμένη παράμετρο σχεδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος είναι σημαντικά μικρότερος από τον απαιτούμενο, τότε ο συντελεστής θα είναι ίσος με τη μονάδα. Το ποσοστό αυτό καθορίστηκε στο 50%.
- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος είναι διπλάσιος (200%) από τον απαιτούμενο, τότε ο συντελεστής θα είναι ίσος με δύο (2,00). Ο συντελεστής αυτός λαμβάνεται προσεγγιστικά, προκειμένου να εναρμονίζεται με τους δείκτες CMF που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.
- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος κυμαίνεται μεταξύ 50% και 100% του απαιτούμενου, τότε προβλέπεται συντελεστής επικινδυνότητας μεγαλύτερος της μονάδας, παρόλο που δεν καταδεικνύεται απαίτηση για δημιουργία διακριτής λωρίδας αριστερής στροφής.



Διαμόρφωση Λωρίδας Αριστερής Στροφής

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές προσδιορίζεται η μαθηματική σχέση που καθορίζει το συντελεστή επικινδυνότητας αναφορικά με την ύπαρξη της λωρίδας αριστερής στροφής.

$$Coef_{Lt} = \frac{2}{3} \cdot \frac{Q_{υφιστ}}{Q_{απ}} + \frac{2}{3}$$

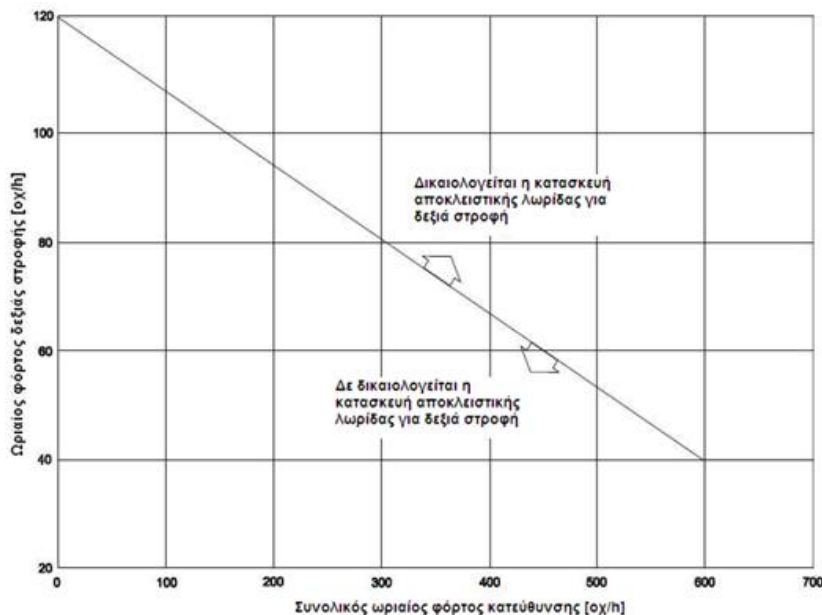
$Q_{απ}$ = Ο απαιτούμενος κυκλοφοριακός φόρτος των αριστερά στρεφόντων οχημάτων

$Q_{υφιστ}$ = Ο υφιστάμενος (πραγματικός) κυκλοφοριακός φόρτος των αριστερά στρεφόντων οχημάτων

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που ο ισόπεδος κόμβος διαθέτει λωρίδα αριστερής στροφής ή ο υφιστάμενος κυκλοφοριακός φόρτος είναι μικρότερος από το 50% του απαιτούμενου, τότε ο συντελεστής επικινδυνότητας αναφορικά με την εφαρμογή λωρίδας αριστερής στροφής λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα.

Διαμόρφωση Λωρίδας Δεξιάς Στροφής

Αντίστοιχα με την αποκλειστική λωρίδα αριστερής στροφής, σημαντική επιρροή στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας έχει και η διαμόρφωση αποκλειστικής λωρίδας δεξιάς στροφής. Η επιρροή της λωρίδας δεξιάς στροφής είναι σημαντικά μικρότερη, καθώς δε διασταυρώνει κάποιο ρεύμα κυκλοφορίας με μεγάλες ταχύτητες κυκλοφορίας, δεν παύει όμως να έχει κάποια επιρροή, σύμφωνα με τις αναφορές στις ελληνικές και τις διεθνείς οδηγίες, όπως αποτυπώνονται στο διάγραμμα.





Διαμόρφωση Λωρίδας Δεξιάς Στροφής

Με βάση τα στοιχεία του κυκλοφοριακού φόρτου της κύριας οδού και το ποσοστό των οχημάτων που στρέφουν δεξιά, δημιουργήθηκε και αξιοποιήθηκε η ακόλουθη μαθηματική σχέση, βάση της οποίας προσδιορίζεται ο απαιτούμενος κυκλοφοριακός φόρτος των δεξιά στρεφόντων οχημάτων, πάνω από τον οποίο η διαμόρφωση λωρίδας δεξιάς στροφής κρίνεται ότι αναβαθμίζει σημαντικά το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας:

$$Q_{απ} = \frac{Q_{κυρ}}{15} + 120$$

- $Q_{απ}$ = Ο απαιτούμενος κυκλοφοριακός φόρτος των δεξιά στρεφόντων οχημάτων πάνω από τον οποίο απαιτείται κατασκευή διακριτής λωρίδας δεξιάς στροφής
- $Q_{κυρ}$ = Ο κυκλοφοριακός φόρτος της κύριας οδού στην κατεύθυνση της κίνησης



Διαμόρφωση Λωρίδας Δεξιάς Στροφής

Αξιοποιώντας τον απαιτούμενο και τον διατιθέμενο (πραγματικό) κυκλοφοριακό φόρτο είναι κρίσιμο να προσδιοριστεί μία μαθηματική σχέση που να αποδίδει το συντελεστή επικινδυνότητας για τη συγκεκριμένη παράμετρο σχεδιασμού. Στο πλαίσιο αυτό έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος είναι σημαντικά μικρότερος από τον απαιτούμενο, τότε ο συντελεστής θα είναι ίσος με τη μονάδα. Το ποσοστό αυτό καθορίστηκε στο 50%.
- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος είναι διπλάσιος (200%) από τον απαιτούμενο, τότε ο συντελεστής θα είναι ίσος με 1,25. Ο συντελεστής αυτός λαμβάνεται προσεγγιστικά, προκειμένου να εναρμονίζεται με τους δείκτες CMF που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.
- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος κυμαίνεται μεταξύ 50% και 100% του απαιτούμενου, τότε προβλέπεται συντελεστής επικινδυνότητας μεγαλύτερος της μονάδας, παρόλο που δεν καταδεικνύεται απαίτηση για δημιουργία διακριτής λωρίδας δεξιάς στροφής.



Διαμόρφωση Λωρίδας Δεξιάς Στροφής

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές προσδιορίζεται η μαθηματική σχέση που καθορίζει το συντελεστή επικινδυνότητας αναφορικά με την ύπαρξη της λωρίδας δεξιάς στροφής.

$$Coef_{Rt} = \frac{1}{6} \cdot \frac{Q_{υφιστ}}{Q_{απ}} + \frac{11}{12}$$

$Q_{απ}$ = Ο απαιτούμενος κυκλοφοριακός φόρτος των δεξιά στρεφόντων οχημάτων

$Q_{υφιστ}$ = Ο υφιστάμενος (πραγματικός) κυκλοφοριακός φόρτος των δεξιά στρεφόντων οχημάτων

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που ο ισόπεδος κόμβος διαθέτει λωρίδα δεξιάς στροφής ή ο υφιστάμενος κυκλοφοριακός φόρτος είναι μικρότερος από το 50% του απαιτούμενου, τότε ο συντελεστής επικινδυνότητας αναφορικά με την εφαρμογή λωρίδας δεξιάς στροφής λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα.



Πλάτος Λωρίδας Αριστερής και Δεξιάς Στροφής

Μία επιπλέον παράμετρος που επηρεάζει το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας, είναι το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας. Καθώς το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας της κύριας οδού έχει ήδη αξιοποιηθεί στον υπολογισμό της λειτουργικής ταχύτητας, η παρούσα ανάλυση αφορά το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας αριστερής και δεξιάς στροφής. Για τη συγκεκριμένη παράμετρο έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Αν ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος είναι ίσος με το 50% του απαιτούμενου φόρτου για εφαρμογή λωρίδας αριστερής/δεξιάς στροφής, τότε θα απαιτείται το ελάχιστο πλάτος λωρίδας, που είναι ίσο με 2,75m.
- Στην περίπτωση που ο πραγματικός κυκλοφοριακός φόρτος είναι ίσος με το 225% του απαιτούμενου φόρτου θα απαιτείται το μέγιστο πλάτος λωρίδας, που λαμβάνεται ίσο με 4,5m, πλάτος στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και διαχωριστική διαγράμμιση τύπου ζέβρας μεταξύ των δύο αντίθετων ρευμάτων κυκλοφορίας στην περίπτωση λωρίδας αριστερής στροφής ή το πλάτος καθοδήγησης στην περίπτωση της λωρίδας δεξιάς στροφής.



Πλάτος Λωρίδας Αριστερής και Δεξιάς Στροφής

Για την περίπτωση όπου το πλάτος της υφιστάμενης λωρίδας είναι μικρότερο από το απαιτούμενο, αξιοποιούνται τα διαγράμματα και οι μαθηματικές σχέσεις που καθορίζουν το δείκτη CMF, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο Highway Safety Manual (HSM). Αξιοποιούνται μόνο οι δείκτες CMF που ανταποκρίνονται σε ΕΜΗΚ μεγαλύτερη από 2000 οχήματα ανά ημέρα, καθώς για μικρότερες τιμές δεν προκύπτει απαίτηση λωρίδας αριστερής ή δεξιάς στροφής και επομένως δεν αξιολογείται το πλάτος της. Με βάση τις 4 περιπτώσεις που έχουν εξεταστεί από το HSM προκύπτουν οι ακόλουθοι δείκτες CMF:

- Για πλάτος λωρίδας 12πόδια (3,6μ), ο συντελεστής CMF είναι 1,00
- Για πλάτος λωρίδας 11πόδια (3,3μ), ο συντελεστής CMF είναι 1,05
- Για πλάτος λωρίδας 10πόδια (3,0μ), ο συντελεστής CMF είναι 1,30
- Για πλάτος λωρίδας 9πόδια (2,7μ), ο συντελεστής CMF είναι 1,50



Πλάτος Λωρίδας Αριστερής και Δεξιάς Στροφής

Με βάση τα παραπάνω προσδιορίζεται ο συντελεστής επικινδυνότητας αναφορικά με το πλάτος της λωρίδας αριστερής (ή δεξιάς) στροφής, ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$Coef_{Ltw} / Coef_{Rtw} = 0,42 \cdot (b_{\alpha\pi.} - b_{\nu\phi\iota\sigma\tau})^2 + 0,21 \cdot (b_{\alpha\pi.} - b_{\nu\phi\iota\sigma\tau}) + 1$$

$b_{\alpha\pi}$ = Το απαιτούμενο πλάτος της λωρίδας αριστερής (ή δεξιάς) στροφής

$b_{\nu\phi\iota\sigma\tau}$ = Το υφιστάμενο πλάτος της λωρίδας αριστερής (ή δεξιάς) στροφής.

Σημειώνεται ότι εφόσον το πλάτος της υφιστάμενης λωρίδας είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο, ή δεν υπάρχει λωρίδα αριστερής (ή δεξιάς) στροφής στον ισόπεδο κόμβο, τότε ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με τη μονάδα.

Διαχωριστική Νησίδα στη Δευτερεύουσα Οδό

Μία ακόμα παράμετρος που θεωρείται ότι βοηθάει σημαντικά το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας σε ισόπεδους κόμβους είναι η διαχωριστική νησίδα τύπου σταγόνας που εφαρμόζεται στην κάθετη (δευτερεύουσα οδό) προκειμένου να διαχωρίσει τα ρεύματα κυκλοφορίας. Για τη συγκεκριμένη παράμετρο έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Καθορίστηκε ένας βασικός δείκτης επικινδυνότητας με βάση τους δείκτες CMF από τη βιβλιογραφία.
- Εξετάστηκε η επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου της κάθετης οδού, προκειμένου να καθοριστεί η αναγκαιότητα εφαρμογής διαχωριστικής νησίδας λόγω της αυξημένης (ή όχι) πιθανότητας διασταύρωσης δύο οχημάτων.





Διαχωριστική Νησίδα στη Δευτερεύουσα Οδό

Με την πρόσθετη θεώρηση ότι:

- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μικρότερο από 25 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με τη μονάδα.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μεγαλύτερο από 75 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με $1/CMF = 1,70$.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο μεταξύ 25 και 75 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας προκύπτει με γραμμική μεταβολή.

ο συντελεστής επικινδυνότητας προσδιορίζεται:

$$Coef_{splt} = \begin{cases} 1,00 & \text{αν υπάρχει υφισταμένη νησιδα} \\ 1,00 & \text{χωρίς νησιδα αν } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 25 \text{ οχηματα ανα ωρα} \\ 1,70 & \text{χωρίς νησιδα αν } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} > 75 \text{ οχηματα ανα ωρα} \\ 0,014 \cdot Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} + 0,65 & \text{χωρίς νησιδα αν } 25 < Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 75 \end{cases}$$

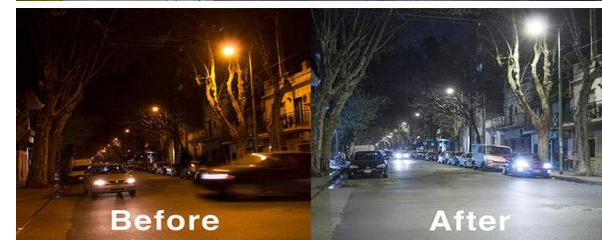
$Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau}$ = Ο κυκλοφοριακός φόρτος ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας της δευτερεύουσας οδού



Επάρκεια Οδοφωτισμού

Μία ακόμα παράμετρος που βοηθάει στην αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι η επάρκεια του οδοφωτισμού κατά μήκος του ισόπεδου κόμβου. Για τη συγκεκριμένη παράμετρο έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Καθορίστηκε ένας βασικός δείκτης επικινδυνότητας με βάση τους δείκτες CMF από τη βιβλιογραφία.
- Εξετάστηκε η επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου της κάθετης οδού, και κατ' επέκταση των εμπλεκόμενων κινήσεων.
- Καθορίστηκε ο απαιτούμενος αριθμός στύλων οδοφωτισμού για τον επαρκή φωτισμό του κόμβου.





Επάρκεια Οδοφωτισμού

Με την πρόσθετη θεώρηση ότι:

- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μικρότερο από 25 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με τη μονάδα.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μεγαλύτερο από 75 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με $1/CMF = 1,61$.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο μεταξύ 25 και 75 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας προκύπτει με γραμμική μεταβολή.

ο συντελεστής επικινδυνότητας προσδιορίζεται:

$$Coef_{Ltn} = \begin{cases} 1,00 & \text{αν υπάρχει επαρκής οδοφωτισμός (11 στύλοι)} \\ 1,00 & \text{αν δεν υπάρχει επαρκής οδοφ. και } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 25 \text{ οχ. ανα ώρα} \\ (1,61)^{\left(1-\frac{\alpha}{11}\right)} & \text{αν δεν υπάρχει επαρκής οδοφ. και } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} > 75 \text{ οχ. ανα ώρα} \\ (1,61)^{\left(1-\frac{\alpha}{11}\right)} - \left((1,61)^{\left(1-\frac{\alpha}{11}\right)} - 1\right) \cdot (1,5 - 0,02 \cdot Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau}) & \text{αν δεν υπάρχει επαρκής οδοφ. και } 25 < Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 75 \end{cases}$$

α = ο αριθμός των υφιστάμενων ιστών οδοφωτισμού



Επάρκεια Κατακόρυφης Σήμανσης

Μία τελευταία αλλά ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας σε ισόπεδους κόμβους είναι η επάρκεια της κατακόρυφης σήμανσης. Για τη συγκεκριμένη παράμετρο έγιναν οι εξής παραδοχές:

- Καθορίστηκε ένας βασικός δείκτης επικινδυνότητας με βάση τους δείκτες CMF από τη βιβλιογραφία.
- Εξετάστηκε η επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου της κάθετης οδού, και κατ' επέκταση των εμπλεκόμενων κινήσεων.
- Καθορίστηκε ο απαιτούμενος αριθμός πινακίδων που πρέπει να διαθέτει ένας ισόπεδος κόμβος.
- Καθορίστηκε η σημαντικότητα των πινακίδων σχετικά με την επιρροή τους στην οδική ασφάλεια.





Επάρκεια Κατακόρυφης Σήμανσης

Θεωρήσεις που έγιναν αναφορικά με την κατακόρυφη σήμανση και το φόρτο.

- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μικρότερο από 10 οχήματα ανά ώρα, ο κόμβος θεωρείται ως ισόπεδη σύνδεση και απαιτείται η τοποθέτηση 7 πινακίδων.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μεγαλύτερο από 10 οχήματα ανά ώρα, ο κόμβος θεωρείται σημαντικός και απαιτείται η τοποθέτηση 11 πινακίδων.
- Η πινακίδα STOP θεωρήθηκε ότι έχει μεγάλη σημαντικότητα καθώς επηρεάζει περισσότερο την αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας
- Οι πληροφοριακές πινακίδες του κόμβου θεωρήθηκε ότι έχουν μέτρια σημαντικότητα και έλαβαν αυξημένο συντελεστή.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μικρότερο από 10 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με τη μονάδα.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο της κάθετης οδού μεγαλύτερο από 50 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας ισούται με $1/CMF = 1,67$.
- Για κυκλοφοριακό φόρτο μεταξύ 10 και 50 οχήματα ανά ώρα ο συντελεστής επικινδυνότητας προκύπτει με γραμμική μεταβολή.



Επάρκεια Κατακόρυφης Σήμανσης

Με βάση τα παραπάνω προσδιορίζεται ο συντελεστής επικινδυνότητας αναφορικά με το την επάρκεια της κατακόρυφης σήμανσης ενός ισόπεδου κόμβου ή μίας ισόπεδης σύνδεσης, ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$Coef_{sign} = \begin{cases} 1,00 & \text{αν υπάρχει επαρκής σήμανση (7 πινακίδες) και } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 10 \text{ οχ. ανα ώρα} \\ (1,67)^{\left(\frac{9-\beta}{7}\right)} & \text{αν δεν υπάρχει επαρκής σήμανση (7 πινακίδες) και } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 10 \text{ οχ. ανα ώρα} \\ 1,00 & \text{αν υπάρχει επαρκής σήμανση (12 πινακίδες) και } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} > 50 \text{ οχ. ανα ώρα} \\ (1,67)^{\left(\frac{17-\beta}{12}\right)} & \text{αν δεν υπάρχει επαρκής σήμανση (12 πινακίδες) και } Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} > 50 \text{ οχ. ανα ώρα} \\ (1,67)^{\left(\frac{17-\beta}{12}\right)} - \left((1,67)^{\left(\frac{17-\beta}{12}\right)} - 1 \right) \cdot \left(\frac{5}{32} - \frac{1}{320} \cdot Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} \right) & \text{αν δεν υπάρχει επαρκής σήμανση (12 πινακίδες) και } 10 < Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau} < 50 \end{cases}$$

β = η αξία των υφιστάμενων πινακίδων



Επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου της κάθετης οδού

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένας ισόπεδος κόμβος που εξυπηρετεί ιδιαίτερα χαμηλό κυκλοφοριακό φόρτο και ιδιαίτερα μικρό αριθμό στρεφουσών κινήσεων, αναμένεται να έχει πολύ λιγότερα ατυχήματα σε σχέση με έναν αντίστοιχο ισόπεδο κόμβο που εξυπηρετεί πολύ μεγάλο αριθμό οχημάτων και ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό στρεφουσών κινήσεων, κρίνεται απαραίτητο να ενσωματωθεί στην τελική βαθμολογία και η επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου της δευτερεύουσας οδού. Η μεταβολή του συντελεστή θα πρέπει να είναι γραμμική, καθώς όσο αυξάνεται το πλήθος των οχημάτων που εξυπηρετούνται από τον ισόπεδο κόμβο, αντίστοιχα θα αυξάνεται και ο αριθμός των αναμενόμενων ατυχημάτων και κατ' επέκταση ο βαθμός επικινδυνότητας του ισόπεδου κόμβου. Ως τιμή βάσης καθορίστηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος επί τις δευτερεύουσας οδού που είναι ίσος με 50 οχήματα ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας.

$$Coef_{Q\delta} = \frac{Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau.}}{50}$$

$Q_{\delta\epsilon\upsilon\tau.}$ = ο κυκλοφοριακός φόρτος της
δευτερεύουσας οδού (ανά κατεύθυνση)



Αξιολόγηση Ισόπεδων Κόμβων

Προκειμένου να προσδιοριστεί η τελική βαθμολογία του κάθε ισόπεδου κόμβου, οι επιμέρους συντελεστές επικινδυνότητας πολλαπλασιάζονται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$Coef_{IK} = Coef_{IKSh} \cdot Coef_{th} \cdot Coef_{Lt} \cdot Coef_{Rt} \cdot Coef_{Ltw} \cdot Coef_{Rtw} \cdot Coef_{Splt} \cdot Coef_{Ltn} \cdot Coef_{sign} \cdot Coef_{Q\delta} \cdot Coef_{Acc}$$

$Coef_{IK}$ = Συντ. Επικινδυνότητας ισόπεδου κόμβου

$Coef_{IKSh}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω ορατότητας

$Coef_{th}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω χρόνου διέλευσης

$Coef_{Lt}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω αριστερής στροφής

$Coef_{Rt}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω δεξιάς στροφής

$Coef_{Ltw}$

= Συντ. Επικινδυνότητας λόγω πλάτους λωρίδας αριστερής στροφής

$Coef_{Rtw}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω πλάτους λωρίδας δεξιφς στροφής

$Coef_{Splt}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω νησίδας επί της κάθετης οδού

$Coef_{Ltn}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω οδοφωτισμού

$Coef_{sign}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω κατακόρυφης σήμανσης

$Coef_{Q\delta}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω κυκλοφοριακού φόρτου δευτ. οδού

$Coef_{Acc}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω επιρροής στις συνέπειες ατυχήματος



Αξιολόγηση Ισόπεδων Κόμβων

Η βαθμολογία των τετρασκελών ισόπεδων κόμβων, προσδιορίζεται ως το άθροισμα της βαθμολογίας δύο τρισκελών, ενώ η συνολική βαθμολογία για κάθε οδικό υποτομήμα, προσδιορίζεται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$Coef_{IKTot} = \frac{\sum Coef_{IK}}{L}$$

$Coef_{IKTot}$ = Συντ. Επικινδυνότητας οδικού τμήματος λόγω ισόπεδων κόμβων

$\sum Coef_{IK}$ = Άθροισμα συντελεστών ισοπ. κόμβων εντός του οδικού τμήματος

L = Μήκος οδικού τμήματος





Καθορισμός περιοχών βαθμολογικής κατάταξης

Αξιοποιώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία αναλύθηκαν περίπου 1.500 χιλιόμετρα Εθνικού και Επαρχιακού οδικού δικτύου της Ελλάδας προσδιορίστηκε η βαθμολογία για 6.000 ισόπεδους κόμβους και ισόπεδες συνδέσεις/διασταυρώσεις (συμπεριλαμβανομένων και των χωματόδρομων). Στη συνέχεια η βαθμολογία των ισόπεδων κόμβων χωρίστηκε σε τέσσερις διακριτές περιοχές:

Από 0 έως 150 ανταποκρίνεται σε αυξημένο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 150 έως 300 ανταποκρίνεται σε μέτριο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 300 έως 450 ανταποκρίνεται σε χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Πάνω από 450 ανταποκρίνεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Στο ίδιο οδικό δίκτυο, προσδιορίστηκε η βαθμολογία για περίπου 750 οδικά τμήματα, μήκους από 1.500μ. έως 3.000μ, όπου ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία, τα οδικά τμήματα χωρίστηκαν σε τέσσερις διακριτές περιοχές:

Από 0 έως 150 ανταποκρίνεται σε αυξημένο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 150 έως 300 ανταποκρίνεται σε μέτριο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από 300 έως 450 ανταποκρίνεται σε χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Πάνω από 450 ανταποκρίνεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

και Μηχανικών Γεωπληροφορικής



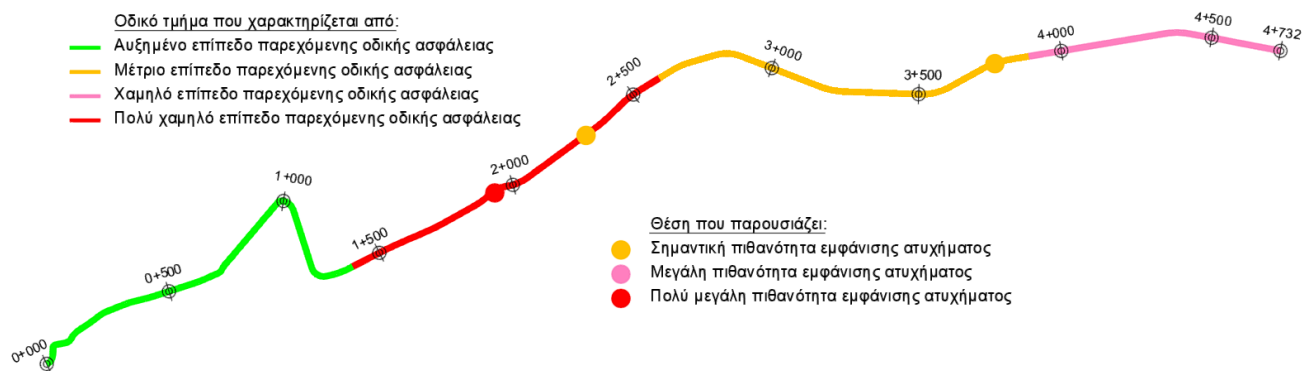
	Όνομα	Χ.Θ.	Τύπος	Τύπος Δευτ. Οδού	Coef	Coef / km
Τμήμα 1 $V_{65} = 71.38 \text{ km/h}$	IK-1	0+185	Τρισκελής	Χωματόδρομος	10.04	126.86
	IK-2	0+350	Τρισκελής	Χωματόδρομος	11.68	
	IK-3	0+515	Τρισκελής	Χωματόδρομος	0.25	
	IK-4-5	0+740	Τετρασκελής	Χωματόδρομος	7.48	
	IK-6	0+920	Τρισκελής	Άσφαλτος	98.48	
	IK-7	0+980	Τρισκελής	Χωματόδρομος	2.37	
	IK-8-9	1+140	Τετρασκελής	Άσφαλτος	32.08	
Τμήμα 2 $V_{65} = 89.80 \text{ km/h}$	IK-9	1+310	Τρισκελής	Χωματόδρομος	15.22	554.34
	IK-10	1+550	Τρισκελής	Χωματόδρομος	10.77	
	IK-11	1+750	Τρισκελής	Χωματόδρομος	0.80	
	IK-12-13	1+935	Τετρασκελής	Άσφαλτος	465.42	
	IK-13	2+035	Τρισκελής	Χωματόδρομος	12.40	
	IK-14	2+310	Τρισκελής	Άσφαλτος	167.40	
Τμήμα 3 $V_{65} = 89.50 \text{ km/h}$	IK-15-16	2+505	Τρισκελής	Χωματόδρομος	8.42	312.05
	IK-17	2+690	Τρισκελής	Χωματόδρομος	6.32	
	IK-18	2+840	Τρισκελής	Άσφαλτος	52.46	
	IK-19	3+080	Τρισκελής	Χωματόδρομος	0.90	
	IK-20	3+350	Τρισκελής	Άσφαλτος	70.56	
Τμήμα 4 $V_{65} = 95.20 \text{ km/h}$	IK-21-22	3+785	Τετρασκελής	Άσφαλτος	275.42	227.39
	IK-22	3+920	Τρισκελής	Χωματόδρομος	8.12	
	IK-23	4+120	Τρισκελής	Άσφαλτος	86.45	
	IK-24	4+320	Τρισκελής	Άσφαλτος	62.34	
	IK-25	4+540	Τρισκελής	Άσφαλτος	32.28	

Αξιολόγηση Ισόπεδων Κόμβων

Για να είναι πιο εποπτικό το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας που παρέχει κάθε οδικό τμήμα και ισόπεδος κόμβος, η οριζοντιογραφία της οδού χρωματίζεται ανάλογα με την επικινδυνότητα.

Χρωματική ιεράρχηση από το αυξημένο στο μειωμένο επίπεδο οδικής ασφάλειας

- Πράσινο Χρώμα
- Πορτοκαλί Χρώμα
- Ανοιχτό Μωβ Χρώμα
- Κόκκινο Χρώμα





Κρίσιμες παράμετροι του πλευρικού παρόδιου χώρου

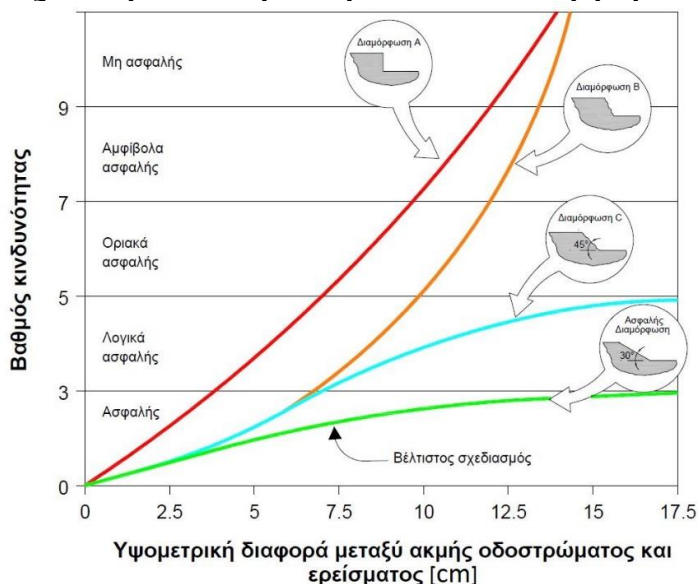
Αναφορικά με την αξιολόγηση του πλευρικού παρόδιου χώρου αξιολογήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

- Η ακμή που δημιουργείται μεταξύ της επιφανειακής ασφαλτικής στρώσης και της επιφάνειας του ερείσματος.
- Το πλάτος του ερείσματος και του υλικού κατασκευής του.
- Η επικινδυνότητα της διαμορφωμένης επιφάνειας παραπλεύρως της οδού.
- Τα πλευρικά εμπόδια που βρίσκονται εκτός του ασφαλτοστρωμένου χώρου της οδού.
- Τα στηθαία ασφαλείας και τα Συστήματα Αναχαίτησης Οχημάτων (Σ.Α.Ο.)
- Η πιθανότητα βραχόπτωσης ή κατολίσθησης και οι εκτιμώμενες συνέπειες της.



Ανισοσταθμία Οδοστρώματος και Ερείσματος

Η ακμή που δημιουργείται μεταξύ της επιφανειακής στρώσης του οδοστρώματος και της επιφάνειας του μη ασφαλτοστρωμένου ερείσματος, αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο του παρόδιου χώρου που επηρεάζει το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας. Για την αξιολόγηση του αξιοποιήθηκαν οι αναφορές στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία.





Ανισοσταθμία Οδοστρώματος και Ερείσματος

Τα στοιχεία του διαγράμματος αποδελτιώθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί μία μαθηματική σχέση που να συνδέει τις γεωμετρικές παραμέτρους, δηλαδή:

- Την υψομετρική διαφορά μεταξύ ακμής οδοστρώματος και ερείσματος και
- Την κλίση (γωνία) που σχηματίζει η ακμή του οδοστρώματος

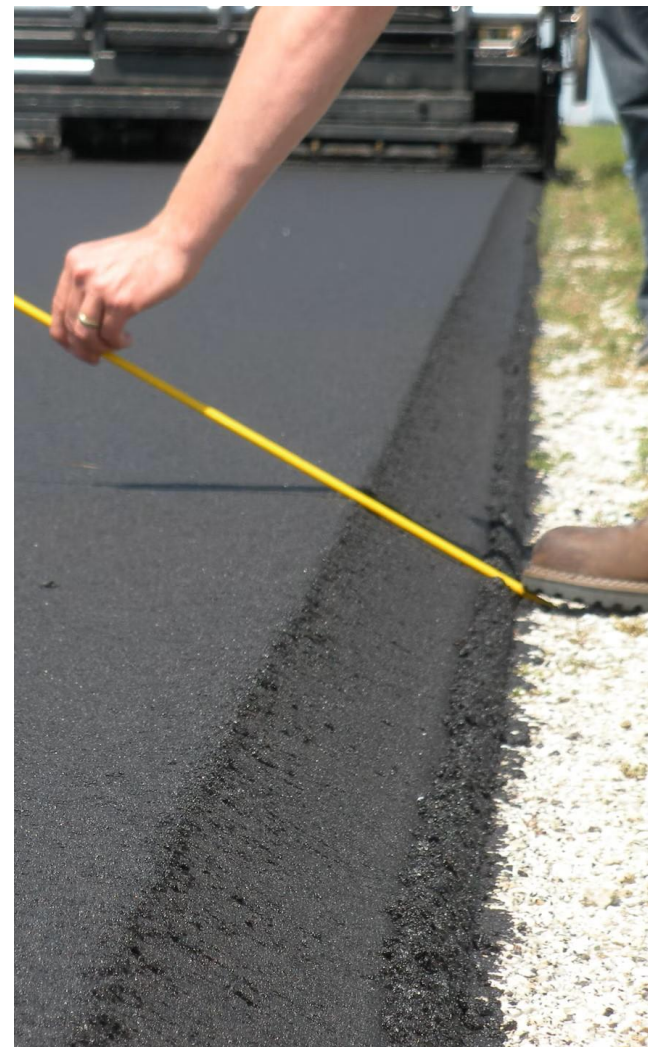
Με τον βαθμό επικινδυνότητας που παρουσιάζει προκειμένου να προκύψει ένας συντελεστής επικινδυνότητας.

$$Coef_{Dr_off} = (0,0088 \cdot s_{Drop} - 0.0186) \cdot h_p$$

$Coef_{Dr_off}$ = Συντελεστής επικινδυνότητας λόγω ακμής οδοστρώματος

h_p = Η υψομετρική διαφορά μεταξύ οδοστρώματος και ερείσματος

s_{Drop} = Η κλίση της ακμής του οδοστρώματος





Πλάτος Ασφαλτοστρωμένου Ερείσματος

Μία πρόσθετη παράμετρος που επηρεάζει το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας είναι το πλάτος του ασφαλτοστρωμένου ερείσματος. Η επιρροή της συγκεκριμένης παραμέτρου στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας εξαρτάται:

- από το πλάτος του ερείσματος και
- από την ποιότητα του υλικού κατασκευής (εφόσον δεν είναι ασφαλτοστρωμένο)

Καθώς οι συγκεκριμένες συσχετίσεις διατυπώνονται στη βιβλιογραφία από τους δείκτες AMF (CMF), αξιοποιήθηκαν οι συγκεκριμένες σχέσεις για τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας. Επιπρόσθετα αξιοποιήθηκε και η επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου, όπως αυτή ενσωματώνεται στις εξισώσεις του CMF.





Πλάτος Ασφαλτοστρωμένου Ερείσματος

Επειδή η επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου στον δείκτη AMF περιορίζεται μεταξύ των 400 και 2.000 οχημάτων/ημέρα, το οποίο δεν κρίνεται ορθολογικό, έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Ο δείκτης CMF θεωρήθηκε 1,00 (χωρίς επιρροή) για μηδενικό κυκλοφοριακό φόρτο
- Η γραμμική μεταβολή της επιρροής του κυκλοφοριακού φόρτου μετά τα 2.000 οχ/ημέρα θεωρήθηκε η μισή από αυτή που προβλέπεται από τους δείκτες CMF

Με τα στοιχεία αυτά προέκυψε ο δείκτης AMF και ο συντελεστής επικινδυνότητας:

$$Q \leq 2000 \text{ οχ/ημέρα} \rightarrow AMF_{Shoulder} = -0,00013 \cdot Q \cdot w + 0,000238 \cdot Q + 1 \quad Q > 2000 \text{ οχ/ημέρα}$$

$$AMF_{Shoulder} = -0,26 \cdot w - 0,0000625 \cdot (Q - 2000) \cdot w + 0,000119 \cdot (Q - 2000) + 1,476$$

$$Coef_{Shoulder} = AMF_{Shoulder} - 1$$

$AMF_{Shoulder}$ = Δείκτης AMF λόγω πλάτους ερείσματος

Q = 0 κυκλοφοριακός φόρτος (μεγαλύτερος από 2000 $\frac{\text{οχήματα}}{\text{ημέρα}}$)

w = Το πλάτος του ασφαλτοστρωμένου ερείσματος (σε μέτρα)



Πλάτος Ασφαλτοστρωμένου Ερείσματος

Επιπρόσθετα εξετάστηκε και η επιρροή της ποιότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το έρεισμα. Για την επιρροή αυτή αξιοποιήθηκαν οι δείκτες CMF της βιβλιογραφίας και προέκυψε ένας αυξητικός συντελεστής.

Για ασφαλτοστρωμένο έρεισμα	$AMF_{Sh_type} = 1,0$
Για χαλικόστρωτο έρεισμα (Gravel)	$AMF_{Sh_type} = 0,01 \cdot w + 1$
Για μεικτό έρεισμα (Composite)	$AMF_{Sh_type} = 0,025 \cdot w + 1$
Για έρεισμα χλόης (Turf)	$AMF_{Sh_type} = 0,045 \cdot w + 1$

w = Το πλάτος του σταθεροποιημένου ερείσματος (σε μέτρα)

Shoulder type	Shoulder width (ft)							
	0	1	2	3	4	6	8	10
Paved	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Gravel	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
Composite	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07
Turf	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11	1.14





Διαμορφωμένη επιφάνεια παραπλεύρως της οδού

Η μορφολογία του εδάφους και η διαμορφωμένη επιφάνεια παραπλεύρως της οδού, είναι μία παράμετρος που αξιολογείται ως κρίσιμη από τη διεθνή και την εγχώρια βιβλιογραφία αναφορικά με τον βαθμό επικινδυνότητας που παρέχει. Η επικινδυνότητα της παράπλευρης επιφάνειας (RHR), καθορίζεται με βάση 7 κατηγορίες. Προκειμένου να καθορισθεί ο δείκτης επικινδυνότητας των συγκεκριμένων κατηγοριών, αξιοποιήθηκαν οι δείκτες CMF και έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Η κατηγορία 1 αντιστοιχεί σε βαθμολογία 0,0.
- Η κατηγορία 3 αντιστοιχεί σε βαθμολογία 1,0
- Για τις υπόλοιπες κατηγορίες αξιοποιήθηκε η αναλογία που προβλέπεται από τους δείκτες CMF.





Διαμορφωμένη επιφάνεια παραπλεύρως της οδού

Με βάση τα στοιχεία των δεικτών CMF και τις παραδοχές που αναφέρθηκαν προέκυψε ο δείκτης επικινδυνότητας αναφορικά με την διαμορφωμένη επιφάνεια παραπλεύρως της οδού:

$$Coef_{RHR} = 0.01914 \cdot RHR^2 + 0.4209 \cdot RHR - 0.437$$

$Coef_{RHR}$ = Ο δείκτης επικινδυνότητας λόγω παράπλευρης επιφάνειας
 RHR = Η κατηγορία επικινδυνότητας της παράπλευρης επιφάνειας

Σημειώνεται ότι ο δείκτης RHR λαμβάνει αποκλειστικά ακέραιες τιμές από 1 έως 7 και επομένως η παραβολική μορφή δεν οδηγεί σε πολύ μεγάλα νούμερα, καθώς η μέγιστη τιμή που λαμβάνει είναι 3,45.





Εμπόδια και απόσταση από την άκρη του οδοστρώματος

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η ύπαρξη εμποδίων παρά την οδό (δέντρα, αγωγοί, πινακίδες σήμανσης, στηθαία ασφαλείας, περιφράξεις), καθώς επίσης και η απόσταση που αυτά βρίσκονται από την άκρη του οδοστρώματος, αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας.

Η επιρροή της συγκεκριμένης παραμέτρου στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας εξαρτάται:

- Το είδος του εμποδίου
- Την απόσταση που βρίσκεται το εμπόδιο από την άκρη του οδοστρώματος

Καθώς οι συγκεκριμένες συσχετίσεις διατυπώνονται στη βιβλιογραφία από τους δείκτες CMF, αξιοποιήθηκαν οι συγκεκριμένες σχέσεις για τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας.





Εμπόδια και απόσταση από την άκρη του οδοστρώματος

Από την παρούσα αξιολόγηση δεν αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία που αφορούν τα στηθαία ασφαλείας, καθώς αναλύονται διακριτά. Εφόσον υπάρχει στηθαίο ασφαλείας στην οδό, τότε ο δείκτης επικινδυνότητας για εμπόδια λαμβάνεται ίσος με 0. Δεδομένου ότι τα υπόλοιπα είδη εμποδίων (δέντρα, πινακίδες κ.α, περιφράξεις) παρουσίαζαν παρόμοιους δείκτες CMF, δεν έγινε διαχωρισμός μεταξύ τους. Σε εναρμόνιση με τους δείκτες CMF έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές αναφορικά με την τιμή του συντελεστή επικινδυνότητας:

- Για απόσταση 0,00μ, θεωρήθηκε ίσος με 4,0.
- Για απόσταση 0,50μ. θεωρήθηκε ίσος με 2,0.
- Για απόσταση 3,50μ. θεωρήθηκε ίσος με 1,0.
- Για απόσταση 6,60μ. και μεγαλύτερη θεωρήθηκε ίσος με 0,0.

Για απόσταση εμποδίου $< 0,5\mu$. Από την άκρη οδοστρώματος

$$Coef_{obst} = -4,0 \cdot d + 4,0$$

Για απόσταση εμποδίου $> 0,5\mu$. Από την άκρη οδοστρώματος

$$Coef_{obst} = -0,328 \cdot d + 2,164$$

$Coef_{obst}$ = Δείκτης επικινδυνότητας λόγω πλευρικού εμποδίου
 d = Η απόσταση του εμποδίου από την άκρη του οδοστρώματος



Στηθαία Ασφαλείας – Συστήματα Αναχαίτησης Οχημάτων

Μία ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος, αναφορικά κυρίως με την απομείωση των επιπτώσεων που έχει ένα οδικό ατύχημα, είναι η σωστή τοποθέτηση και η επάρκεια των χαρακτηριστικών που διαθέτουν τα στηθαία ασφαλείας και τα Συστήματα Αναχαίτησης Οχημάτων (Σ.Α.Ο.) που τοποθετούνται πλευρικά της οδού. Τα πλευρικά στηθαία χωρίζονται σε τρεις κρίσιμες κατηγορίες αναφορικά με την αξιολόγησή τους:

- Τα παλαιού τύπου στηθαία ασφαλείας (Μ.Σ.Ο. κτλ).
- Τα νέου τύπου Σ.Α.Ο. που εφαρμόζονται στη Χώρα μας από το 2011 και
- Τα κιγκλιδώματα που εφαρμόζονται σε περιπτώσεις χαμηλών ταχυτήτων, κυρίως για να είναι εποπτική στον οδηγό η οριοθέτηση του ασφαλτοστρωμένου χώρου.





Στηθαία Ασφαλείας – Συστήματα Αναχαίτησης Οχημάτων

Σημειώνεται ότι για την παράμετρο των στηθαίων ασφαλείας υπάρχει βιβλιογραφική αναφορά και σχετικός προσδιορισμός του δείκτη AMF ανάλογα με την απόσταση που είναι τοποθετημένα, πληροφορία που δεν αξιοποιήθηκε για τους ακόλουθους λόγους:

- Κατά κανόνα η εφαρμογή των στηθαίων ασφαλείας γίνεται σε απόσταση 0,50μ.
- Τα στηθαία ασφαλείας, αποτελούν παράμετρο που εν γένει αναβαθμίζει το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας και επομένως οι προβλεπόμενοι δείκτες επικινδυνότητας θα πρέπει να αξιολογούνται θετικά και όχι να αντιμετωπίζονται ως εμπόδια.
- Το είδος και ο τύπος του στηθαίου ασφαλείας είναι ιδιαίτερα κρίσιμες παράμετροι και πρέπει να αξιολογηθεί η συνεισφορά τους.
- Η ταχύτητα κυκλοφορίας και ο φόρτος της οδού είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες.





Στηθαία Ασφαλείας – Συστήματα Αναχαίτησης Οχημάτων

Καθώς η απαιτούμενη κατηγορία του συστήματος αναχαίτησης οχημάτων (Σ.Α.Ο.) καθορίζεται με βάση τις οδηγίες της κάθε χώρας, κρίθηκε σκόπιμο ο συντελεστής επικινδυνότητας να καθορισθεί με βάση την απαιτούμενη τιμή (βάση των οδηγιών) και τη διατιθέμενη τιμή (ύπαρξη υφιστάμενου στηθαίου ή όχι).

- Αναφορικά για την απαιτούμενη τιμή αξιοποιήθηκε η συνεισφορά του κάθε Σ.Α.Ο. στην αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας αναλογικά με την απορροφούμενη ενέργεια που επιτυγχάνει η κάθε κατηγορία (N2, H1, H2 κτλ).
- Αναφορικά με τη διατιθέμενη τιμή αξιολογήθηκε το υφιστάμενο στηθαίο αξιολογήθηκε ως:
 - Σε υφιστάμενο Σ.Α.Ο. η διατιθέμενη τιμή προσδιορίζεται ως παραπάνω
 - Σε υφιστάμενο στηθαίο παλαιού τύπου η τιμή καθορίστηκε στο 0,75 (75% της τιμής του Σ.Α.Ο. N2).
 - Στην απουσία Σ.Α.Ο. ή στηθαίου παλαιού τύπου η τιμή καθορίστηκε στο 0,00.
 - Καθορίστηκε ένας πολλαπλασιαστικός (μειωτικός) συντελεστής αναφορικά με την κατάσταση του υφιστάμενου Σ.Α.Ο. ή στηθαίου.



Στηθαία Ασφαλείας – Συστήματα Αναχαίτησης Οχημάτων

Με βάση την απαιτούμενη και τη διατιθέμενη τιμή, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από την προηγούμενη διαδικασία (υφιστάμενο και απαιτούμενο Σ.Α.Ο.), προσδιορίζεται ο συντελεστής επικινδυνότητας με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$Coef_{Bar} = \frac{15 \cdot Coef_{dem}}{14 \cdot Coef_{exist} + Coef_{dem}} - 1$$

$Coef_{Bar}$ = Ο δείκτης επικινδυνότητας λόγω των στηθαίων ασφαλείας

$Coef_{dem}$ = Ο συντελεστής που χαρακτηρίζει τα απαιτούμενα Σ. Α. Ο.

$Coef_{exist}$ = Ο συντελεστής που χαρακτηρίζει τα υφιστάμενα στηθαία





Βραχοπτώσεις και κατολισθήσεις

Ένας τελευταίος αλλά σημαντικός παράγοντας, είναι η κατάπτωση βράχων (βραχόπτωση) ή οι κατολισθήσεις που μπορεί να συμβούν στην ανάντι έκταση της οδού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φυσικό έδαφος και μπορεί να αποτελέσουν την αιτία για μία βραχόπτωση ή και μία κατολίσθηση είναι συνοπτικά:

- Το ύψος του φυσικού εδάφους ή των τεχνητών πρανών που βρίσκονται πάνω από την οδό
- Το είδος των εδαφών / πετρωμάτων
- Η κλίση του φυσικού εδάφους ή των τεχνητών πρανών ορυγμάτων
- Η πιθανότητα σεισμού και η ένταση του
- Η πιθανότητα βροχόπτωσης και η ένταση της

Για τον καθορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας αναφορικά με τις βραχοπτώσεις/κατολισθήσεις εξετάστηκαν όλες οι παραπάνω παράμετροι.





Ύψος πρηνούς ορύγματος ή φυσικού εδάφους

Για την αξιολόγηση του ύψους του πρηνούς ενός ορύγματος ή και του φυσικού εδάφους, αξιοποιήθηκε το εγχειρίδιο Rockfall Hazard Rating System. Το συγκεκριμένο εγχειρίδιο παρέχει στοιχεία που συσχετίζουν την επικινδυνότητα ενός πρηνούς ανάλογα με το ύψος που έχει, από τα οποία προσδιορίστηκε ο συντελεστής επικινδυνότητας. Επειδή οι τιμές ακολουθούσαν εκθετική κατανομή, αξιοποιήθηκε ο λογάριθμος του δείκτη για να επιτευχθεί μία σχετικά γραμμική μεταβολή του συντελεστή επικινδυνότητας:

$$Coef_{height} = \ln(e^{0.1479 \cdot h} - 1)$$

$Coef_{height} = 0$ δείκτης επικινδυνότητας λόγω ύψους πρηνούς
 $h =$ Το ύψος του πρηνούς





Κλίση πρανούς ορύγματος ή φυσικού εδάφους

Για την αξιολόγηση της κλίσης των πρανών ορυγμάτων και του φυσικού εδάφους, αξιοποιήθηκε ο συντελεστής b της μαθηματικής σχέσης ευστάθειας των Sarma και Bhave, οι οποίοι συγκέντρωσαν στοιχεία από εκατοντάδες περιπτώσεις φραγμάτων και επιχωμάτων. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιήθηκε ο συντελεστής ασφαλείας του πρανού ο οποίος συναρτάται με την κλίση του πρανού. Με βάση τα στοιχεία αυτά προσδιορίστηκε ο συντελεστής επικινδυνότητας

$$Coef_{slope} = \frac{A}{b} = \frac{3.15}{1.18 + \frac{0.66}{\tan\psi}}$$

$Coef_{slope}$ = Ο δείκτης επικινδυνότητας λόγω κλίσης πρανούς
 ψ = Η κλίση του πρανού σε μοίρες





Σεισμική Επικινδυνότητα

Η πιθανότητα εκδήλωσης μίας βραχύπτωσης ή μίας κατολίσθησης εξαρτάται από την πιθανότητα και την ένταση ενός σεισμού. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιήθηκε ο χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας, ο οποίος χωρίζει την Ελλάδα σε τρεις ζώνες (ζώνες I, II και III) με σεισμική επιτάχυνση $0,16 \cdot g$, $0,24 \cdot g$ και $0,36 \cdot g$ αντίστοιχα. Η σεισμική επιτάχυνση $0,16 \cdot g$ θεωρήθηκε ως τιμή βάσης με το συντελεστή επικινδυνότητας να καθορίζεται ως 1,00 καταλήγοντας στην ακόλουθη γραμμική σχέση:

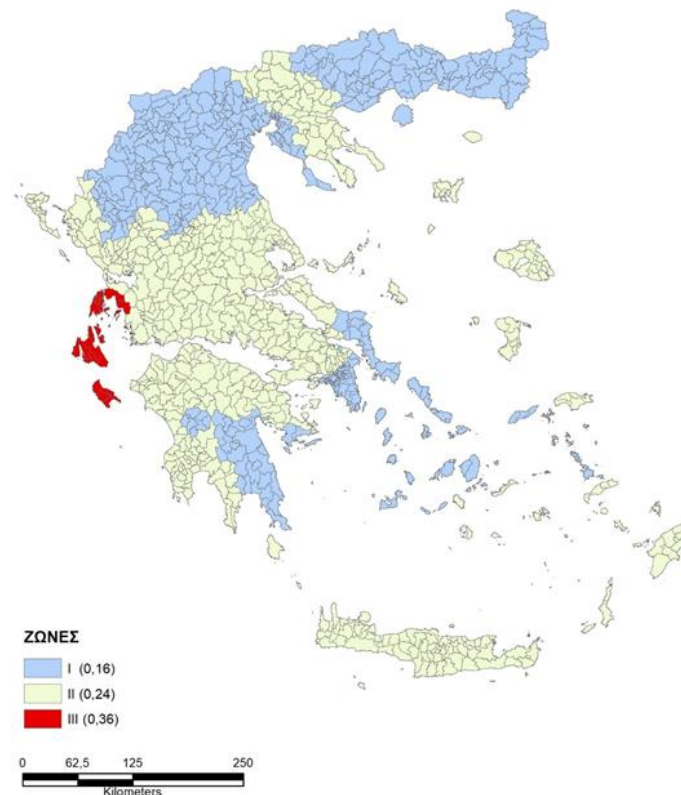
$$Coef_{Earthquake} = \gamma_{earthquake} / 160$$

$Coef_{Earthquake}$ = Ο δείκτης επικινδυνότητας λόγω σεισμού

$\gamma_{earthquake}$ = Η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση (cm/sec^2)

Η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση μπορεί να καθοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια αξιοποιώντας επικαιροποιημένους χάρτες μέγιστων σεισμικών επιταχύνσεων.

ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΗΜΩΝ





ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΛΟΓΩ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

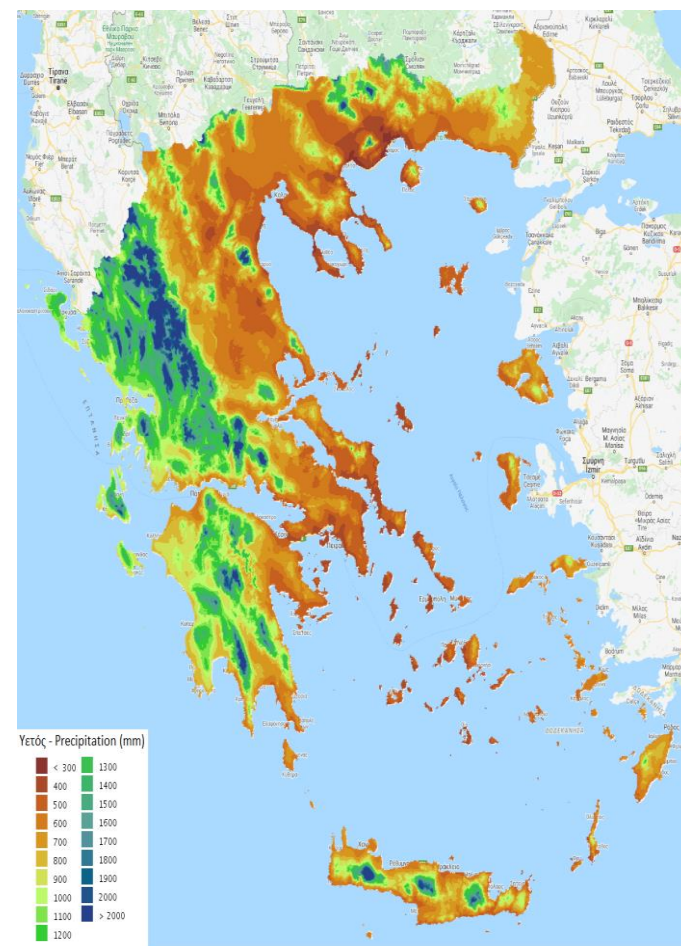
Η πιθανότητα εκδήλωσης μίας βραχύπτωσης ή μίας κατολίσθησης εξαρτάται και από την πιθανότητα εμφάνισης μίας έντονης βροχόπτωσης και η ένταση που αυτή θα έχει. Για τον καθορισμό του δείκτη επικινδυνότητας λόγω βροχοπτώσεων, αξιοποιήθηκε ο Βροχομετρικός Χάρτης της Ελλάδας. Ως τιμή βάσης για τον προσδιορισμό του συντελεστή επικινδυνότητας καθορίστηκαν τα 800mm βροχής καταλήγοντας στην ακόλουθη γραμμική σχέση:

$$Coef_{Rain} = \frac{h_{Rain}}{800}$$

$Coef_{Rain}$ = Ο δείκτης επικινδυνότητας λόγω βροχόπτωσης

h_{Rain} = Η ετήσια ένταση βροχόπτωσης (mm)

Παρόλο που οι μεγάλες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης μπορεί να αποτελούνται από άθροισμα πολλών βροχοπτώσεων μικρής έντασης, το συγκεκριμένο μέγεθος κρίθηκε αξιόπιστο προς εφαρμογή.





Ποιότητα Υλικού (γαιώδες ή βραχώδες)

Ένας τελευταίος παράγοντας που αξιοποιήθηκε, είναι η γεωλογία του φυσικού εδάφους. Το φυσικό έδαφος χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, εδαφικά και βραχώδη υλικά, οι οποίες αξιολογήθηκαν ως προς την επικινδυνότητά τους, ανάλογα με τους δείκτες αντοχής που τα χαρακτηρίζουν.

Τα βραχώδη υλικά ταξινομούνται σε 5 κατηγορίες (I έως V) βάσει του δείκτη SMR. Αντίστοιχα για τα εδαφικά υλικά χρησιμοποιείται η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (S.P.T. – Terzaghi) για ποιοτική ένδειξη των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών καθώς και για τον προσδιορισμό μηχανικών παραμέτρων.

Με βάση αυτές τις δύο παραμέτρους καθορίστηκε και ο συντελεστής επικινδυνότητας.





Ποιότητα Υλικού (γαιώδες ή βραχώδες)

Αναφορικά με τα μηχανικά χαρακτηριστικά, είναι σαφές ότι τα βραχώδη υλικά εξασφαλίζουν εν γένει μεγαλύτερη αντοχή και κατ' επέκταση μεγαλύτερη ευστάθεια στα πρανή. Συνεπώς ο συντελεστής επικινδυνότητας για τα βραχώδη εδάφη θα πρέπει να είναι εν γένει μικρότερος από τον αντίστοιχο που αφορά τα γαιώδη υλικά. Για τον καθορισμό του δείκτη επικινδυνότητας έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

Εδαφικά – Γαιώδη Υλικά

- Για N_{SPT} ίσο με 5 η αντοχή του υλικού θα καθορίζεται από ένα δείκτη ίσο με 1.
- Για N_{SPT} ίσοι με 50 ο αντίστοιχος δείκτης είναι ίσος με 10.

Βραχώδη Υλικά

- Για SMR ίσο με 0 η αντοχή του υλικού θα καθορίζεται από ένα δείκτη ίσο με 3.
- Για δείκτη SMR ίσο με 100 ο αντίστοιχος δείκτης είναι ίσος με 30 (μέγιστη τιμή).

Με βάση τα στοιχεία αυτά προέκυψε ο συντελεστής επικινδυνότητας:

$$Coef_{Ground} = 1 / (0,2 \cdot N_{SPT}) = 5 / N_{SPT}$$

$$Coef_{Ground} = 1 / (0,27 \cdot SMR + 3)$$

Εδαφικό
Υλικό

$Coef_{Ground} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω του υλικού
 $N_{SPT} = 0$ δείκτης N_{SPT} για τα γαιώδη – εδαφικά υλικά
 $SMR = H$ βαθμολόγηση Slope Mass Rating των βραχωδών υλικών

Βραχώδες
Υλικό



Συνδυασμένος συντελεστής επικινδυνότητας λόγω βραχοπτώσεων / κατολισθήσεων

Με βάση τους επιμέρους συντελεστές επικινδυνότητας που προέκυψαν δημιουργήθηκε ένας συνδυασμένος συντελεστής από τον πολλαπλασιασμό των επιμέρους συντελεστών. Οι συντελεστές λόγω σεισμικής επιτάχυνσης και βροχοπτώσεων, θα αξιοποιηθούν αθροιστικά, λαμβάνοντας υπόψη περίπου το 70% των βραχοπτώσεων και κατολισθήσεων οφείλονται στις βροχοπτώσεις, ενώ το υπόλοιπο 30% εκτιμάται ότι οφείλεται στη σεισμική επιτάχυνση. Με βάση τα στοιχεία αυτά, ο τελικός συνδυασμένος συντελεστής επικινδυνότητας είναι:

$$Coef_{Rockfall} = Coef_{Ground} \cdot Coef_{Height} \cdot Coef_{Slope} \cdot (0.7 \cdot Coef_{Rain} + 0.3 \cdot Coef_{Earthquake})$$

$Coef_{Rockfall} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω βραχόπτωσης

$Coef_{Ground} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω του υλικού

$Coef_{Slope} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω κλίσης

$Coef_{Height} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω ύψους

$Coef_{Rain} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω βροχόπτωσης

$Coef_{Earthquake} = 0$ συντελεστής επικινδυνότητας λόγω σεισμικής επιτάχυνσης



Αναπροσαρμογή δεικτών με βάση τις οριακές τιμές

Για να εξαχθεί η τελική βαθμολογία του κάθε οδικού τμήματος, πρέπει να συνδυαστούν όλοι οι συντελεστές επικινδυνότητας με κατάλληλους δείκτες που θα χαρακτηρίζουν την κρισιμότητα της κάθε παραμέτρου που εξετάστηκε. Για να υπάρχει κοινή αφετηρία πρέπει όλοι του συντελεστές που εξετάστηκαν να γίνουν ισοδύναμοι. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιήθηκαν οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές κάθε συντελεστή και αναπροσαρμόστηκαν ώστε η μέγιστη βαθμολογία για κάθε μία παράμετρο να προσεγγίζει περίπου την τιμή 30, τιμή που είναι εφάμιλλη και συγκρίσιμη με τη μέγιστη βαθμολογία που έχει προκύψει από την αξιολόγηση του γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού και των ισόπεδων κόμβων.

	Min	Max	Συντ. Προσαύξησης
Ακμή	0	15.47	2.0
Έρεισμα	0	1.43	21.0
Εμπόδιο	~ 0	4.00	7.5
Παρόδιος	~ 0	3.45	9.0
ΣΑΟ	0	14.00	2.0
Βραχοπτώσεις	0	7.91	4.0



Αξιολόγηση Πλευρικού Παρόδιου Χώρου

Για να προκύψει η τελική βαθμολογία, καθορίστηκε η βαρύτητα που έχει στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας κάθε μία τις παράμετρος. Συγκεκριμένα:

- 5% για την ακμή του οδοστρώματος
- 10% για το πλάτος του ασφαλοστρωμένου ερείσματος
- 25% για την ύπαρξη εμποδίων
- 10% για την επιρροή της παρόδιας επιφάνειας
- 30% για την εφαρμογή Σ.Α.Ο.
- 20% για τη βραχόπτωση και τις κατολισθήσεις

Για τον καθορισμό της τελικής βαθμολογίας ο συντελεστής επικινδυνότητας πολ/σιάζεται με του δείκτες του κυκλοφοριακού φόρτου και των επιπτώσεων ενός ατυχήματος

Και ο τελικός συντελεστής επικινδυνότητας δίνεται από τη σχέση:

$$Coef_{side} = 0.05 \cdot Coef_{Dr_{off}} + 0.10 \cdot Coef_{Shoulder} + 0.25 \cdot Coef_{obst} + 0.10 \cdot Coef_{RHR} + 0.30 \cdot Coef_{Bar} + 0.20 \cdot Coef_{Rockfall}$$

$Coef_{side}$ = Συντελεστής Επικινδυνότητας λόγω παρόδιου χώρου

$Coef_{Dr_{off}}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω ακμής οδοστρώματος

$Coef_{Shoulder}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω ερείσματος

$Coef_{obst}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω πλευρικών εμποδίων

$Coef_{RHR}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω παράπλευρης επιφάνειας

$Coef_{Bar}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω στηθαίων ασφαλείας

$Coef_{Rockfall}$ = Συντ. Επικινδυνότητας λόγω βραχοπτώσεων ή κατολισθήσεων



Καθορισμός περιοχών βαθμολογικής κατάταξης

Αξιοποιώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία αναλύθηκαν περίπου 300 χιλιόμετρα Εθνικού και Επαρχιακού οδικού δικτύου της Ελλάδας προσδιορίστηκε και προσδιορίστηκε η σχετική βαθμολογία. Σημειώνεται ότι οι δείκτες επικινδυνότητας κάθε παραμέτρου προσαρμόστηκαν κατάλληλα προκειμένου να εναρμονίζονται με τις αντίστοιχες ελάχιστες και μέγιστες βαθμολογίες που προκύπτουν από την αξιολόγηση του γεωμετρικού σχεδιασμού και των ισόπεδων κόμβων. Συνεπώς η βαθμολογία των οδικών χωρίστηκε σε τέσσερις διακριτές περιοχές, η βαθμολογία των οποίων είναι ίδια με τη βαθμολογία των προηγούμενων ομάδων αξιολόγησης:

Από **0 έως 150** ανταποκρίνεται σε αυξημένο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από **150 έως 300** ανταποκρίνεται σε μέτριο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Από **300 έως 450** ανταποκρίνεται σε χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Πάνω από 450 ανταποκρίνεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας.

Η ισότητα των οριακών τιμών που χαρακτηρίζουν τις διακριτές περιοχές για όλες τις ομάδες ελέγχων (γεωμετρικός σχεδιασμός, ισόπεδοι κόμβοι και πλευρικός παρόδιος χώρος) έγινε με τη θεώρηση ότι οι τρεις συγκεκριμένες ομάδες έχουν ισοδύναμη βαρύτητα ως προς την επιρροή τους στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

και Μηχανικών Γεωπληροφορικής



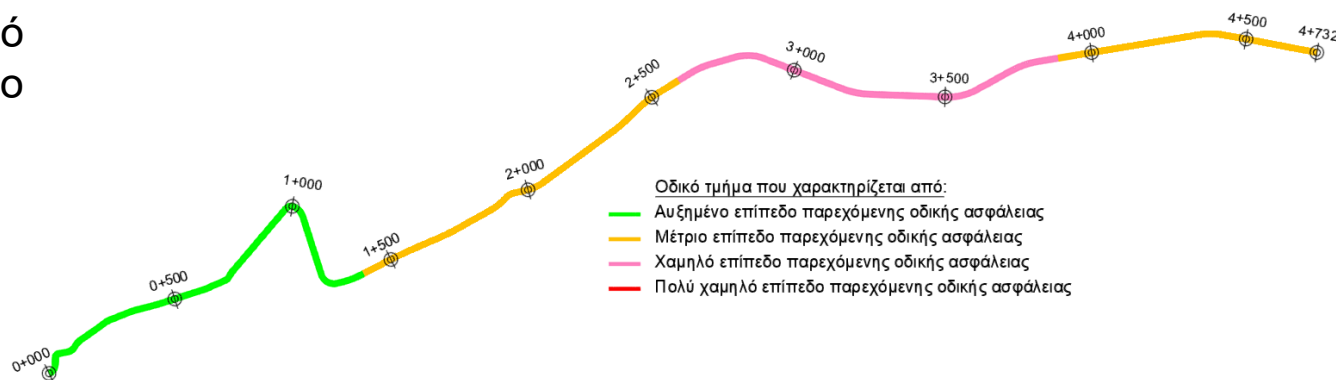
	Από Χ.Θ.	Έως Χ.Θ.	Coef _{DR}	Coef _{Sh}	Coef _{Obs}	Coef _{RHR}	Coef _{Bar}	Coef _{Rock}	Coef _{Acc}	Coef _{sideTot}
Τμήμα 1 V85 =71.38km/h	0+000	0+260	0,70	5,45	0,00	8,98	0,00	0,73	10,40	53,06
	0+260	0+500	0,70	5,45	0,00	8,98	1,86	14,95	10,40	
	0+500	0+820	0,70	5,45	0,00	8,98	0,00	8,48	10,40	
	0+820	0+990	0,70	5,45	10,08	8,98	28,00	1,11	10,40	
	0+990	1+120	2,45	5,45	0,00	8,98	6,09	1,11	10,40	
	1+120	1+400	2,45	5,45	0,00	8,98	0,00	25,77	10,40	
Τμήμα 2 V85 =89.80km/h	1+400	1+550	2,45	3,40	7,62	19,31	28,00	9,42	23,28	198,51
	1+550	1+870	2,45	3,40	0,00	19,31	3,22	22,42	23,28	
	1+870	2+250	10,19	3,40	0,00	19,31	0,00	12,26	23,28	
	2+250	2+400	2,45	3,40	11,31	19,31	28,00	14,62	23,28	
	2+400	2+600	2,45	3,40	0,00	19,31	0,00	14,62	23,28	
Τμήμα 3 V85 =89.50km/h	2+600	3+200	2,45	3,40	0,00	13,97	28,00	21,20	23,03	324,70
	3+200	3+250	2,45	3,40	13,77	13,97	28,00	31,65	23,03	
	3+250	3+420	4,91	6,47	0,00	13,97	6,09	54,54	23,03	
	3+420	3+540	4,91	6,47	12,54	13,97	28,00	54,54	23,03	
	3+540	3+900	4,91	6,47	0,00	13,97	0,00	31,65	23,03	
Τμήμα 4 V85 =95.20km/h	3+900	4+120	2,45	6,47	0,00	4,33	28,00	12,32	25,35	157,31
	4+120	4+200	2,45	6,47	15,00	4,33	28,00	14,17	25,35	
	4+200	4+440	2,45	6,47	0,00	4,33	1,59	7,51	25,35	
	4+440	4+732	2,45	6,47	0,00	4,33	0,00	1,70	25,35	

Αξιολόγηση Παρόδιου Χώρου

Για να είναι πιο εποπτικό το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας που παρέχει κάθε οδικό τμήμα και ισόπεδος κόμβος, η οριζοντιογραφία της οδού χρωματίζεται ανάλογα με την επικινδυνότητα.

Χρωματική ιεράρχηση από το αυξημένο στο μειωμένο επίπεδο οδικής ασφάλειας

- Πράσινο Χρώμα
- Πορτοκαλί Χρώμα
- Ανοιχτό Μωβ Χρώμα
- Κόκκινο Χρώμα

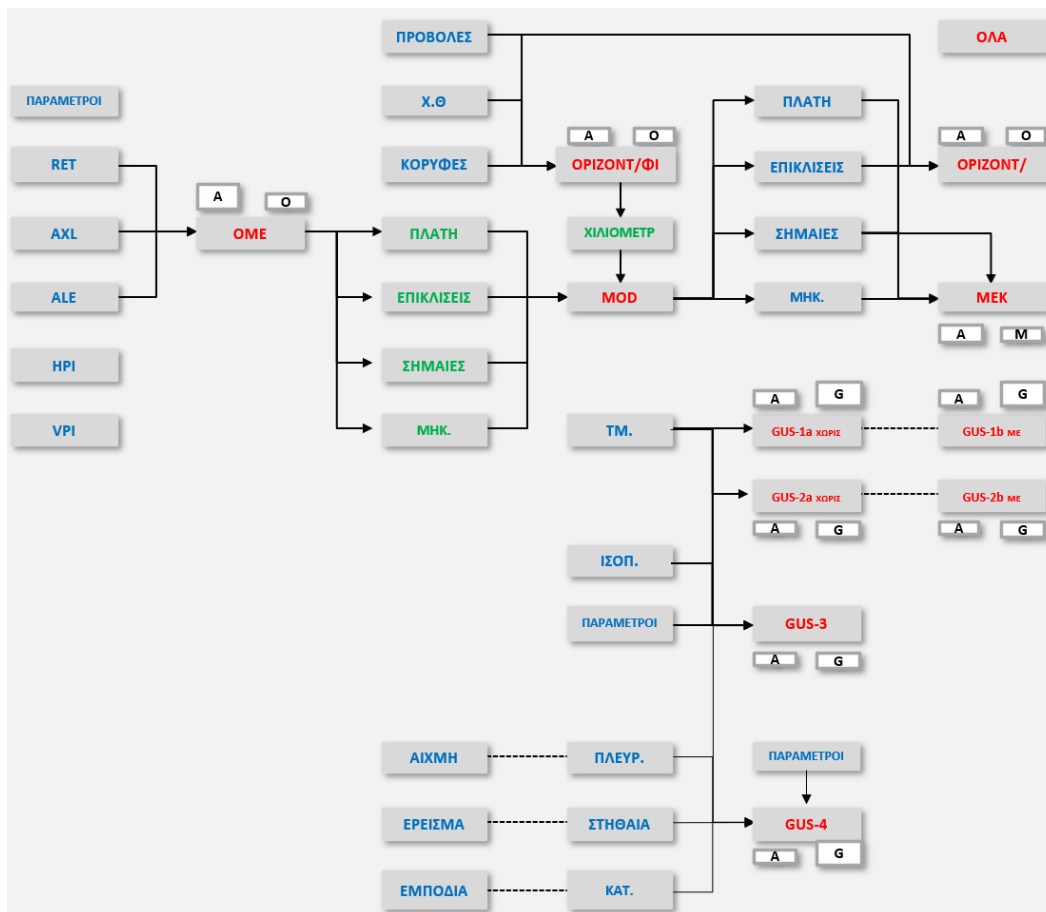




Λογισμικό FM19

Στο πλαίσιο επιτάχυνσης της διαδικασίας υπολογισμών, δημιουργήθηκε ένα νέο πρόσθετο (Add on) στο λογισμικό FM19 που αποτελεί ένα ιδιαίτερα εξελιγμένο πρόγραμμα γεωμετρικού σχεδιασμού οδών, το οποίο αξιοποιείται κυρίως στην εκπαιδευτική διαδικασία στο Ε.Μ.Π.

Η δημιουργία του συγκεκριμένου λογισμικού βοήθησε στη γρήγορη εφαρμογή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σε περισσότερα από 1.500 χιλιόμετρα οδικού δικτύου, μέσα από την οποία πραγματοποιήθηκαν πολλές βελτιωτικές παρεμβάσεις στις μαθηματικές σχέσεις προσδιορισμού του βαθμού επικινδυνότητας της κάθε παραμέτρου

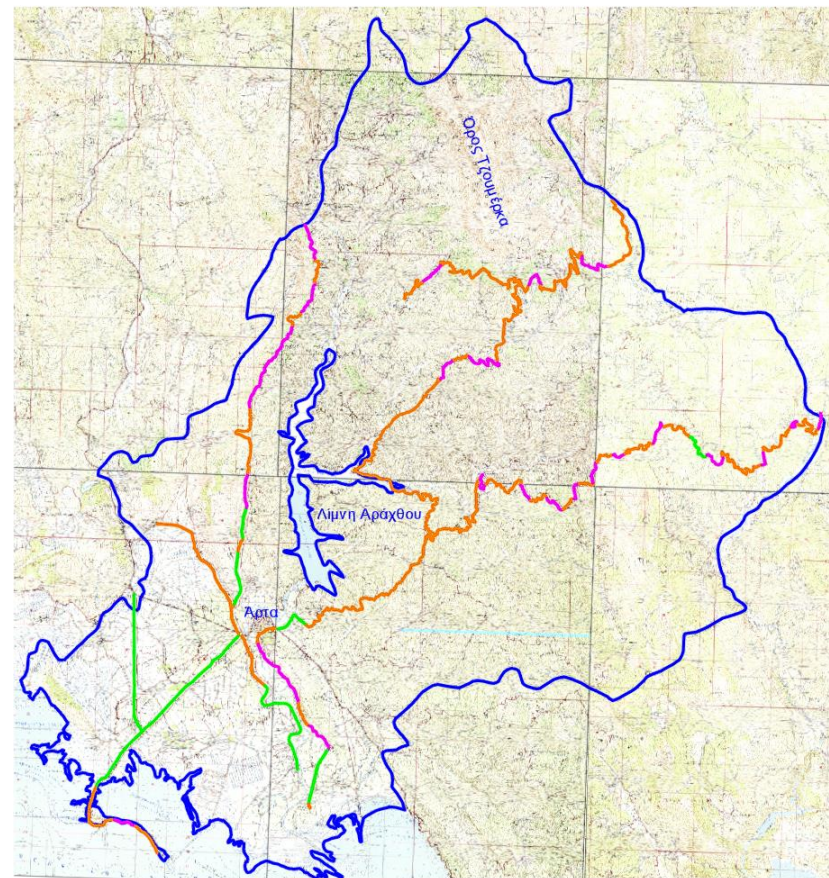








Λογισμικό FM19 – Χάρτες Επικινδυνότητας

Το λογισμικό έχει δομηθεί προκειμένου να έχει τη δυνατότητα είτε να αξιολογεί υφιστάμενο οδικό τμήμα, αξιοποιώντας στοιχεία από την τοπογραφική αποτύπωση, είτε να αξιολογεί κάποιο οδικό τμήμα που είναι σε στάδιο μελέτης.

Ανάλογα με την πληρότητα των στοιχείων που εισάγει ο χρήστης προκύπτουν και εξάγονται οι αντίστοιχες βαθμολογίες ενώ ταυτόχρονα εξάγεται σε αρχείο μορφής DXF (αρχείο Autocad) η χρωματική απεικόνιση των οδικών τμημάτων, των επικίνδυνων καμπυλών και ισόπεδων κόμβων. Με τα στοιχεία αυτά είναι δυνατή η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας για τα εξεταζόμενα οδικά δίκτυα.



	Αυξημένο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας
	Μέτριο επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας
	Χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας
	Πολύ χαμηλό επίπεδο παρεχόμενης οδικής ασφάλειας



Στόχος - Αποτελέσματα

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι η δημιουργία ενός πλαισίου επιθεώρησης οδικής ασφάλειας και η ανάδειξη μίας νέας μεθοδολογίας αναφορικά με την αξιολόγηση ενός υπεραστικού οδικού δικτύου δύο λωρίδων κυκλοφορίας, βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού και της ομοιογένειας που παρουσιάζουν, της διάταξης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ισόπεδων κόμβων, καθώς επίσης και των χαρακτηριστικών που διαθέτει ο πλευρικός παρόδιος χώρος. Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας επιτυγχάνονται:

- Η αξιολόγηση και ιεράρχηση των οδικών τμημάτων ως προς το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας.
- Η ανάδειξη των οδικών τμημάτων, των καμπυλών και ισόπεδων κόμβων που χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα μειωμένο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας με στόχο την κατάλληλη μέριμνα και πρόληψη.
- Η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας που μπορούν να αξιοποιηθούν ως εργαλείο προγραμματισμού επεμβάσεων από τις αρμόδιες Υπηρεσίες.



Συσχέτιση με υφιστάμενες πρακτικές

Συγκριτικά με τις υφιστάμενες μεθοδολογίες σημειώνονται τα ακόλουθα:

- Σε σχέση με την εφαρμογή του κριτηρίου II, η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιοποιεί πολύ περισσότερες παραμέτρους προσφέροντας πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στο τελικό αποτέλεσμα.
- Σε σχέση με τις μεθοδολογίες που αξιοποιούν τα λογισμικά IHSDM (HSM) και iRAP, EuroRap κτλ, το πλήθος των αξιοποιούμενων παραμέτρων είναι σε αρκετές περιπτώσεις παρεμφερές, αλλά η ακρίβεια προσέγγισης που προκύπτει από την εφαρμογή συγκεκριμένων μαθηματικών σχέσεων για κάθε μία από αυτές είναι σαφώς αναβαθμισμένη.
- Αναφορικά με τις αριθμητικές μεθόδους προσδιορισμού των οδικών ατυχημάτων αφορούν σε αμιγώς στατιστικές αναλύσεις που στηρίζονται σε διαθέσιμα στοιχεία ατυχημάτων, αξιοποιώντας σε κάποιες περιπτώσεις τους δείκτες CFM, με την ακρίβεια που αυτοί προσφέρουν. Η προτεινόμενη μεθοδολογία συνδέεται αφενός με δεδομένα που προκύπτουν από τις πλέον σύγχρονες οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού και αφετέρου αξιοποιεί τις πλέον καθοριστικές παραμέτρους που επηρεάζουν το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας. Οι μαθηματικές σχέσεις στηρίζονται σε αναλύσεις τεχνικών δεδομένων και δεν εξαρτώνται από τη χώρα στην οποία εφαρμόζονται.



Πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας

Συνοψίζοντας, η προτεινόμενη μεθοδολογία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

1. Αξιολογούνται περισσότερες από 20 παράμετροι που σχετίζονται με το γεωμετρικό σχεδιασμό της οδού και των ισόπεδων κόμβων και με τον εξοπλισμό που πλευρικού παρόδιου χώρου.
2. Η επιρροή κάθε παραμέτρου καθορίζεται από συγκεκριμένη συνεχή μαθηματική εξίσωση λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία που επηρεάζουν τη συγκεκριμένη παράμετρο.
3. Σε όλες τις περιπτώσεις λαμβάνεται ως βασική παράμετρος αξιολόγησης το μέγεθος της ταχύτητας, το οποίο αδιαμφισβήτητα έχει σημαντική επιρροή στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας. Σε όλες τις υφιστάμενες πρακτικές το μέγεθος της ταχύτητας, είτε δε λαμβάνεται καθόλου υπόψη, είτε λαμβάνεται αποσπασματικά η επιρροή του σε ελάχιστες παραμέτρους.
4. Ο βαθμός επικινδυνότητας δεν καθορίζεται βάσει τυπικών τιμών εφαρμογής που μπορεί να διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Λαμβάνει τιμές ανεξαρτήτως της χώρας στην οποία εφαρμόζεται.
5. Δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας κατάλληλων χαρτών επικινδυνότητας του οδικού δικτύου, των επικίνδυνων οριζοντιογραφικών καμπυλών και των κρίσιμων ισόπεδων κόμβων.
6. Προσδιορίζονται οι επιμέρους βαθμολογίες της κάθε παραμέτρου και αναδεικνύονται οι παράμετροι που οφείλονται για την αυξημένη βαθμολογία και το μειωμένο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας. Με τον τρόπο αυτό ιεραρχούνται οι απαιτούμενες βελτιωτικές παρεμβάσεις με στόχο την καλύτερη οργάνωση και τον ορθότερο χρονικό προγραμματισμό των απαιτούμενων έργων.



Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η προτεινόμενη μεθοδολογία δημιουργεί μία καινούρια βάση πάνω στην οποία μπορούν να ενσωματωθούν πολλά πρόσθετα ερευνητικά αντικείμενα. Συνοπτικά:

1. Να διευρυνθεί η βάση δεδομένων και να επιβεβαιωθούν/τροποποιηθούν οι προτεινόμενες μαθηματικές σχέσεις εφόσον διαπιστωθεί κάποια κρίσιμη απόκλιση.
2. Να αξιολογηθούν πρόσθετες παράμετροι που δεν εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή, όπως είναι το μήκος ορατότητας για προσπέραση (PSD), ο συντελεστής τριβής, η επιρροή των κυρτών καμπυλών της μηκοτομής στην προσέγγιση σε ισόπεδους κόμβους κλπ.
3. Να προσδιοριστούν αντίστοιχες βαθμολογικές κλίμακες για εφαρμογή διαφορετικής κρίσιμης ταχύτητας (εκτός της λειτουργικής), όπως για παράδειγμα το επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας, η ταχύτητα μελέτης ή το συνιστώμενο όριο ταχύτητας.
4. Να αξιολογηθεί η επιρροή της τριβής και της επιφανειακής κατάστασης του οδοστρώματος στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας, καθώς αποτελεί ένα δομικό στοιχείο της οδού που είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την ασφαλή κυκλοφορία των οχημάτων.
5. Να αναζητηθούν πρόσθετα αξιόπιστα στοιχεία καταγεγραμμένων οδικών ατυχημάτων προκειμένου να επικαιροποιηθεί/επιβεβαιωθεί το μοντέλο προσδιορισμού οδικών ατυχημάτων.



Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

6. Να αναζητηθούν αξιόπιστα στοιχεία καταγεγραμμένων ατυχημάτων σε ισόπεδους κόμβους προκειμένου να εξαχθεί μαθηματική σχέση που να προσδιορίζει τον αναμενόμενο αριθμό οδικών ατυχημάτων, συναρτήσει της βαθμολογίας που προκύπτει από την προτεινόμενη μεθοδολογία.
7. Να διερευνηθεί το μοντέλο ταχυτήτων που χρησιμοποιείται στις περιοχές των ισόπεδων κόμβων, καθώς εκτιμάται ότι διαφέρει από τις περιοχές με ελεύθερη ροή.
8. Να προσδιοριστεί η επιρροή που έχει στο μοντέλο της λειτουργικής ταχύτητας ο κυκλοφοριακός φόρτος που παρουσιάζει η οδός και κατ' επέκταση στον αριθμό των οδικών ατυχημάτων.
9. Να διερευνηθεί η επιρροή της σύνθεσης της κυκλοφορίας (ποσοστό δίκυκλων, Ι.Χ. και φορτηγών/λεωφορείων) στο παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας, καθώς τα τρία είδη οχημάτων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τόσο στον αριθμό των ατυχημάτων, όσο και στις συνέπειες που αυτά έχουν στους επιβαίνοντες.
10. Να καθοριστεί κατάλογος βελτιωτικών μέτρων και επεμβάσεων, ο οποίος και να κοστολογηθεί προκειμένου να συσχετιστεί η βελτίωση που επιτυγχάνεται στην αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας (όφελος), με το κόστος των βελτιωτικών παρεμβάσεων προκειμένου να αναδειχθούν αυτές που έχουν μεγάλη συνεισφορά με μικρό οικονομικό κόστος εφαρμογής.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών
και Μηχανικών Γεωπληροφορικής



Εργαστήριο
Συγκοινωνιακής
Τεχνικής (ΕΣΤε)

*Ευχαριστώ πολύ για
την προσοχή σας!*

