



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ
ΣΤΙΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ
ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΟΔΩΝ**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΡΟΥΣΙΑΜΑΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ. ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Α. ΚΑΛΤΣΟΥΝΗΣ, Φ. ΜΕΡΤΖΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2010

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ
ΣΤΙΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ
ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΟΔΩΝ**

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΡΟΥΣΙΑΜΑΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Γ. ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Α. ΚΑΛΤΣΟΥΝΗΣ, Φ. ΜΕΡΤΖΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες πρώτα στην οικογένειά μου για την απεριόριστη ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια στην εκπαιδευτική μου πορεία, πρώτα στο σχολείο και έπειτα στο πανεπιστήμιο, συμβάλλοντας καθοριστικά στην μόρφωση και κυρίως στην παιδεία μου.

Θεωρώ χρέος μου να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Κανελλαΐδη για την αμέριστη και αδιάκοπη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της σύνταξης της διπλωματικής εργασίας. Η εμπειρία την οποία απέκτησα στην επιστημονική μεθοδολογία και οι συμβουλές του τόσο σε επιστημονικό, όσο και σε προσωπικό επίπεδο είναι πράγματι πολύτιμες.

Δεν μπορώ παρά να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Καλτσούνη για την ουσιαστική βοήθειά τους κατά την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρέχοντάς μου πολλές φορές με ανιδιοτέλεια πολύ περισσότερα από αυτά που του είχα ζητήσει. Ευχαριστώ επίσης και τον κ. Μερτζάνη για την αστείρευτη υπομονή του και την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε, χωρίς την οποία η διπλωματική εργασία θα ήταν πάντα ελλιπής. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την κ. Λαΐου για την υπομονή, την καθοδήγηση και την βοήθεια που πάντα πρόθυμα μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συμφοιτητές μου για την υποστήριξη και τη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Τους οφείλω εν πολλοίς το γεγονός ότι τελειώνω με επιτυχία ένα σημαντικό κεφάλαιο της ζωής μου.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ ΣΤΙΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΟΔΩΝ

ΡΟΥΣΙΑΜΑΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Επιβλέπων: Γ. Κανελλαΐδης

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο τη σύγκριση και την κριτική ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης των απαιτήσεων ορατότητας για στάση στις γερμανικές, αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Για κάθε οδηγία παρουσιάζεται η εξέλιξη των τιμών των παραδοχών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, η εξέλιξη των τιμών του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση καθώς και η εξέλιξη των προβλέψεων ορατότητας στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής των οδών. Στη συνέχεια πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση της εξέλιξης των στοιχείων αυτών και τεκμηρίωση των αλλαγών οι οποίες επήλθαν, ενώ συγκρίνονται και οι προβλέψεις ορατότητας των σύγχρονων εκδόσεων των οδηγιών, οι οποίες και εφαρμόζονται σε υπό μελέτη οδικό τμήμα, με σκοπό τον έλεγχο της επάρκειας των μηκών ορατότητας για στάση.

Λέξεις κλειδιά

Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, καμπύλες οριζοντιογραφίας, καμπύλες μηκοτομής, πλευρική εκτροπή, διάγραμμα μηκών ορατότητας

STOPPING SIGHT DISTANCE IN GERMAN, AMERICAN AND AUSTRALIAN GUIDELINES FOR THE GEOMETRIC DESIGN OF ROADS

NIKOLAOS ROUSIAMANIS
Supervisor: G. Kanellaidis

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to review, analyse and compare the changes that have occurred over the years in stopping sight distance requirements according to German, American and Australian guidelines for the geometric design of roads. For each guideline, the changes in the values of the parameters affecting stopping sight distance, stopping sight distances themselves, as well as changes in the elements of horizontal and vertical alignment which are affected by stopping sight distance are presented. A comparative analysis of these changes follows, together with a comparison of the stopping sight distance requirements of the guidelines in force. These guidelines are applied in a road section, in order to examine the provided stopping sight distances according to each one of them and to explore their differences.

Keywords

Stopping sight distance, horizontal curves, vertical curves, middle ordinate, stopping sight distance diagram

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ασφάλεια της κυκλοφορίας είναι ένας από τους βασικούς στόχους κατά τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της εξασφάλισης επαρκών μήκων ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο των οδών. Αντικείμενο της παρούσας Δ.Ε. είναι η μελέτη της πρόσφατης διαχρονικής εξέλιξης των απαιτήσεων ορατότητας για στάση στις γερμανικές, αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών.

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση εξαρτάται από την ταχύτητα του οχήματος, την κατά μήκος κλίση της οδού, τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού και τον συντελεστή εφραπτομενικής τριβής, ο οποίος στις ισχύουσες εκδόσεις των κανονισμών έχει αντικατασταθεί από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση. Για την εξασφάλιση επαρκών μηκών ορατότητας για στάση στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής πρέπει επιπλέον να καθοριστεί το ύψος των οφθαλμών του οδηγού και το ύψος του εμποδίου. Μετά τον σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, η επάρκεια των διαθέσιμων από τη χάραξη μηκών ορατότητας για στάση ελέγχεται κυρίως μέσω του διαγράμματος των μηκών ορατότητας για στάση. Σε ότι αφορά τον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας, επαρκής ορατότητα μπορεί να εξασφαλιστεί επιπλέον και μέσω της πλευρικής εκτροπής.

Αρχικά, για κάθε οδηγία ξεχωριστά, παρουσιάζεται η πρόσφατη διαχρονική εξέλιξη των απαιτήσεων ορατότητας. Για κάθε έκδοση που εξετάστηκε, παρατίθενται συνοπτικά οι τιμές του χρόνου αντίδρασης, του συντελεστή εφραπτομενικής τριβής, του ύψους των οφθαλμών, του ύψους του εμποδίου και τελικά των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση. Παρατίθενται επίσης και οι τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής στις εκδόσεις των οδηγιών που εξετάστηκαν, τα οποία είναι και τα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού τα οποία επηρεάζονται λόγω απαιτήσεων ορατότητας.

Στη συνέχεια, για κάθε οδηγία ξεχωριστά πραγματοποιείται κριτική ανάλυση των αλλαγών των τιμών των στοιχείων αυτών. Αναλύονται και ποσοτικοποιούνται οι αλλαγές οι οποίες επήλθαν στις τιμές των παραδοχών και των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση καθώς και πώς οι μεταβολές αυτές επηρέασαν τις τιμές των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Παράλληλα γίνεται μια προσπάθεια οι αλλαγές αυτές να τεκμηριωθούν, μέσω της ανάλυσης της μεθοδολογίας και της εξέλιξης των επιστημονικών δεδομένων.

Έπειτα, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης των απαιτήσεων ορατότητας μεταξύ των τριών οδηγιών. Συγκρίνονται οι αλλαγές στην μεθοδολογία και τις παραδοχές για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση καθώς και η πορεία των τιμών των στοιχείων του γεωμετρικού

σχεδιασμού. Λαμβάνοντας υπόψη τα κοινά στοιχεία και τις διαφορές στην διαχρονική τους εξέλιξη, συγκρίνονται τέλος οι απαιτήσεις ορατότητας και οι τιμές των προαναφερθέντων στοιχείων όπως ορίζονται στις σύγχρονες εκδόσεις των οδηγιών.

Η σύγκριση των απαιτήσεων ορατότητας των σύγχρονων εκδόσεων των οδηγιών συμπληρώνεται με πρακτική εφαρμογή. Μετρώνται τα διαθέσιμα μήκη ορατότητας για στάση σε υπό μελέτη οδικό τμήμα και εξάγονται τρία διαγράμματα ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις ορατότητας των τριών οδηγιών, ώστε να αναδειχθούν στην πράξη οι διαφορές και τα κοινά τους σημεία.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε συμπεραίνεται ότι η εξέλιξη των απαιτήσεων ορατότητας ήταν αρκετά συντηρητική στις αμερικανικές οδηγίες, σε αντίθεση με τις γερμανικές όπου ο επαναπροσδιορισμός και η προσαρμογή των στοιχείων του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών ήταν συνεχής. Η αντικατάσταση του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής από την επιβράδυνση πέδησης και η τάση για κατηγοριοποίηση των τιμών που μπορούν να λαμβάνουν οι μεταβλητές και τα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού είναι ίσως οι σημαντικότερες εξελίξεις στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Εξίσου σημαντικές είναι και οι τιμές οι οποίες προβλέπονται στις αυστραλιανές οδηγίες για το απόλυτα ελάχιστο μήκος ορατότητας για στάση. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται με χρόνο αντίδρασης 2.0 sec και επιβράδυνση 4.5 m/sec^2 και είναι οι μικρότερες μεταξύ των οδηγιών, ενώ φαίνεται πως μπορούν να αποτελέσουν ένα κοινά αποδεκτό κατώτατο όριο για τις τιμές του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΟΨΗ – ABSTRACT	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Απαιτήσεις ορατότητας στις οδούς	1
1.2. Στοιχεία χάραξης τα οποία επηρεάζονται λόγω απαιτήσεων ορατότητας	2
1.3. Στόχοι -Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας	3
1.4. Δομή της διπλωματικής εργασίας	4
2. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	5
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2.2. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	6
2.2.1.Εισαγωγή	6
2.2.2.Παραδοχές – Μήκη ορατότητας για στάση	6
2.2.2.1. RAL 1973	6
2.2.2.2. RAS 1984	7
2.2.2.3. RAS 1995	9
2.2.2.4. RAA 2008	10
2.2.3.Στοιχεία οριζοντιογραφίας	12
2.2.3.1. RAL 1973	12
2.2.3.2. RAS 1984	12
2.2.3.3. RAS 1995	13
2.2.3.4. RAA 2008	13
2.2.4.Στοιχεία μηκοτομής	15
2.2.4.1. RAL 1973	15
2.2.4.2. RAS 1984	15
2.2.4.3. RAS 1995	17
2.2.4.4. RAA 2008	17
2.3. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	18
2.3.1.Εισαγωγή	18
2.3.2.Παραδοχές – Μήκη ορατότητας για στάση	18
2.3.2.1. AASHTO 1965	18
2.3.2.2. AASHTO 1984	19
2.3.2.3. AASHTO 1994	20
2.3.2.4. AASHTO 2001/2004	21
2.3.3.Στοιχεία οριζοντιογραφίας	22
2.3.3.1. AASHTO 1965	22
2.3.3.2. AASHTO 1984	23
2.3.3.3. AASHTO 1994	24
2.3.3.4. AASHTO 2001/2004	25
2.3.4.Στοιχεία μηκοτομής	25
2.3.4.1. AASHTO 1965	25
2.3.4.2. AASHTO 1984	27
2.3.4.3. AASHTO 1994	29
2.3.4.4. AASHTO 2001/2004	30

2.4. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	32
2.4.1. Εισαγωγή	32
2.4.2. Παραδοχές – Μήκη ορατότητας για στάση	32
2.4.2.1. AUSTROADS 2003	32
2.4.2.2. AUSTROADS 2009	33
2.4.3. Στοιχεία οριζοντιογραφίας	36
2.4.3.1. AUSTROADS 2003	36
2.4.3.2. AUSTROADS 2009	38
2.4.4. Στοιχεία μηκοτομής	38
2.4.4.1. AUSTROADS 2003	38
2.4.4.2. AUSTROADS 2009	42
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	44
3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	44
3.1.1. Η εξέλιξη των τιμών των παραδοχών και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση	44
3.1.2. Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας	52
3.1.3. Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της μηκοτομής	55
3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	58
3.2.1. Η εξέλιξη των τιμών των παραδοχών και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση	58
3.2.2. Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας	63
3.2.3. Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της μηκοτομής	66
3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	69
3.3.1. Η εξέλιξη των τιμών των παραδοχών και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση	69
3.3.2. Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας	73
3.3.3. Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της μηκοτομής	76
3.4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ	79
3.4.1. Εισαγωγή	79
3.4.2. Παραδοχές-Μήκη ορατότητας για στάση	79
3.4.3. Στοιχεία Οριζοντιογραφίας	87
3.4.4. Στοιχεία Μηκοτομής	90
4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΚΩΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ ΣΕ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ	94
4.1. Εισαγωγή	94
4.2. Στοιχεία χάραξης της οδού	94
4.3. Εφαρμογή του προγράμματος – Διαγράμματα ορατότητας	97
4.3.1. Το πρόγραμμα H8	97
4.3.2. Παραδοχές	97
4.3.3. Διαγράμματα Ορατότητας	98
4.4. Αποτελέσματα του προγράμματος – Συμπεράσματα	98
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	103
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAL 1973).....	6
Πίνακας 2.2: Οι τιμές του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (RAS 1984).....	7
Πίνακας 2.3: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAS 1984).....	8
Πίνακας 2.4: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAS 1995).....	10
Πίνακας 2.5: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAA 2008).....	11
Πίνακας 2.6: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας (RAS 1973).....	12
Πίνακας 2.7: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $q = 7\%$ (RAS 1984)	13
Πίνακας 2.8: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $q = 7\%$ (RAS 1995).....	13
Πίνακας 2.9: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $q = 6\%$ (RAA 2008).....	14
Πίνακας 2.10 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAL 1973).....	15
Πίνακας 2.11: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAS 1984).....	16
Πίνακας 2.12: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAS 1995).....	17
Πίνακας 2.13 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAA 2008).....	17
Πίνακας 2.14: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 1965).....	19
Πίνακας 2.15: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 1984).....	20
Πίνακας 2.16: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 1994).....	21

Πίνακας 2.17: Ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 2001-2004)	22
Πίνακας 2.18: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AASHTO 1965)	23
Πίνακας 2.19: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AASHTO 1984)	24
Πίνακας 2.20: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AASHTO 1994)	24
Πίνακας 2.21: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AASHTO 2001-2004)	25
Πίνακας 2.22: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1965)	26
Πίνακας 2.23: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1965)	27
Πίνακας 2.24: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1984)	28
Πίνακας 2.25: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1984)	28
Πίνακας 2.26: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1994)	29
Πίνακας 2.27: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1994)	29
Πίνακας 2.28: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 2001-2004)	30
Πίνακας 2.29: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 2001/2004)	30
Πίνακας 2.30: Οι τιμές του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2003)	33
Πίνακας 2.31: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AUSTROADS 2003)	33
Πίνακας 2.32: Οι τιμές του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2009)	34
Πίνακας 2.33: Οι τιμές του χρόνου αντίδρασης του οδηγού για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2009)	34
Πίνακας 2.34: Οι τιμές της εφαπτομενικής επιβράδυνσης για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2009)	35

Πίνακας 2.35: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AUSTROADS 2009).....	36
Πίνακας 2.36: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AUSTROADS 2003).....	37
Πίνακας 2.37: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AUSTROADS 2009).....	38
Πίνακας 2.38: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής, βασισμένα στα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση των αυτοκινήτων (AUSTROADS 2003).....	39
Πίνακας 2.39: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης (AUSTROADS 2003).....	39
Πίνακας 2.40 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο του μήκους ορατότητας των προβολέων (AUSTROADS 2003).....	41
Πίνακας 2.41: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης (AUSTROADS 2009).....	42
Πίνακας 2.42: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής, βασισμένα στα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση των αυτοκινήτων (AUSTROADS 2009).....	43
Πίνακας 2.43 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AUSTROADS 2009).....	43
Πίνακας 3.1: Απαιτούμενο μήκος πλευρικής εκτροπής για τις ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις γερμανικές οδηγίες.....	54
Πίνακας 4.1: Οι τιμές των μεταβλητών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση σύμφωνα με τις γερμανικές, αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες.....	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Παράδειγμα διαγράμματος μηκών ορατότητας.....	9
Σχήμα 2.2: Πλευρική εκτροπή α σε αριστερές στροφές οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα	14

Σχήμα 2.3: Υπολογισμός ακτίνας κυρτής καμπύλης μηκοτομής.....	16
Σχήμα 2.4: Υπολογισμός πλευρικής εκτροπής M	23
Σχήμα 2.5: Υπολογισμός της ελάχιστης επιτρεπόμενης καμπυλότητας K των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής ώστε να ικανοποιείται το κριτήριο της ορατότητας των προβολέων	40
Σχήμα 3.1: Η εξέλιξη των τιμών του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες.....	46
Σχήμα 3.2: Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφασπτομενικής τριβής f_T για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες.....	49
Σχήμα 3.3: Η εξέλιξη των τιμών του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες.....	51
Σχήμα 3.4: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις γερμανικές οδηγίες (για επίκλιση 6% ή 7%)	53
Σχήμα 3.5: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής στις γερμανικές οδηγίες.....	56
Σχήμα 3.6: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις γερμανικές οδηγίες.....	57
Σχήμα 3.7: Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφασπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις αμερικανικές οδηγίες.....	61
Σχήμα 3.8: Η εξέλιξη των τιμών του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις αμερικανικές οδηγίες.....	62
Σχήμα 3.9: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις αμερικανικές οδηγίες (για επίκλιση $e = 6\%$).....	64
Σχήμα 3.10: Η εξέλιξη του μήκους της απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής M στις αμερικανικές οδηγίες (για τις τιμές των ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$).....	65
Σχήμα 3.11: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής στις αμερικανικές οδηγίες	67
Σχήμα 3.12: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις αμερικανικές οδηγίες.....	68
Σχήμα 3.13: Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφασπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις αυστραλιανές οδηγίες.....	72
Σχήμα 3.14: Η εξέλιξη των τιμών του απόλυτα ελάχιστου μήκους ορατότητας για στάση στις αυστραλιανές οδηγίες.....	73

Σχήμα 3.15: Η εξέλιξη των τιμών των απόλυτα ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις αυστραλιανές οδηγίες (για επίκλιση $e = 6\%$).....	74
Σχήμα 3.16: Η εξέλιξη των τιμών της ελάχιστης απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής O στις αυστραλιανές οδηγίες (για την απόλυτα ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης που αντιστοιχεί σε επίκλιση $e = 6\%$ και το απόλυτα ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση).....	75
Σχήμα 3.17: Η εξέλιξη των τιμών των απόλυτα ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής στις αυστραλιανές οδηγίες.....	76
Σχήμα 3.18: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις αυστραλιανές οδηγίες.....	78
Σχήμα 3.19: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση σε στεγνά οδοστρώματα (RAA 2008).....	85
Σχήμα 3.20: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες για μηδενική κατά μήκος κλίση.....	86
Σχήμα 3.21: Ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες.....	89
Σχήμα 3.22: Ελάχιστες ακτίνες κυρτών καμπύλων μηκοτομής κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες.....	91
Σχήμα 3.23: Ελάχιστες ακτίνες κοίλης καμπύλης μηκοτομής κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες	93
Σχήμα 4.1: Η οριζοντιογραφία του οδικού τμήματος υπό μελέτη.....	95
Σχήμα 4.2: Η μηκοτομή του οδικού τμήματος υπό μελέτη.....	96
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των γερμανικών οδηγιών (RAS 1995).....	100
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των αμερικανικών οδηγιών (AASHTO 2004).....	101
Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των αυστραλιανών οδηγιών (AUSTROADS 2009).....	102

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΟΔΟΥΣ

Η ασφάλεια της κυκλοφορίας και η ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής είναι οι κύριοι στόχοι κατά τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Το βασικό στοιχείο για την επίτευξη των στόχων αυτών είναι η εξασφάλιση επαρκών μηκών ορατότητας. Οι απαιτήσεις ορατότητας στις οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών αναφέρονται στην ύπαρξη σε κάθε θέση της χάραξης επαρκούς ορατότητας και εποπτικότητας της οδού, προκειμένου οι οδηγοί να μπορούν να εκτελούν έγκαιρα και με ασφάλεια τους κατάλληλους ελιγμούς προς την κατεύθυνση που επιθυμούν ή για την αποφυγή κινδύνων. Η επάρκεια της ορατότητας στις οδούς επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της εξασφάλισης κάποιων ελάχιστων μηκών ορατότητας.

Σε όλες τις οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών διεθνώς, καθορίζονται δύο είδη μηκών ορατότητας τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση και το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση. Το πρώτο είναι καθοριστικής σημασίας για όλες τις κατηγορίες οδών με διαχωρισμένο ή μη οδόστρωμα, ενώ το δεύτερο αποτελεί επιπρόσθετο βασικό στοιχείο για τις συνθήκες ορατότητας σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας με ενιαίο οδόστρωμα.

Ως απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση καθορίζεται η διαδρομή η οποία απαιτείται, ώστε ο οδηγός να μπορεί με ασφάλεια να σταματήσει εγκαίρως το όχημά του μπροστά από ένα μη αναμενόμενο εμπόδιο το οποίο εμφανίζεται επί του οδοστρώματος. Το μήκος αυτό αποτελείται από δύο επιμέρους μήκη, το μήκος αντίδρασης και το μήκος τροχοπέδησης. Το μήκος αντίδρασης είναι το μήκος το οποίο διανύεται από την στιγμή που ο οδηγός αντιληφθεί το εμπόδιο μέχρι την στιγμή που θα αρχίσει την τροχοπέδηση, ενώ το μήκος τροχοπέδησης είναι το μήκος το οποίο διανύεται από την έναρξη της τροχοπέδησης μέχρι την ακινητοποίηση του οχήματος.

Το μήκος ορατότητας για προσπέραση είναι το μήκος το οποίο είναι απαραίτητο για την ασφαλή εκτέλεση της διαδικασίας της προσπέρασης ενός βραδυπορούντος οχήματος και συντίθεται από την διαδρομή του προσπερνώντος, την διαδρομή του αντιθέτως ερχόμενου οχήματος και μια απόσταση ασφαλείας μεταξύ αυτών.

Το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση θέτει επιπρόσθετους περιορισμούς μόνο σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας με ενιαίο οδόστρωμα, ενώ το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση επηρεάζει καθοριστικά τον γεωμετρικό σχεδιασμό όλων των οδών. Επιπλέον, το μήκος ορατότητας για στάση πρέπει να εξασφαλίζεται σε ολόκληρο το μήκος μιας οδού, ενώ το μήκος ορατότητας για προσπέραση σε συγκεκριμένο ποσοστό του συνολικού μήκους της οδού. **Ως εκ τούτου, η παρούσα Δ.Ε. αναφέρεται στο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση.**

Στον υπολογισμό των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση υπεισέρχονται έξι μεταβλητές, η ταχύτητα του οχήματος, η κατά μήκος κλίση της οδού, το ύψος των οφθαλμών του οδηγού, το ύψος του εμποδίου, ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού και ο συντελεστής εφασπτομενικής τριβής, ο οποίος στις τελευταίες εκδόσεις των οδηγιών που εξετάζονται στην παρούσα Δ.Ε. έχει αντικατασταθεί από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση. Διαχρονικά, οι τιμές του ύψους των οφθαλμών, του ύψους του εμποδίου, του χρόνου αντίδρασης και του συντελεστή εφασπτομενικής τριβής έχουν μεταβληθεί σημαντικά, καθώς οι εκτιμήσεις και η μεθοδολογία η οποία ακολουθείται μεταβάλλεται και προσαρμόζεται στα νέα επιστημονικά δεδομένα συνεχώς. Ακόμα και στις ισχύουσες εκδόσεις των διαφόρων οδηγιών για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών οι τιμές των μεταβλητών αυτών δεν είναι ίδιες, οδηγώντας σε διαφορετικά απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση και κατ'επέκταση σε διαφορετικές ελάχιστες απαιτούμενες τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδών.

1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΛΟΓΩ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση επηρεάζουν την οριζοντιογραφία και την μηκοτομή των οδών. Με τη σύνθεση αυτών και της διατομής της οδού παράγεται η τρισδιάστατη προοπτική εικόνα της οδού, η οποία με τη σειρά της υπόκειται σε περιορισμούς λόγω απαιτήσεων ορατότητας.

Το κρίσιμο στοιχείο της οριζοντιογραφίας το οποίο πρέπει να εξασφαλιστεί έναντι περιορισμένης ορατότητας είναι οι οριζοντιογραφικές καμπύλες. Στις δεξιές στροφές, η ορατότητα στην εξωτερική λωρίδα μπορεί να παρεμποδίζεται από εξωτερικά εμπόδια, όπως δέντρα ή πρηνή ορυγμάτων, ενώ στις αριστερές στροφές οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα το κεντρικό στηθαίο ασφαλείας μπορεί να παρεμποδίζει την ορατότητα της εσωτερικής λωρίδας. **Οι οδοί με διαχωρισμένο οδόστρωμα είναι εξ'ορισμού οδοί υψηλών ταχυτήτων και ως εκ τούτου οι τιμές των στοιχείων της οριζοντιογραφίας που θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες αφορούν σε ταχύτητες μελέτης άνω των 80 km/h.**

Το στοιχείο της μηκοτομής στο οποίο πρέπει να ελεγχθεί η επάρκεια της ορατότητας είναι οι κυρτές καμπύλες. Καθώς σε αυτές αποκρύπτεται ένα τμήμα της οδού που ακολουθεί, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το τμήμα της οδού το οποίο είναι ορατό μπροστά από τον οδηγό είναι μεγαλύτερο ή τουλάχιστον ίσο με τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας. Οι κοίλες καμπύλες αντίθετα είναι στοιχείο της μηκοτομής στο οποίο κατά τη διάρκεια της ημέρας παρέχεται επαρκής ορατότητα και εποπτικότητα της οδού. Εξαίρεση αποτελούν οι κοίλες καμπύλες στις οποίες υπάρχει άνω διάβαση, οπότε και πρέπει να ελεγχθεί το κατά πόσο το τεχνικό έργο παρεμποδίζει την ορατότητα. Κατά την νυχτερινή οδήγηση ωστόσο, στις κοίλες καμπύλες όπου δεν υπάρχει φωτισμός, η ορατότητα περιορίζεται στο παρεχόμενο από τους προβολείς των οχημάτων μήκος ορατότητας. Ως εκ τούτου, ο γεωμετρικός

σχεδιασμός των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής πρέπει να προσαρμόζεται σε αυτόν τον περιορισμό.

1.3 ΣΤΟΧΟΙ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται και συγκρίνεται η διαχρονική εξέλιξη της απαιτούμενης ορατότητας για στάση στις γερμανικές, αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Οι γερμανικές και οι αμερικανικές οδηγίες είναι από τις σημαντικότερες σε διεθνές επίπεδο, με σημαντική επιρροή και πλούσιο επιστημονικό έργο στον τομέα του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, ενώ η έκδοση των αυστραλιανών οδηγιών του 2009 είναι η πλέον σύγχρονη, περιέχοντας αρκετές και αξιοσημείωτες καινοτομίες, οι οποίες θα αναλυθούν στις ενότητες που ακολουθούν. Εξετάζονται οι προβλέψεις ορατότητας τεσσάρων εκδόσεων των γερμανικών οδηγιών, από το 1973 έως το 2008, πέντε εκδόσεων των αμερικανικών οδηγιών, από το 1965 έως το 2004 και των δύο τελευταίων εκδόσεων των αυστραλιανών οδηγιών, του 2003 και του 2009.

Αρχικά, για την κάθε οδηγία ξεχωριστά, γίνεται μία πρώτη παράθεση της διαχρονικής εξέλιξης των απαιτήσεων ορατότητας, η οποία αναπτύσσεται σε τρία τμήματα. Στο πρώτο τμήμα παρουσιάζεται η εξέλιξη των παραδοχών και των σχέσεων υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, καθώς και οι τιμές οι οποίες προβλέπονταν στην εκάστοτε έκδοση των οδηγιών. Στο δεύτερο τμήμα παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της επιρροής στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας, ενώ στο τρίτο τμήμα παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της επιρροής στον γεωμετρικό σχεδιασμό της μηκοτομής. Επιδιώκεται με αυτόν τον τρόπο να δοθεί μια πρώτη εικόνα για την πορεία και την μεταβολή των προβλέψεων, των παραδοχών, της μεθοδολογίας και των τιμών των στοιχείων τα οποία σχετίζονται με την ορατότητα για στάση στις οδούς κατά τα τελευταία σαράντα περίπου έτη.

Στη συνέχεια, για κάθε οδηγία ξεχωριστά, η εξέλιξη και η μεταβολή των στοιχείων που παρουσιάστηκε αναλύεται, ποσοτικοποιείται και, όπου αυτό είναι δυνατό, αναζητούνται και επεξηγούνται τα αίτια των μεταβολών αυτών. Παράλληλα αναλύεται η επίδραση την οποία είχε η μεταβολή των τιμών των παραδοχών στις τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση και πώς αυτή η μεταβολή επηρέασε τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Μέσω αυτής της διερεύνησης γίνεται μια προσπάθεια να επεξηγηθούν και να τεκμηριωθούν οι αλλαγές οι οποίες επήλθαν στις απαιτήσεις ορατότητας με τις διαδοχικές εκδόσεις της κάθε οδηγίας.

Έπειτα γίνεται σύγκριση μεταξύ των οδηγιών ως προς τη διαχρονική εξέλιξη των παραδοχών, των ελάχιστων τιμών και των απαιτήσεων γενικότερα όπως ορίζονται σε κάθε οδηγία ξεχωριστά. Σε αυτό το τελικό στάδιο της σύγκρισης των οδηγιών μπορεί να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, κυρίως για την επίδραση των διαφορών στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών.

Η σύγκριση των απαιτήσεων ορατότητας των σύγχρονων εκδόσεων των οδηγιών συμπληρώνεται με πρακτική εφαρμογή. Σε υπό μελέτη οδικό τμήμα, μετρώνται τα διαθέσιμα και τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των τριών οδηγιών. Εξάγονται τα διαγράμματα των μηκών ορατότητας για στάση τα οποία συγκρίνονται και αναλύονται, με σκοπό να αναδειχθούν στην πράξη οι διαφορές των απαιτήσεων ορατότητας των τριών οδηγιών.

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα Δ.Ε. περιέχει έξι κεφάλαια, την εισαγωγή, την εξέλιξη των προβλέψεων των γερμανικών, αμερικανικών και αυστραλιανών οδηγιών, την συγκριτική ανάλυση των προβλέψεων των τριών οδηγιών, τον έλεγχο της επάρκειας των μηκών ορατότητας για στάση ενός οδικού τμήματος με βάση τις προβλέψεις των σύγχρονων οδηγιών, τα συμπεράσματα και την βιβλιογραφία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εξέλιξης των οδηγιών, παρουσιάζεται συνοπτικά η διαχρονική εξέλιξη των παραδοχών, των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση και των απαιτήσεων ορατότητας στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, ξεχωριστά για κάθε οδηγία.

Στο τρίτο κεφάλαιο της συγκριτικής ανάλυσης των προβλέψεων ορατότητας, αναλύονται και ποσοτικοποιούνται για κάθε οδηγία ξεχωριστά οι αλλαγές οι οποίες επήλθαν στις παραδοχές, τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση και τις απαιτήσεις ορατότητας στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Στη συνέχεια συγκρίνεται τόσο η διαχρονική εξέλιξη των απαιτήσεων ορατότητας μεταξύ των τριών οδηγιών, όσο και οι προβλέψεις ορατότητας στις ισχύουσες εκδόσεις των οδηγιών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μετρώνται τα διαθέσιμα μήκη ορατότητας για στάση σε υπό μελέτη οδικό τμήμα με βάση τις προβλέψεις των σύγχρονων εκδόσεων των τριών οδηγιών, μέσω προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Εξάγονται τα διαγράμματα των μηκών ορατότητας για στάση και ελέγχεται το κατά πόσο τα διαθέσιμα από την χάραξη μήκη ορατότητας για στάση είναι σύμφωνα με τις προβλέψεις ορατότητας των τριών οδηγιών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο των συμπερασμάτων γίνεται μία σύντομη ανασκόπηση της Δ.Ε. και επισημαίνονται τα σημαντικότερα σημεία της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, ενώ στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

2. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βάση των προβλέψεων ορατότητας στις οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών είναι η εξασφάλιση σε ολόκληρο το μήκος των οδών επαρκούς μήκους ορατότητας για στάση. Πέραν της ταχύτητας και της κατά μήκος κλίσης, για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές για τις τιμές που θα τεθούν στις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται. Οι τιμές οι οποίες ορίζονται για το ύψος των οφθαλμών του οδηγού, το ύψος του εμποδίου, τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού και τον συντελεστή εφαστομενικής τριβής (ο οποίος έχει αντικατασταθεί από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση) δεν είναι κοινές στις διάφορες οδηγίες και επιπλέον διαχρονικά έχουν αλλάξει σημαντικά.

Με τον καθορισμό των τιμών των μεταβλητών υπολογίζονται τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση. Ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε τα μήκη ορατότητας που υπολογίστηκαν να ισχύουν σε ολόκληρο το μήκος της υπό σχεδίαση οδού. Οι καμπύλες της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής είναι τα κρίσιμα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού στα οποία πρέπει να μην παρεμποδίζεται η ορατότητα. Από το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση καθορίζονται ελάχιστες τιμές για τις ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται για κάθε μία από τις οδηγίες που εξετάζονται η διαχρονική εξέλιξη των τιμών των μεταβλητών για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση, οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του, καθώς και τα μήκη ορατότητας για στάση τα οποία υπολογίζονται.

Πέραν των περιορισμών οι οποίοι τίθενται κατά τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, στις οδηγίες υπάρχουν και μαθηματικά και γεωμετρικά πρότυπα ελέγχου της επάρκειας της ορατότητας σε ήδη σχεδιασμένα οδικά τμήματα, όπως η πλευρική εκτροπή και τα διαγράμματα ορατότητας. Έτσι, πέραν των στοιχείων τα οποία προαναφέρθηκαν, στα επόμενα υποκεφάλαια θα αναλυθούν τα συγκεκριμένα εργαλεία ελέγχου της ορατότητας και θα παρουσιαστεί η διαχρονική εξέλιξή τους.

2.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ

2.2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται αναλυτικά οι προβλέψεις τεσσάρων εκδόσεων των γερμανικών οδηγιών της FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen) από το 1973 έως το 2008. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των παραδοχών και των σχέσεων υπολογισμού των μηκών ορατότητας για στάση, καθώς και η εξέλιξη των προβλέψεων ορατότητας στην οριζοντιογραφία και την μηκοτομή των οδών.

2.2.2 Παραδοχές – Σχέσεις υπολογισμού απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση

2.2.2.1 RAL 1973

Στις οδηγίες του 1973 (11) για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση S_h , το ύψος των οφθαλμών του οδηγού λαμβάνεται 1.00 m ενώ το ύψος του εμποδίου διαφοροποιείται ανάλογα με την ταχύτητα μελέτης και λαμβάνει τιμή $h = 0$ mm για ταχύτητα μελέτης $V_e \leq 80$ km/h, $h = 25$ mm για $V_e = 100$ km/h και 50 mm για $V_e = 120-140$ km/h. Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού t_R λαμβάνεται 2 sec. Με βάση αυτές τις παραδοχές συντάχθηκε διάγραμμα υπολογισμού των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση, χαρακτηριστικές τιμές του οποίου παρατίθενται στον Πίνακα 2.1 μαζί με τις τιμές οι οποίες τίθενται στον συντελεστή εφαπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό τους.

Πίνακας 2.1: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAL 1973).

Ταχύτητα μελέτης V_e (km/h)	40	60	80	100	120	140
Συντελεστής εφαπτομενικής τριβής f (στρογγυλοποιημένες τιμές)	0.49	0.39	0.36	0.30	0.27	0.26
Μήκος ορατότητας για στάση (m)	35	70	115	185	275	380

Μολονότι δεν συνοδεύονται από κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία, στις οδηγίες του 1973 δίνονται κάποιες γενικές κατευθύνσεις για τον έλεγχο επάρκειας της ορατότητας για υφιστάμενα ή υπό σχεδιασμό οδικά τμήματα. Με βάση το γενικό πλαίσιο της καλής εποπτείας και της μονοσήμαντης και έγκαιρης αντίληψης της οδού από τον οδηγό, απαιτείται καταρχήν η επάρκεια των μηκών ορατότητας για στάση χωρίς περιορισμούς, σε όλες τις οδούς και στο σύνολο του μήκους τους. Μείωση των μηκών ορατότητας πρέπει να γίνεται κατ'εξαίρεση και βαθμιαία, ενώ αύξηση αυτών

επιτρέπεται να γίνεται και απότομα. Σε αυτήν την περίπτωση ωστόσο πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε η αύξηση της ορατότητας να μην επιφέρει ανεπιθύμητη αύξηση της ταχύτητας των οδηγών. Τέλος αναφέρεται ότι η παρόδια δενδροφύτευση πρέπει να είναι αρκετά αραιή, ώστε ακόμα κι αν βρίσκεται εντός του πεδίου ορατότητας να μην αποτελεί σημαντικό εμπόδιο.

2.2.2.2 RAS 1984

Στις οδηγίες του 1984 (12) το μήκος ορατότητας για στάση εξαρτάται πλέον από την λειτουργική ταχύτητα V_{85} και όχι από την ταχύτητα μελέτης V_e , η οποία και υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{85} = V_e + 10 \text{ km/h} \quad \text{για} \quad V_e \geq 100 \text{ km/h}$$

$$V_{85} = V_e + 20 \text{ km/h} \quad \text{για} \quad V_e < 100 \text{ km/h}$$

Το ύψος των οφθαλμών λαμβάνεται και εδώ $h=1.00 \text{ m}$, όμως διαφοροποιείται σημαντικά το ύψος του εμποδίου όπως αναλύεται στον Πίνακα 2 σε συνάρτηση με την V_{85} . Ο χρόνος αντίδρασης t_R του οδηγού λαμβάνεται 2.0 sec , ενώ οι τιμές τις οποίες λαμβάνει ο συντελεστής εφαπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση για ενδεικτικές ταχύτητες μελέτης εμπεριέχονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Οι τιμές του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (RAS 1984).

V_{85} (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
h (m)	0.00	0.00	0.00	0.05	0.15	0.25	0.35	0.40	0.45	0.45

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, οι δύο συνιστώσες του μήκους ορατότητας για στάση S_h , το διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης S_1 και του καθαρού μήκους τροχοπέδησης S_2 υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\bullet \quad S_h = S_1 + S_2 \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\bullet \quad S_1 = \frac{V_0}{3.6} * t_R \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\bullet \quad S_2 = \frac{1}{3.6^2 * g} * \int_{V_r}^{V_2} \frac{V}{f_t(V) + \frac{s}{100} + \frac{W_L}{G}} dV \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

ολοκλήρωμα το οποίο μετασχηματίζεται ως:

$$S_2 = 157.6 * \ln \left(\frac{0.250 * \left(\frac{V}{100} \right)^2 - 0.640 * \frac{V}{100} + 0.615 + \frac{s}{100}}{0.615 + \frac{s}{100}} \right) + \frac{202}{\sqrt{0.205 + \frac{s}{100}}} * \arctan \left(\frac{\frac{V}{100} * \sqrt{0.205 + \frac{s}{100}}}{1.229 + 2 * \frac{s}{100} - 0.640 * \frac{V}{100}} \right)$$

όπου:

S_h = μήκος ορατότητας για στάση, m

S_1 = διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης, m

S_2 = διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια της τροχοπέδησης, m

V_0 = ταχύτητα κατά την έναρξη της τροχοπέδησης, km/h

t_R = χρόνος αντίδρασης οδηγού, sec

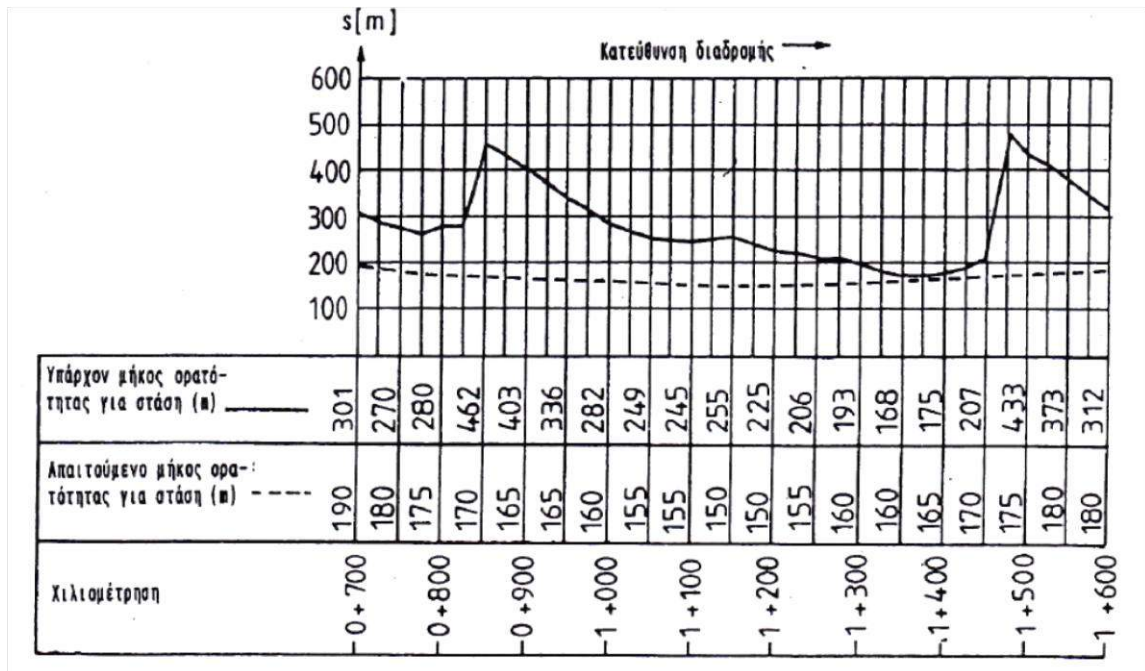
s = κατά μήκος κλίση (+ για ανωφέρεια, - για κατωφέρεια), %

Με τα αποτελέσματα των σχέσεων αυτών συντάχθηκε νέο διάγραμμα υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση σε συνάρτηση με την V_{85} και την κατά μήκος κλίση, δίνοντας ωστόσο τιμές πρακτικώς ίδιες με αυτές των οδηγιών του 1973 (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAS 1984).

Λειτουργική ταχύτητα V_{85} (km/h)	60	70	80	90	100	120
Συντελεστής εφαπτομενικής τριβής f (στρογγυλοποιημένες τιμές)	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16
Μήκος ορατότητας για στάση (m)	69	91	118	150	188	280

Τηρώντας το γενικό πλαίσιο των κατευθύνσεων των προηγούμενων οδηγιών σε ότι αφορά την ορατότητα, στις οδηγίες του 1984 πραγματοποιείται ένα βήμα περαιτέρω και εισάγεται ως μεθοδολογία για τον έλεγχο της επάρκειας των μηκών ορατότητας για στάση και προσπέραση σε υφιστάμενα ή υπό σχεδιασμό οδικά τμήματα το διάγραμμα μηκών ορατότητας, παράδειγμα του οποίου παρατίθεται στο Σχήμα 2.1. Σύμφωνα με αυτό, σε κάθε σημείο της οδού προσδιορίζεται το απαιτούμενο μήκος ορατότητας και το διαθέσιμο από την χάραξη μήκος ορατότητας. Είναι προφανές, ότι η καμπύλη των διαθέσιμων μηκών επιδιώκεται να είναι σταθερά πάνω από την καμπύλη των ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ή τουλάχιστον επαπτόμενη σε αυτή.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα διαγράμματος μηκών ορατότητας.

2.2.2.3 RAS 1995

Στις οδηγίες του 1995 (13) δεν εμπεριέχονται σημαντικές αλλαγές στις παραδοχές και στη σχέση υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση, μειώνονται όμως σημαντικά τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση, ειδικά για υψηλές ταχύτητες μελέτης. Οι σχέσεις υπολογισμού των μηκών ορατότητας για στάση διαμορφώνονται πλέον ως εξής:

$$\bullet \quad S_h = S_1 + S_2 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\bullet \quad S_1 = \frac{V_0}{3.6} * t_R \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\bullet \quad S_2 = \frac{1}{3.6^2 * g} * \int_{V_1}^{V_2} \frac{V}{f_{t(V) + \frac{s}{100} + \frac{W_L}{G}}} dV \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

ολοκλήρωμα το οποίο μετασχηματίζεται ως:

$$S_2 = 147.8 * \ln \left(\frac{0.266 * \left(\frac{V}{100} \right)^2 - 0.72 * \frac{V}{100} + 0.708 + \frac{s}{100}}{0.708 + \frac{s}{100}} \right) + \frac{213}{\sqrt{0.233 + \frac{1.064 * s}{100}}} * \arctan \left(\frac{\frac{V}{100} * \sqrt{0.233 + \frac{1.064 * s}{100}}}{1.42 + 2 * \frac{s}{100} - 0.72 * \frac{V}{100}} \right)$$

όπου :

S_h = μήκος ορατότητας για στάση, m

S_1 = διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης, m

S_2 = διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια της τροχοπέδησης, m

V_0 = ταχύτητα κατά την έναρξη της τροχοπέδησης, km/h

t_R = χρόνος αντίδρασης οδηγού, 2 sec

s = κατά μήκος κλίση (+ για ανωφέρεια, - για κατωφέρεια), %

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s²)

f_T = συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

Οι τιμές του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρατίθενται στον Πίνακα 2.4 μαζί με τις αντίστοιχες τιμές που τίθενται στον συντελεστή εφαπτομενικής τριβής. Σημειώνεται ότι ο χρόνος αντιδρασης του οδηγού t_R παρέμεινε 2.0 sec, ενώ και το ύψος του εμποδίου παρέμεινε αμετάβλητο όπως παρατίθεται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.4: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAS 1995).

Λειτουργική ταχύτητα V_{85} (km/h)	50	60	70	80	90	100	120
Συντελεστής εφαπτομενικής τριβής f (στρογγυλοποιημένες τιμές)	0.41	0.36	0.32	0.29	0.25	0.23	0.19
Μήκος ορατότητας για στάση (m)	50	65	85	110	140	170	250

2.2.2.4 RAA 2008

Η τελευταία και ισχύουσα έκδοση των γερμανικών οδηγιών (14) που εξετάστηκε αφορά αποκλειστικά σε αυτοκινητόδρομους, οι παραδοχές ωστόσο και οι σχέσεις υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση εφαρμόζονται σε όλους τους τύπους των οδών. Οι σχέσεις υπολογισμού του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση απλοποιούνται σημαντικά και διαμορφώνονται ως εξής:

$$\bullet \quad S_h = S_1 + S_2 \dots\dots\dots (2.1.7)$$

$$\bullet \quad S_1 = \frac{V}{3.6} * t_R \dots\dots\dots (2.1.8)$$

$$\bullet \quad S_2 = \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2 * g * \left(\frac{s}{100} + f_t\right)} = \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2 * \left(a + g * \frac{s}{100}\right)} \dots\dots\dots (2.1.9)$$

όπου:

S_h = μήκος ορατότητας για στάση, m

S_1 = διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης, m

S_2 = διανυόμενο μήκος κατά τη διάρκεια της τροχοπέδησης, m

V = ταχύτητα κατά την έναρξη της τροχοπέδησης, km/h

t_R = χρόνος αντίδρασης οδηγού, 2 sec

g = επιτάχυνση της βαρύτητας, 9.81 m/s^2

a = επιβράδυνση, 3.7 m/s^2

f_T = συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής

Το ύψος των οφθαλμών παραμένει στο ένα μέτρο ενώ το ύψος του εμποδίου αυξάνεται στα 500 mm. Οι τιμές του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρατίθενται στον Πίνακα 2.5 σε συνάρτηση με την ταχύτητα V και την κατά μήκος κλίση s . Ο συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής f_T στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση αντικαθίσταται από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση, η οποία λαμβάνεται ίση με 3.7 m/s^2 για κάθε ταχύτητα μελέτης.

Πίνακας 2.5: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (RAA 2008).

V (km/h)	s (%)										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
30	27	27	27	27	26	26	26	26	25	25	25
40	41	41	40	40	39	39	38	38	38	37	37
50	58	57	56	55	55	54	53	53	52	51	51
60	77	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66
70	98	96	94	93	91	90	89	87	86	85	84
80	121	119	117	115	113	111	109	108	106	105	103
90	147	144	142	139	137	134	132	130	128	126	125
100	176	172	169	166	163	160	157	155	152	150	148
110	207	202	198	194	191	187	184	181	178	175	173
120	240	235	230	225	221	217	213	209	206	202	199
130	275	269	264	258	253	248	244	240	235	232	228

2.2.3 Στοιχεία οριζοντιογραφίας

2.2.3.1 RAL 1973

Στην έκδοση των οδηγιών του 1973 (11) δεν υπάρχουν σαφείς περιορισμοί στην οριζοντιογραφική χάραξη σε ότι αφορά απαιτήσεις ορατότητας. Αναφέρεται γενικά ότι πρέπει να απομακρύνονται όλα τα εμπόδια από το πεδίο ορατότητας, ενώ επιτρέπεται η αραιή διάταξη της παρόδιας φύτευσης όταν αυτή γίνεται για λόγους διαμόρφωσης του χώρου κυκλοφορίας. Στον Πίνακα 2.6 παρατίθενται ενδεικτικά μόνο οι ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας, καθώς αυτές έχουν διαμορφωθεί από τους νόμους της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων, σε συνάρτηση με την ταχύτητα, τον συντελεστή πλευρικής τριβής f_R και την επίκλιση, και όχι λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς ορατότητας. Συνιστάται ωστόσο σε οδούς με διαχωρισμένο οδόστρωμα οι καμπύλες της οριζοντιογραφίας να σχεδιάζονται με μεγαλύτερες ακτίνες ή να διαπλατύνεται η μεσαία νησίδα για λόγους επαρκέστερης ορατότητας της εσωτερικής λωρίδας, χωρίς περαιτέρω λεπτομερέστερη υπόδειξη.

Πίνακας 2.6: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας (RAS 1973).

V_e (km/h)	80	100	120	140
R_{min} (m)	350	600	1000	1400

2.2.3.2 RAS 1984

Και στις οδηγίες του 1984 (12) δεν τίθενται συγκεκριμένες απαιτήσεις ορατότητας στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας. Αναφέρεται ωστόσο, πως λεπτομερέστερη εξέταση και ανάλυση της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων, καθώς και το μεγάλο περιθώριο ασφαλείας των προηγούμενων οδηγιών, επέτρεψε την σημαντική μείωση των ελάχιστων επιτρεπόμενων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας. Επισημαίνεται ξανά, ότι οι τιμές αυτές πρέπει να είναι μεγαλύτερες σε οδούς με διαχωρισμένο οδόστρωμα ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα στην αριστερή λωρίδα σε αριστερές στροφές, χωρίς όμως να υπάρχει συγκεκριμένο πλαίσιο οδηγιών για τον σχεδιασμό των τμημάτων αυτών. Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρατίθενται ενδεικτικά στον Πίνακα 2.7 και αφορούν σε υπεραστικές οδούς ταχείας κυκλοφορίας στην μέγιστη επιτρεπόμενη επίκλιση $q=7\%$.

Πίνακας 2.7: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $q=7\%$ (RAS 1984).

V_{85} (km/h)	80	90	100	120
$R_{\min}$ (m)	280	380	500	800

2.2.3.3 RAS 1995

Οι ελάχιστες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας μειώνονται ακόμη περισσότερο με τις οδηγίες του 1995 (13), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.8. Αναγνωρίζεται ωστόσο πως με χρήση των ελάχιστων αυτών τιμών δεν εξασφαλίζεται απαραίτητα επαρκής ορατότητα στα οχήματα τα οποία κινούνται στην εσωτερική (αριστερή) λωρίδα κυκλοφορίας οδών με κεντρική νησίδα εάν τα στηθαία ασφαλείας ή η φύτευση ξεπερνά σε ύψος τα 0.90 m. Κάνοντας την παραδοχή πως η θέση του οφθαλμού του οδηγού και η θέση του εμποδίου βρίσκονται σε απόσταση $b=1.80$ m από την αριστερή οριογραμμή της αριστερής λωρίδας κυκλοφορίας και περίπου στο μέσο αυτής (Σχήμα 2.2), υπολογίζεται από νομογράφημα η απόσταση a η οποία πρέπει να υπάρχει μεταξύ της μεσαίας νησίδας και της εσωτερικής οριογραμμής της οδού σε συνάρτηση με την λειτουργική ταχύτητα V_{85} , την κατά μήκος κλίση s και την ακτίνα R της καμπύλης.

Πίνακας 2.8: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $q=7\%$ (RAS 1995).

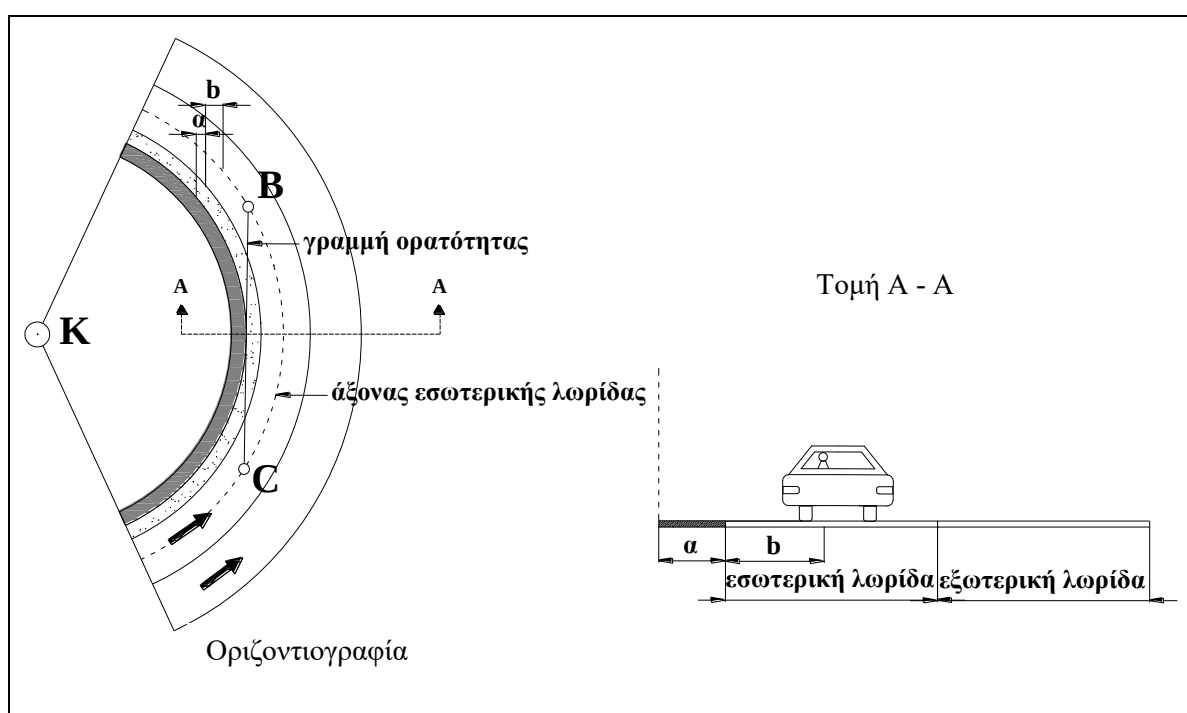
V_{85} (km/h)	80	90	100	120
$R_{\min}$ (m)	250	340	450	720

2.2.3.4 RAA 2008

Στην ισχύουσα έκδοση των οδηγιών του 2008 (14) δεν περιέχονται αλλαγές στις απαιτήσεις ορατότητας στην οριζοντιογραφία. Οι ελάχιστες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρουσιάζουν μικρή αύξηση (Πίνακας 2.9), η δε τιμή για ταχύτητα μελέτης 120 km/h παραμένει στα 720 m, αυξανόμενη όμως στα 900 m για αυτοκινητόδρομους μεγάλης απόστασης και στα 1300 m για αυτοκινητόδρομους χωρίς περιορισμό ταχύτητας. Διατηρείται επίσης το γεωμετρικό πρότυπο και το νομογράφημα για τον υπολογισμό της απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής το οποίο εισήχθη στην προηγούμενη έκδοση των οδηγιών (13).

Πίνακας 2.9: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $q=6\%$ (RAA 2008).

V_{85} (km/h)	80	90	100	120	130
R_{min} (m)	280	370	470	720	900



Σχήμα 2.2: Πλευρική εκτροπή α σε αριστερές στροφές οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα,

όπου :

C: Θέση οφθαλμού οδηγού

B: Πέρας κυκλοφοριακής συμφόρησης

α: απαιτούμενη πλευρική εκτροπή μεταξύ του κεντρικού στηθαίου και της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένης της λωρίδας καθοδήγησης, m

b: απόσταση του οφθαλμού του οδηγού και του εμποδίου από την αριστερή οριογραμμή της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας (παραδοχή $b = 1.80$ m)

2.2.4 Στοιχεία μηκοτομής

2.2.4.1 RAL 1973

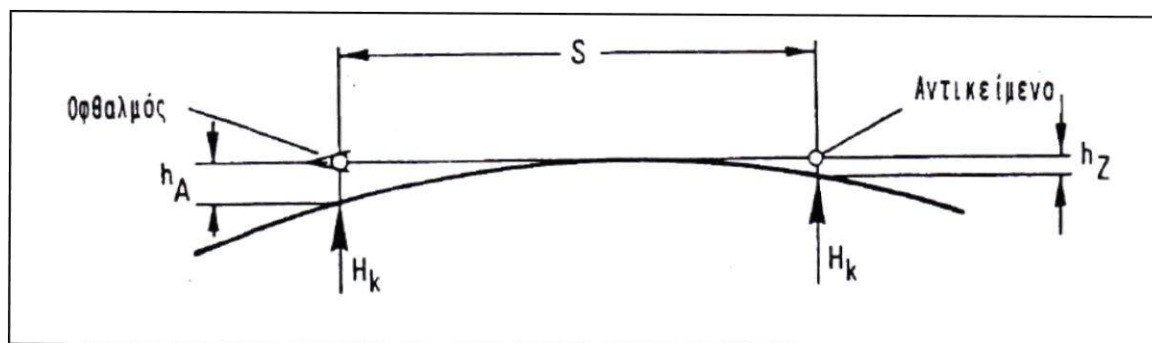
Η διαμόρφωση των καμπύλων της μηκοτομής γίνεται κατά κανόνα με χρήση τόξου τετραγωνικής παραβολής, η ακτίνα του οποίου είναι το στοιχείο προς υπολογισμό. Στις ελάχιστες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής των οδηγιών του 1973 (11) δεν δίνεται τόσο έμφαση στην επάρκεια των μηκών ορατότητας, τα οποία και πρέπει να ελέγχονται, όσο στην οπτική ομαλότητα της χάραξης. Οι τιμές παρατίθενται στον Πίνακα 2.10 σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης V_e .

Πίνακας 2.10 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAL 1973).

V_e (km/h)	$H_{k \min}$ (m)	$H_{w \min}$ (m)
40	1500	1000
60	3000	2000
80	7000	3000
100	12500	5000
120	25000	10000
140	50000	20000

2.2.4.2 RAS 1984

Οι ελάχιστες αυτές τιμές μειώνονται αρκετά με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (12) καθώς όπως αναφέρεται αποδείχτηκαν υπερεπαρκείς κατά το παρελθόν, ενώ εισάγεται παράλληλα συγκεκριμένη μεθοδολογία ελέγχου των μηκών ορατότητας στις κυρτές καμπύλες της μηκοτομής, σύμφωνα με το γεωμετρικό πρότυπο του Σχήματος 2.3. Δίνεται πλέον μεγαλύτερη έμφαση στην εξασφάλιση επαρκούς ορατότητας, επιτρέποντας την χρήση μικρότερων τιμών από τις προτεινόμενες μόνο όταν μπορεί να αποδειχθεί ότι εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα, ενώ στις τιμές των ακτίνων των κοίλων καμπύλων αναφέρεται ότι έχει εξασφαλιστεί επαρκής ορατότητα σε κοιλάματα στα οποία υπάρχουν άνω διαβάσεις. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στον Πίνακα 2.11. Το γεωμετρικό πρότυπο υπολογισμού των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής εκφράζεται μαθηματικά με την Σχέση 2.10.



Σχήμα 2.3: Υπολογισμός ακτίνας κυρτής καμπύλης μηκοτομής.

$$\bullet \quad \min H_k = \frac{S_h^2}{2 * (\sqrt{h_A} + \sqrt{h_Z})^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

όπου :

$\min H_k$ (m) = ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης μηκοτομής

S_h (m) = απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση (βλ. Πίνακα 3)

h_A (m) = ύψος οφθαλμού οδηγού, 1.00 m

h_Z (m) = ύψος εμποδίου (βλ. Πίνακα 2.2)

Πίνακας 2.11: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAS 1984).

V_{85} (km/h)	$\min H_k$ (m)	$\min H_w$ (m)
60	2750	1500
70	3500	2000
80	5000	2500
90	7000	3500
100	10000	5000
120	20000	10000

2.2.4.3 RAS 1995

Στις οδηγίες του 1995 (13) ακολούθησε μια περαιτέρω σημαντική μείωση των ελάχιστων ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων και H_k των κυρτών καμπύλων, ενώ διατηρήθηκε το γεωμετρικό πρότυπο και η σχέση υπολογισμού των μηκών ορατότητας στις κυρτές καμπύλες της μηκοτομής. Στον Πίνακα 2.12 παρατίθενται οι αναθεωρημένες τιμές σε συνάρτηση με την λειτουργική ταχύτητα V_{85} .

Πίνακας 2.12: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAS 1995).

V_{85} (km/h)	min H_k (m)	min H_w (m)
50	1400	500
60	2400	750
70	3150	1000
80	4400	1300
90	5700	2400
100	8300	3800
120	16000	8800

2.2.4.4 RAA 2008

Με την έκδοση των οδηγιών του 2008 (14) πραγματοποιείται ακόμα μία σημαντική μείωση των ελάχιστων απαιτούμενων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής, ενώ αντίθετα οι ελάχιστες απαιτούμενες ακτίνες των κοίλων καμπύλων αυξάνονται αρκετά για ταχύτητες μελέτης έως και 100 km/h, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες μειώνονται περαιτέρω. Οι αναθεωρημένες και ισχύουσες τιμές παρατίθενται στον Πίνακα 2.13.

Πίνακας 2.13 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων H_k των κυρτών καμπύλων και των ακτίνων H_w των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (RAA 2008).

V_e (km/h)	min H_k (m)	min H_w (m)
80	3000	2600
100	5000	4000
120	10000	5700
130	13000	8800

2.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

2.3.1 Εισαγωγή

Παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των προβλέψεων ορατότητας πέντε εκδόσεων των αμερικανικών οδηγιών της AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) από το 1965 έως το 2004. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των παραδοχών και των σχέσεων υπολογισμού των μηκών ορατότητας για στάση, καθώς και η εξέλιξη των προβλέψεων ορατότητας στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. **Μολονότι η έκδοση των οδηγιών του 2004 (5) περιείχε αλλαγές σε άλλους τομείς του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, δεν περιείχε καμία αλλαγή στις απαιτήσεις ορατότητας σε σχέση με τους κανονισμούς του 2001 και ως εκ τούτου επιλέχθηκε οι δύο εκδόσεις να παρατεθούν και να εξεταστούν μαζί.**

2.3.2 Παραδοχές - Σχέσεις υπολογισμού απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση

2.3.2.1 AASHTO 1965

Στις οδηγίες του 1965 (1) για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση το ύψος των οφθαλμών λαμβάνει τιμή 3.75 ft (= 1.14 m) και το ύψος του εμποδίου 6 in (= 150 mm). Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού λαμβάνεται 2.5 sec ενώ η τιμή του συντελεστή εφραπτομενικής τριβής διαφοροποιείται ανάλογα με την ταχύτητα του οχήματος, λαμβάνοντας τιμές από 0.36 για 30 mph (= 48 km/h) έως 0.27 για 70 mph (= 113 km/h), όπως παρατίθεται στον Πίνακα 2.14 μαζί με τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση. Η απόσταση την οποία διανύει το όχημα κατά την τροχοπέδηση υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\bullet \quad d = \frac{V^2}{30 \cdot (f \pm G)} \dots\dots\dots (2.11)$$

όπου

d = διανυόμενη απόσταση κατά την τροχοπέδηση, ft

V = ταχύτητα κατά την έναρξη της τροχοπέδησης, mph

f = συντελεστής εφραπτομενικής τριβής

G = κατά μήκος κλίση, %

Πίνακας 2.14: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 1965).

Ταχύτητα μελέτης	Ταχύτητα σχεδιασμού	Χρόνος αντίδρασης		Συντελεστής εφαπτ. τριβής	Απόσταση πέδησης	Μήκος ορατότητας για στάση	
		Χρόνος	Απόσταση			Υπολογισμένο	Στρογγυλοποιημένο
(mph)	(mph)	(sec)	(feet)	(f)	(feet)	(feet)	(feet)
Βρεγμένα οδοστρώματα							
30	28	2.5	103	0.36	73	176	200
40	36	2.5	132	0.33	131	263	275
50	44	2.5	161	0.31	208	369	350
60	52	2.5	191	0.30	300	491	475
65	55	2.5	202	0.30	336	538	550
70	58	2.5	213	0.29	387	600	600
75	61	2.5	224	0.28	443	667	675
80	64	2.5	235	0.27	506	741	750

Ήδη με την έκδοση του 1965 (1) στις αμερικανικές οδηγίες υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία για τον έλεγχο της ορατότητας σε υφιστάμενα τμήματα οδών ή σε τμήματα τα οποία βρίσκονται στο στάδιο της μελέτης, μέσω των διαγραμμάτων ορατότητας (Σχήμα 2.1). Το μήκος ορατότητας για στάση αναπαριστάται με ένα ευθύγραμμο τμήμα το οποίο τοποθετείται επάνω στην οριζοντιογραφία και την μηκοτομή και καθορίζει στην πρώτη περίπτωση ποιές περιοχές πρέπει να μείνουν ελεύθερες από εμπόδια και στην δεύτερη αν τέμνεται από την κυρτή καμπύλη της μηκοτομής, οπότε και το μήκος ορατότητας δεν επαρκεί.

2.3.2.2 AASHTO 1984

Με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2) εισάγεται ένα τρίτο μήκος ορατότητας το οποίο πρέπει να τηρείται στον σχεδιασμό των οδών, το μήκος ορατότητας για την λήψη απόφασης. Αυτό το μήκος περιγράφεται ως η απόσταση η οποία είναι απαραίτητη ώστε ο οδηγός να αντιληφθεί μια αναπάντεχη κατάσταση, έναν κίνδυνο ή μια πηγή πληροφοριών, να την ανανωρίσει, να την επεξεργαστεί, να επιλέξει τον κατάλληλο ελιγμό για να την αποφύγει και να ολοκληρώσει αυτόν τον ελιγμό με επιτυχία και ασφάλεια. Το μήκος αυτό αναφέρεται και υπολογίζεται μόνο στις αμερικανικές οδηγίες και, καθώς κύριο αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής είναι το μήκος ορατότητας για στάση, δεν θα αναφερθεί περαιτέρω.

Σε ότι αφορά τις παραδοχές για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση, ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού παρέμεινε 2.5 sec, όμως στις τιμές του συντελεστή επαπτομενικής τριβής επέρχεται μια γενική μικρή μείωση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2.2. Το ύψος των οφθαλμών του οδηγού λαμβάνεται πλέον μειωμένο στα 3.5 ft (= 1.08 m) λόγω της αλλαγής των προδιαγραφών κατασκευής των οχημάτων, αλλαγή η οποία όπως αναφέρεται επέφερε αύξηση του μήκους των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής κατά 5%, παρέχοντας περίπου 2.5% περισσότερο

μήκος ορατότητας για στάση. Λόγω των προαναφερθέντων τροποποιήσεων, τα μήκη ορατότητας για στάση αυξάνονται αρκετά για μεγάλες ταχύτητες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.15.

Πίνακας 2.15: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 1984).

Ταχύτητα μελέτης	Ταχύτητα σχεδιασμού	Χρόνος αντίδρασης		Συντελεστής εφαπτ. τριβής	Απόσταση πέδησης	Μήκος ορατότητας για στάση	
		Χρόνος	Απόσταση			Υπολογισμένο	Στρογγυλοποιημένο
(mph)	(mph)	(sec)	(feet)	(f)	(feet)	(feet)	(feet)
20	20-20	2.5	73.3-73.3	0.40	33.3-33.3	106.7-106.7	125-125
25	24-25	2.5	88.0-91.7	0.38	50.5-54.8	138.5-146.5	150-150
30	28-30	2.5	102.7-110.0	0.35	74.7-85.7	177.3-195.7	200-200
35	32-35	2.5	117.3-128.3	0.34	100.4-120.1	217.7-248.4	225-250
40	36-40	2.5	132.0-146.7	0.32	135.0-166.7	267.0-313.3	275-325
45	40-45	2.5	146.7-165.0	0.31	172.0-217.7	318.7-382.7	325-400
50	44-50	2.5	161.3-183.3	0.30	215.1-277.8	376.4-461.1	400-475
55	48-55	2.5	176.0-201.7	0.30	256.0-336.1	432.0-537.8	450-550
60	52-60	2.5	190.7-220.0	0.29	310.8-413.8	501.5-633.8	525-650
65	55-65	2.5	210.7-238.3	0.29	347.7-485.6	549.4-724.0	550-725
70	58-70	2.5	212.7-256.7	0.28	400.5-583.3	613.1-840	625-850

2.3.2.3 AASHTO 1994

Στην έκδοση των οδηγιών του 1994 (3) δεν εμπεριέχονται σημαντικές αλλαγές σε ότι αφορά τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση, καθώς οι βασικές παραδοχές παρέμειναν οι ίδιες. Το ύψος των οφθαλμών διατηρείται στα 3.5 ft (= 1.08 m) και το ύψος του εμποδίου στις 6 in (= 150 mm). Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού παραμένει στα 2.5 sec ενώ και οι τιμές του συντελεστή τριβής παραμένουν αμετάβλητες. Η ακόλουθη σχέση υπολογισμού του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση οδηγεί στις τιμές του Πίνακα 2.16, οι οποίες είναι ελαφρώς μειωμένες σε σχέση με τις οδηγίες του 1984 (2).

$$\bullet \quad SSD = 0.278 * V * t + \frac{V^2}{254 * (f \pm G)} \dots \dots \dots (2.12)$$

όπου :

SSD = μήκος ορατότητας για στάση (m)

V = ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)

t = χρόνος αντίδρασης οδηγού (sec)

f =συντελεστής εφασπτομενικής τριβής μεταξύ ελαστικών του οχήματος και οδοστρώματος

G = κατά μήκος κλίση (%)

Πίνακας 2.16: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 1994).

Ταχύτητα μελέτης	Ταχύτητα σχεδιασμού	Χρόνος αντίδρασης		Συντελεστής εφαιτ. τριβής	Απόσταση πέδησης	Μήκος ορατότητας για στάση
		Χρόνος	Απόσταση			
(km/h)	(km/h)	(sec)	(m)	(f)	(m)	(m)
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.40	8.8-8.8	29.6-29.6
40	40-40	2.5	27.8-27.8	0.38	16.6-16.6	44.4-44.4
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.35	24.8-28.1	57.4-62.8
60	55-60	2.5	38.2-41.7	0.33	36.1-42.9	74.3-84.6
70	63-70	2.5	43.7-48.6	0.31	50.4-62.2	94.1-110.8
80	70-80	2.5	48.6-55.5	0.30	64.2-83.9	112.8-139.4
90	77-90	2.5	53.5-62.5	0.30	77.7-106.2	131.2-168.7
100	85-100	2.5	59.0-69.4	0.29	98.0-135.6	157.0-205.0
110	91-110	2.5	63.2-76.4	0.28	116.3-170.0	179.5-246.4
120	98-120	2.5	68.0-83.3	0.28	134.9-202.3	202.9-285.6

2.3.2.4 AASHTO 2001-2004

Στις οδηγίες του 2001 (4) πραγματοποιείται μια σημαντική αλλαγή στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Ο συντελεστής εφαιτομενικής τριβής αντικαθίσταται από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση a , η οποία και λαμβάνεται ίση με 3.4 m/s^2 ανεξάρτητα από την ταχύτητα μελέτης. Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού παραμένει στα 2.5 sec και το ύψος των οφθαλμών στα 1.08 m. Σημαντική επίσης είναι η αναθεώρηση της τιμής του ύψους του εμποδίου, το οποίο πλέον λαμβάνεται ίσο με 600 mm. Η σχέση υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση είναι η ακόλουθη, ενώ τα μήκη τα οποία υπολογίζονται παρατίθενται στον Πίνακα 2.17.

$$\bullet \quad d = 0.278 * V * t + \frac{V^2}{254 * \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)} \dots\dots\dots (2.13)$$

όπου :

d = μήκος ορατότητας για στάση, m
 t = χρόνος αντίδρασης οδηγού, 2.5 sec
 V = ταχύτητα σχεδιασμού, km/h
 a = επιβράδυνση, m/s^2

Πίνακας 2.17: Ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AASHTO 2001-2004).

Ταχύτητα σχεδιασμού	Διανυόμενη απόσταση κατά τον χρόνο αντίδρασης	Απόσταση πέδησης	Μήκος ορατότητας για στάση	
			Υπολογισμένο	Στρογγυλοποιημένο
(km/h)	(m)	(m)	(m)	(m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

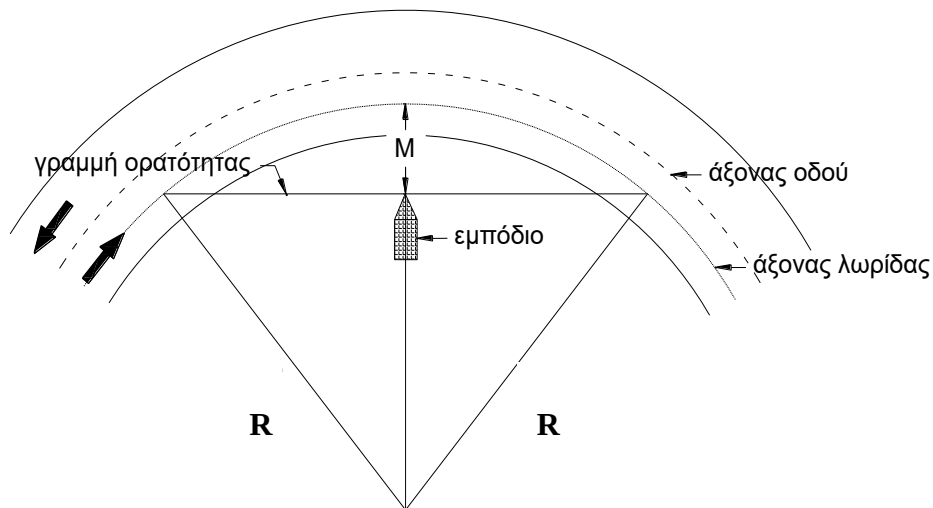
2.3.3 Στοιχεία Οριζοντιογραφίας

2.3.3.1 AASHTO 1965

Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας υπολογίζονται στις οδηγίες του 1965 (1) με βάση τους νόμους της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων και δίνονται σε συνάρτηση με την ταχύτητα, τον αντίστοιχο συντελεστή πλευρικής τριβής και την επίκλιση της οδού. Στον Πίνακα 2.18 παρατίθενται οι τιμές τους για μέγιστη επίκλιση 6%, το οποίο είναι και το συνήθες όριο για τους αυτοκινητόδρομους. Ήδη όμως στην έκδοση του 1965 υπάρχει σαφής πρόβλεψη για τυχόν μειωμένη ορατότητα στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας. Οι οδηγίες αυτές ωστόσο περιορίζονται στον έλεγχο της ορατότητας της εξωτερικής λωρίδας σε δεξιές στροφές χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη για έλεγχο ορατότητας στην εσωτερική λωρίδα οδών με διαχωριστικό στηθαίο ασφαλείας σε αριστερές στροφές. Με βάση το γεωμετρικό πρότυπο του Σχήματος 2.4 υπολογίζεται η πλευρική εκτροπή M , μήκος το οποίο οριοθετεί την ελεύθερη από εμπόδια περιοχή σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης V , την καμπυλότητα D και την ακτίνα R της στροφής. Το ύψος του εμποδίου για τον υπολογισμό λαμβάνεται 2 ft (= 610 mm).

Πίνακας 2.18: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AASHTO 1965).

Ταχύτητα σχεδιασμού (mph)	Μέγιστη επίκλιση e	Μεγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής f	$e + f$	Ελάχιστη ακτίνα R (feet)
50	0.06	0.14	0.2	833
60	0.06	0.13	0.19	1263
65	0.06	0.13	0.19	1483
70	0.06	0.12	0.18	1815
75	0.06	0.11	0.17	2206
80	0.06	0.11	0.17	2510



Σχήμα 2.4: Υπολογισμός πλευρικής εκτροπής M .

2.3.3.2 AASHTO 1984

Με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2) οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής μειώθηκαν, γεγονός που οδήγησε σε αύξηση των ελάχιστων τιμών των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας (Πίνακας 2.19). Σε ότι αφορά την ορατότητα στην οριζοντιογραφία, οι οι οδηγίες του 1984 δεν περιέχουν αλλαγές στον τρόπο υπολογισμού της πλευρικής εκτροπής M , επισημαίνεται ωστόσο ότι το διάγραμμα υπολογισμού της πλευρικής εκτροπής (Σχήμα 2.4) μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις όπου το εσωτερικό στηθαίο ασφαλείας στους αυτοκινητόδρομους μπορεί να παρεμποδίζει την ορατότητα στην εσωτερική λωρίδα σε αριστερές στροφές. Το ύψος του εμποδίου θεωρείται στα 2 ft (= 610 mm), ενώ η σχέση υπολογισμού της πλευρικής εκτροπής είναι η ακόλουθη:

$$• M = R(1 - \cos \frac{28.65 \cdot S}{R}) \dots\dots\dots (2.14)$$

όπου :

M = πλευρική εκτροπή, ft

S = μήκος ορατότητας για στάση, ft

R = ακτίνα καμπύλης, ft

Πίνακας 2.19: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση e = 6% (AASHTO 1984).

Ταχύτητα σχεδιασμού (mph)	Μέγιστη επίκλιση e	Μεγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής f	e + f	Ελάχιστη ακτίνα R (feet)
50	0.06	0.14	0.20	849
60	0.06	0.12	0.18	1348
65	0.06	0.11	0.17	1637
70	0.06	0.10	0.16	2083

2.3.3.3 AASHTO 1994

Οι απαιτήσεις ορατότητας στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας παραμένουν αμετάβλητες στην έκδοση των οδηγιών του 1994 (3). Στον Πίνακα 2.20 παρατίθενται οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για χαρακτηριστικές ταχύτητες και για μέγιστη επίκλιση 6%. Το ύψος ενός εμποδίου ικανού να παρεμποδίσει την ορατότητα θεωρείται στα 600 mm.

Πίνακας 2.20: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση e = 6% (AASHTO 1994).

Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	Μέγιστη επίκλιση e	Μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής f	e + f	Ελάχιστη ακτίνα R (m)	
				Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
80	0.06	0.14	0.20	252.0	250
90	0.06	0.13	0.19	335.7	335
100	0.06	0.12	0.18	437.4	435
110	0.06	0.11	0.17	560.4	560
120	0.06	0.09	0.15	755.9	755

2.3.3.4 AASHTO 2001- 2004

Η μικρή αύξηση των τιμών του συντελεστή πλευρικής τριβής επέφερε μείωση στις ελάχιστες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.21. Με την έκδοση των οδηγιών του 2001 (4) αναθεωρήθηκε και η τιμή του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας στην οριζοντιογραφία από τα 600 mm στα 840 mm.

Πίνακας 2.21: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AASHTO 2001-2004).

Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	Μέγιστη επίκλιση e	Μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής f	$e + f$	Ελάχιστη ακτίνα R (m)	
				Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
80	0.06	0.14	0.20	251.8	250
90	0.06	0.13	0.19	335.5	335
100	0.06	0.12	0.18	437.2	435
110	0.06	0.11	0.17	560.2	560
120	0.06	0.09	0.15	755.5	755
130	0.06	0.08	0.14	950	950

2.3.4 Στοιχεία Μηκοτομής

2.3.4.1 AASHTO 1965

Η εξασφάλιση επαρκούς μήκους ορατότητας στις καμπύλες της μηκοτομής είναι το σημαντικότερο κριτήριο για τον ορθό σχεδιασμό τους ήδη από την έκδοση των οδηγιών του 1965 (1). Για τις κυρτές καμπύλες χρησιμοποιείται το παραβολικό τόξο, το μήκος του οποίου υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις. Τιμές του για χαρακτηριστικές ταχύτητες παρατίθενται και στον Πίνακα 2.22.

$$\bullet \text{ Για } S < L, \quad L = \frac{A S^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\bullet \text{ Για } S > L, \quad L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} \dots\dots\dots (2.16)$$

όπου:

L = μήκος καμπύλης, ft

S = μήκος ορατότητας για στάση, ft

A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, %

h_1 = ύψος οφθαλμών, (3.75 ft)

h_2 = ύψος εμποδίου, (6 in)

Πίνακας 2.22: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1965).

Ταχύτητα σχεδιασμού (mph)	Μήκος ορατότητας για στάση (feet)	Καμπυλότητα K [μήκος (ft) ανά A*]	
		Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
30	200	28,6	28
40	275	54,0	55
50	350	87,5	85
60	475	161,2	160
65	550	216,1	215
70	600	257,1	255
75	675	325,9	325
80	750	402,3	400
*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων (%)			

Σε ότι αφορά τις απαιτήσεις ορατότητας στις κοίλες καμπύλες, στις οδηγίες ορίζονται δύο κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται για τον υπολογισμό των ελάχιστων μηκών τους. Το πρώτο είναι το μήκος ορατότητας των προβολέων των οχημάτων και το δεύτερο η οπτικά ομαλή χάραξη. Το ελάχιστο μήκος της καμπύλης για να ικανοποιείται το πρώτο κριτήριο υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

- Για $S < L$, $L = \frac{A S^2}{400+3.5 S}$ (2.17)

- Για $S > L$, $L = 2 S - \frac{400+3.5 S}{A}$ (2.18)

όπου

L = μήκος της κοίλης καμπύλης της μηκοτομής , ft

S = μήκος ορατότητας προβολέων, ft

A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, %

Προς ικανοποίηση του δεύτερου κριτηρίου, δηλαδή της οπτικά ομαλής χάραξης, πρέπει να ακολουθείται και η επόμενη εμπειρική σχέση. Τα ελάχιστα επιτρεπόμενα μήκη των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής παρατίθενται στον Πίνακα 2.23.

$$\bullet \quad L = \frac{A V^2}{46.5} \dots\dots\dots(2.19)$$

όπου

L = μήκος της κοίλης καμπύλης της μηκοτομής , ft

V = ταχύτητα μελέτης , mph

A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, %

Πίνακας 2.23: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1965).

Ταχύτητα σχεδιασμού (mph)	Μήκος ορατότητας για στάση (feet)	Καμπυλότητα K [μήκος (ft) ανά A*]	
		Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
30	200	36.4	35
40	275	55.5	55
50	350	75.4	75
60	475	109.4	105
65	550	130.1	130
70	600	144.0	145
75	675	164.9	160
80	750	186.0	185
*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων (%)			

2.3.4.2 AASHTO 1984

Η αναθεώρηση των τιμών των παραδοχών για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2) οδήγησε σε σημαντική αύξηση των ελάχιστων τιμών των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (Πίνακας 2.24). Για τις κοίλες καμπύλες της μηκοτομής πρέπει να ικανοποιούνται τα δύο κριτήρια ορατότητας τα οποία ίσχυαν και στις προηγούμενες οδηγίες, το κριτήριο του μήκους ορατότητας των προβολέων και το κριτήριο της ομαλότητας της χάραξης, ενώ τιμές για χαρακτηριστικές ταχύτητες παρατίθενται στον Πίνακα 2.25.

Πίνακας 2.24: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1984).

Ταχύτητα μελέτης (mph)	Ταχύτητα σχεδιασμού (mph)	Συντελεστής τριβής (f)	Μήκος ορατότητας για στάση (Στρογγυλοποιημένο)	Καμπυλότητα K [μήκος (ft) ανά A*]	
				Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
20	20-20	0.4	125-125	8.6-8.6	10-10.
25	24-25	0.38	150-150	14.4-16.1	20-20
30	28-30	0.35	200-200	23.7-28.8	30-30
35	32-35	0.34	225-250	35.7-46.4	40-50
40	36-40	0.32	275-325	53.6-73.9	60-80
45	40-45	0.31	325-400	76.4-110.2	80-120
50	44-50	0.30	400-475	106.6-160.0	110-160
55	48-55	0.30	450-550	140.4-217.6	150-220
60	52-60	0.29	525-650	189.2-302.2	190-310
65	55-65	0.29	550-725	227.1-394.3	230-400
70	58-70	0.28	625-850	282.8-530.9	290-540

*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, (%)

Πίνακας 2.25: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1984).

Ταχύτητα μελέτης (mph)	Ταχύτητα σχεδιασμού (mph)	Συντελεστής τριβής (f)	Μήκος ορατότητας για στάση (Στρογγυλοποιημένο)	Καμπυλότητα K [μήκος (ft) ανά A*]	
				Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
20	20-20	0.40	125-125	14.7-14.7	20-20
25	24-25	0.38	150-150	21.7-23.5	30-30
30	28-30	0.35	200-200	30.8-35.3	40-40
35	32-35	0.34	225-250	40.8-48.6	50-50
40	36-40	0.32	275-325	53.4-65.6	60-70
45	40-45	0.31	325-400	67.0-84.2	70-90
50	44-50	0.30	400-475	82.5-105.6	90-110
55	48-55	0.30	450-550	97.6-126.7	100-130
60	52-60	0.29	525-650	116.7-153.4	120-160
65	55-65	0.29	550-725	129.9-178.6	130-180
70	58-70	0.28	625-850	147.7-211.3	150-220

*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, (%)

2.3.4.3.AASHTO 1994

Στην έκδοση των οδηγιών του 1994 (3) η περαιτέρω μεταβολή των ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση οδήγησε σε αύξηση των ελάχιστων απαιτούμενων μηκών των καμπύλων της μηκοτομής ειδικά για μεγαλύτερες ταχύτητες μελέτης. Οι νέες τιμές των ελάχιστων επιτρεπόμενων μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής παρατίθενται στον Πίνακα 2.26 και αυτές των κοίλων καμπύλων στον Πίνακα 2.27.

Πίνακας 2.26: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1994).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	Συντελεστής τριβής (f)	Μήκος ορατότητας για στάση (Στρογγυλοποιημένο) (m)	Καμπυλότητα K [μήκος (ft) ανά A*]	
				Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
30	30-30	0.40	29.6-29.6	2.17-2.17	3-3.
40	40-40	0.38	44.4-44.4	4.88-4.88	5-5.
50	47-50	0.35	57.4-62.8	8.16-9.76	9-10.
60	55-60	0.33	74.3-84.6	13.66-17.72	14-18
70	63-70	0.31	94.1-110.8	21.92-30.39	22-31
80	70-80	0.30	112.8-139.4	31.49-48.10	32-49
90	77-90	0.30	131.2-168.7	42.61-70.44	43-71
100	85-100	0.29	157.0-205.0	61.01-104.02	62-105
110	91-110	0.28	179.5-246.4	79.75-150.28	80-151
120	98-120	0.28	202.9-285.6	101.90-201.90	102-202

*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, (%)

Πίνακας 2.27: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 1994).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	Συντελεστής τριβής (f)	Μήκος ορατότητας για στάση (Στρογγυλοποιημένο) (m)	Καμπυλότητα K [μήκος (ft) ανά A*]	
				Υπολογισμένη	Στρογγυλοποιημένη
30	30-30	0.40	29.6-29.6	3.88-3.88	4-4.
40	40-40	0.38	44.4-44.4	7.11-7.11	8-8.
50	47-50	0.35	57.4-62.8	10.20-11.54	11-12.
60	55-60	0.33	74.3-84.6	14.45-17.12	15-18
70	63-70	0.31	94.1-110.8	19.62-24.08	20-25
80	70-80	0.30	112.8-139.4	24.62-31.86	25-32
90	77-90	0.30	131.2-168.7	29.62-39.95	30-40
100	85-100	0.29	157.0-205.0	36.71-50.06	37-51
110	91-110	0.28	179.5-246.4	42.95-61.68	43-62
120	98-120	0.28	202.9-285.6	49.47-72.72	50-73

*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, (%)

2.3.4.4 AASHTO 2001-2004

Στις οδηγίες του 2001 (4) η διόρθωση η οποία έγινε στα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση και η αύξηση του ύψους του εμποδίου είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση των μηκών των κυρτών καμπύλων (Πίνακας 2.28). Για τις κοίλες καμπύλες της μηκοτομής εξακολουθούν να ισχύουν τα δύο κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιεί ο γεωμετρικός σχεδιασμός τους, το κριτήριο του μήκους ορατότητας των προβολέων και το κριτήριο της ομαλότητας της χάραξης, ενώ τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη τους παρέμειναν αμετάβλητα (Πίνακας 2.29).

Πίνακας 2.28: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 2001-2004).

Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	Μήκος ορατότητας για στάση (m)	Καμπυλότητα K [μήκος (m) ανά A*]	
		Υπολογισμένο	Στρογγυλοποιημένο
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95
130	285	123.4	124
*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων (%)			

Πίνακας 2.29: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AASHTO 2001/2004).

Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	Μήκος ορατότητας για στάση (m)	Καμπυλότητα K [μήκος (m) ανά A*]	
		Υπολογισμένο	Στρογγυλοποιημένο
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63
130	285	72.7	73
*A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων (%)			

Μια καινοτομία αυτής της έκδοσης των αμερικανικών οδηγιών είναι ότι περιέχουν ειδική πρόβλεψη για τον έλεγχο τυχόν παρεμπόδισης της ορατότητας όταν στα κοιλάματα υπάρχει άνω διάβαση. Το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος της καμπύλης σε αυτές τις περιπτώσεις υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$\bullet \text{ Για } S > L, L = 2S - \frac{800[C - (\frac{h_1 + h_2}{2})]}{A} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\bullet \text{ Για } S < L, L = \frac{AS^2}{800[C - (\frac{h_1 + h_2}{2})]} \dots\dots\dots(2.21)$$

όπου :

L = μήκος καμπύλης μηκοτομής, m

S = μήκος ορατότητας για στάση, m

A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, %

C = ύψος τεχνικού έργου από το υψόμετρο ερυθράς, m

h₁ = ύψος οφθαλμών, 1.08 m

h₂ = ύψος εμποδίου, 600 mm

2.4 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

2.4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των προβλέψεων ορατότητας σε δύο εκδόσεις των αυστραλιανών οδηγιών AUSTROADS, στην έκδοση του 2003 και στην ισχύουσα έκδοση του 2009. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε έκδοση οι τιμές των παραδοχών και των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση, καθώς και οι απαιτήσεις ορατότητας στην οριζοντιογραφία και την μηκοτομή των οδών.

2.4.2 Παραδοχές - Μαθηματικά πρότυπα υπολογισμού απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση

2.4.2.1 AUSTROADS 2003

Στην έκδοση του 2003 (6) για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, το ύψος των οφθαλμών του οδηγού λαμβάνει τιμή 1.05 ενώ η τιμή η οποία τίθεται στο ύψος του εμποδίου διαφοροποιείται ανάλογα με το οδικό τμήμα υπό σχεδιασμό και το περιβάλλον στο οποίο σχεδιάζεται, όπως παρατίθεται στον Πίνακα 2.30. Σε ότι αφορά τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού, η τιμή η οποία συστήνεται για τον συνήθη γεωμετρικό σχεδιασμό των υπεραστικών οδών είναι τα 2.5 sec. Επισημαίνεται ωστόσο, ότι για τον γεωμετρικό σχεδιασμό αστικών ή υπεραστικών οδών χαμηλών ταχυτήτων μελέτης ή οδών σε δυσμενές ανάγλυφο εδάφους όπου η εγρήγορση των οδηγών είναι αυξημένη, ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού επιτρέπεται να λαμβάνει τιμή 2.0 sec.

Οι τιμές του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής είναι διαφορετικές για την εκάστοτε ταχύτητα μελέτης όπως παρατίθενται στον Πίνακα 2.31. Στον ίδιο πίνακα παρατίθενται και οι τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση τα οποία προκύπτουν με την χρήση και των δύο τιμών του χρόνου αντίδρασης του οδηγού οι οποίες προβλέπονται.

$$\bullet \quad SSD = \frac{R_T * V}{3.6} + \frac{V^2}{254(F + 0.01a)} \dots\dots\dots(2.22)$$

όπου :

SSD = μήκος ορατότητα για στάση, m

R_T = χρόνος αντίδρασης, sec

V = ταχύτητα μελέτης, km/h

F = συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

a = κατά μήκος κλίση οδού, % (+ για ανωφέρεια, - για κατωφέρεια)

Πίνακας 2.30: Οι τιμές του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2003).

Ύψος εμποδίου	Περιπτώσεις εφαρμογής
0.0 m	▪ Σχεδιασμός κόμβων
	▪ Ορατότητα διαγραμμίσεων
0.2 m	▪ Σχεδιασμός κυρτωμάτων οδικών τμημάτων μεταξύ διασταυρώσεων
	▪ Γραμμή ορατότητας σε καμπύλες οριζοντιογραφίας
0.6 m	▪ Ορατότητα καμπύλων μηκοτομής
	▪ Ορατότητα οχημάτων στο τέλος κυκλοφοριακής συμφόρησης
	▪ Ορατότητα πάνω από στηθαία ασφαλείας

Πίνακας 2.31: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AUSTROADS 2003).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Συντελεστής εφασπτομενικής τριβής F	0.52	0.48	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.35
Μήκος ορατότητας για στάση (m)	R _T = 2.5 sec	54	71	91	114	140	170	205	245
	R _T = 2.0 sec	47	63	82	103	128	157	190	229

2.4.2.2 AUSTROADS 2009

Η επόμενη έκδοση των αυστραλιανών οδηγιών (7) περιέχει αρκετές αλλαγές στις τιμές των παραδοχών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Το ύψος των οφθαλμών του οδηγού αυξάνεται στα 1.10 m ενώ οι τιμές όλων των υπόλοιπων παραμέτρων κατηγοριοποιούνται και διαφοροποιούνται ανάλογα τόσο με το είδος της οδού, όσο και με το περιβάλλον στο οποίο αυτή σχεδιάζεται.

Οι τιμές του ύψους του εμποδίου παρατίθενται στον Πίνακα 2.32 και είναι παρόμοιες με τις τιμές και τις περιπτώσεις οι οποίες προβλέπονταν στην προηγούμενη έκδοση των οδηγιών (6), ενώ στις τιμές του χρόνου αντίδρασης του οδηγού προστίθεται η τιμή του 1.5 sec, η οποία ωστόσο έχει περιορισμένη εφαρμογή όπως επεξηγείται στον Πίνακα 2.33. **Ο συντελεστής εφασπτομενικής τριβής αντικαθίσταται από την εφασπτομενική επιβράδυνση, η τιμή της οποίας είναι ενιαία για όλες τις ταχύτητες μελέτης και διαφοροποιείται ανάλογα με το οδικό τμήμα υπό σχεδιασμό και το περιβάλλον στο οποίο αυτό σχεδιάζεται (Πίνακας 2.34).**

Πίνακας 2.32: Οι τιμές του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2009).

Ύψος εμποδίου	Περιπτώσεις εφαρμογής
0.0 m	▪Ορατότητα προσέγγισης σε κόμβους
	▪Ορατότητα προβολέων στις κοίλες καμπύλες της μηκοτομής
	▪Ορατότητα αντίληψης της καμπυλότητας των οριζοντιογραφικών καμπύλων
0.2 m	▪Υπολογισμός μήκους ορατότητας για στάση σε συνήθεις περιπτώσεις
0.8 m	▪Ορατότητα πάνω από σθηθαία ασφαλείας

Πίνακας 2.33: Οι τιμές του χρόνου αντίδρασης του οδηγού για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2009).

Χρόνος αντίδρασης R_T	Περιβάλλον εφαρμογής
2.5 sec	▪Υπεραστικές οδοί υψηλών ταχυτήτων όπου η εγρήγορση των οδηγών είναι μειωμένη εξαιτίας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών (π.χ μεγάλη καμπυλότητα, μεγάλες ευθυγραμμίες κ.ά.)
	▪Οδικά τμήματα όπου οι οδηγοί καλούνται να λάβουν περίπλοκες αποφάσεις για την εκτέλεση των κατάλληλων ελιγμών (π.χ κόμβοι)
2.0 sec	▪Αστικές οδοί υψηλών ταχυτήτων
	▪Δευτερεύοντα υπεραστικά οδικά δίκτυα όπου οι οδηγοί βρίσκονται σε μεγαλύτερη εγρήγορση
1.5 sec	▪Σήραγγες με ταχύτητες μελέτης ≥ 90 km/h
	▪Αστικά οδικά δίκτυα όπου οι οδηγοί βρίσκονται σε αυξημένη εγρήγορση εξαιτίας των πολλών διασταυρώσεων και της φωτεινής σηματοδότησης
	▪Υπεραστικές οδοί σε δυσμενές ανάγλυφο εδάφους
	▪Οδοί με αυξημένους κυκλοφοριακούς φόρτους
	▪Σήραγγες με ταχύτητες μελέτης ≤ 90 km/h

Πίνακας 2.34: Οι τιμές της εφαπτομενικής επιβράδυνσης για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (AUSTROADS 2009).

Εφαπτομενική επιβράδυνση d	Περιπτώσεις εφαρμογής
0.46	Απόλυτα μέγιστη τιμή για εφαρμογή σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως δευτερεύουσες οδοί χαμηλών κυκλοφοριακών φόρτων, οδοί σε ορεινό ανάγλυφο, αστικές οδοί χαμηλών ταχυτήτων, σήραγγες κ.ά)
0.36	Μέγιστη τιμή για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση σε συνήθεις περιπτώσεις
0.26	Μέγιστη τιμή για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση σε οδούς υψηλών ταχυτήτων και ο οποίος αντιστοιχεί σε άνετη και ομαλή επιβράδυνση

Η σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρέμεινε αμετάβλητη, με εξαίρεση την αντικατάσταση του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής από την εφαπτομενική επιβράδυνση (Σχέση 2.23). Οι τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των διαφορετικών τιμών των παραμέτρων που παρουσιάστηκαν παρατίθενται στον Πίνακα 2.35.

$$\bullet \quad SSD = \frac{R_T * V}{3.6} + \frac{V^2}{254(d+0.01a)} \dots\dots\dots(2.23)$$

όπου :

SSD = μήκος ορατότητα για στάση, m

R_T = χρόνος αντίδρασης, sec

V = ταχύτητα μελέτης, km/h

d = εφαπτομενική επιβράδυνση

a = κατά μήκος κλίση οδού, % (+ για ανωφέρεια, - για κατωφέρεια)

Πίνακας 2.35: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για μηδενική κατά μήκος κλίση της οδού (AUSTROADS 2009).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Μήκος ορατότητας για στάση (m)							
	d = 0.46			d = 0.36			d = 0.26	
	R _T =1.5 sec	R _T =2.0 sec	R _T =2.5 sec	R _T =1.5 sec	R _T =2.0 sec	R _T =2.5 sec	R _T =2.0 sec	R _T =2.5 sec
50	42	49	–	48	55	62	–	–
60	56	64	–	64	73	81	–	–
70	71	81	–	83	92	102	113	123
80	88	99	–	103	114	126	141	152
90	107	119	132	126	139	151	173	185
100	–	141	155	–	165	179	207	221
110	–	165	180	–	193	209	244	260
120	–	190	207	–	224	241	285	301
130	–	217	235	–	257	275	328	346

2.4.3 Στοιχεία Οριζοντιογραφίας

2.4.3.1 AUSTROADS 2003

Και στις αυστραλιανές οδηγίες, η δυναμική της κίνησης των οχημάτων καθορίζει τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας. Η σχέση υπολογισμού τους (Σχέση 2.24) είναι συνάρτηση της ταχύτητας μελέτης του οχήματος, του συντελεστή πλευρικής τριβής και της επίκλισης της οδού. Οι τιμές των ελάχιστων επιτρεπόμενων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας της έκδοσης του 2003 (6) παρατίθενται στον Πίνακα 2.36. Καθώς στις αυστραλιανές οδηγίες ο συντελεστής πλευρικής τριβής λαμβάνει δύο τιμές για κάθε ταχύτητα μελέτης, μία επιθυμητή ελάχιστη και μία απόλυτα ελάχιστη, για κάθε ταχύτητα μελέτης υπάρχει αντίστοιχα μια επιθυμητή ελάχιστη και μια απόλυτα ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης.

$$\bullet \quad R_{min} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})} \dots\dots\dots (2.24)$$

όπου :

R_{min} = ελάχιστη ακτίνα καμπύλης οριζοντιογραφίας, m

V = ταχύτητα μελέτης, km/h

e_{max} = μέγιστη επίκλιση, m/m

f_{max} = μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής

Πίνακας 2.36: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AUSTROADS 2003).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)		80	90	100	110	120	130
Ελάχιστη ακτίνα	Επιθυμητή ελάχιστη	229	335	437	529	667	782
$R_{\min}$ (m)	Απόλυτα ελάχιστη	157	245	358	529	667	782

Στις οδηγίες ωστόσο επισημαίνεται, πως οι ελάχιστες αυτές τιμές δεν ικανοποιούν απαραίτητα τις απαιτήσεις ορατότητας μιας οδού, αλλά ο έλεγχος έναντι περιορισμένης ορατότητας πρέπει να γίνεται εκ των υστέρων και αφότου σχεδιαστεί το οδικό τμήμα. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι σε κάποιο οδικό τμήμα δεν εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα, η προτεινόμενη και προτιμότερη λύση είναι είτε η χρήση μεγαλύτερης ακτίνας για την οριζοντιογραφική καμπύλη, είτε η αλλαγή της χάραξης. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, το πρόβλημα πρέπει να λυθεί γραφικά μέσω της πλευρικής εκτροπής (βλ. Σχήμα 2.4, κεφ. 2.3.3).

Στις αυστραλιανές οδηγίες η πλευρική εκτροπή καθορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση, μετρούμενη από το κέντρο της λωρίδας που βρίσκεται στο εσωτερικό της εκάστοτε οριζοντιογραφικής καμπύλης, στην οποία πρέπει να βρίσκονται τα εμπόδια ώστε να μην παρεμποδίζεται η ορατότητα. Το μήκος της πλευρικής εκτροπής είναι συνάρτηση της ακτίνας της οριζοντιογραφικής καμπύλης και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (Σχέση 2.25). Στις δεξιές στροφές, το μήκος αυτό οριοθετεί την επιφάνεια παραπλεύρως τις οδού που πρέπει να είναι ελεύθερη εμποδίων (π.χ. πρανή ορυγμάτων, φύτευση κ.ά) ενώ στις αριστερές στροφές οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα ορίζει την διαπλάτυνση της εσωτερικής λωρίδας που πρέπει να δημιουργηθεί, ώστε η ορατότητα να μην παρεμποδίζεται από τα κεντρικά στηθαία ασφαλείας.

$$\bullet \quad O = R \left[1 - \cos \left(\frac{28.65S}{R} \right) \right] \dots\dots\dots (2.25)$$

όπου :

R = ακτίνα καμπύλης οριζοντιογραφίας, m

S = μήκος ορατότητας για στάση, m

O = πλευρική εκτροπή, m

2.4.3.2 AUSTROADS 2009

Οι ελάχιστες απαιτούμενες ακτίνες τις οριζοντιογραφίας παρέμειναν πρακτικά αμετάβλητες στην έκδοση των οδηγιών του 2009 (7) (Πίνακας 2.37), δεδομένου και του γεγονότος ότι οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής παρουσιάζουν μικρές μεταβολές, κυρίως για ταχύτητες μελέτης μικρότερες των 50 km/h.

Σε ότι αφορά τις απαιτήσεις ορατότητας, με την έκδοση του 2009 καθίσταται πλέον απαραίτητη η εφαρμογή ενός ελάχιστου μήκους πλευρικής εκτροπής ίσου με 2.5 m για αυτοκίνητα και 3.5 m για φορτηγά. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα όπου υπάρχουν στηθαία ασφαλείας έναντι πιθανώς επικίνδυνων εμποδίων ύψους μικρότερου από αυτό που είχε χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (0.2 m για αυτοκίνητα και 0.8 m για φορτηγά).

Πίνακας 2.37: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$ (AUSTROADS 2009).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)		80	90	100	110	120	130
Ελάχιστη ακτίνα $R_{\min}$ (m)	Επιθυμητή ελάχιστη	229	336	437	529	667	783
	Απόλυτα ελάχιστη	157	245	358	529	667	783

2.4.4 Στοιχεία Μηκοτομής

2.4.4.1 AUSTROADS 2003

Στις αυστραλιανές οδηγίες ορίζονται δύο κριτήρια για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των καμπύλων της μηκοτομής, το κριτήριο του μήκους ορατότητας και το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης. Το πρώτο κριτήριο πρέπει να ικανοποιείται σε όλες τις οδούς και οι τιμές των ακτίνων των καμπύλων που προκύπτουν είναι οι ελάχιστες επιτρεπόμενες. Το δεύτερο κριτήριο απαιτείται σε οδούς οι οποίες σχεδιάζονται σε πεδινό ανάγλυφο εδάφους με, στόχο την καλύτερη προσαρμογή στο τοπίο και σε οδούς υψηλών ταχυτήτων, ενώ οι τιμές των ακτίνων των καμπύλων της μηκοτομής που προκύπτουν είναι αρκετά υψηλότερες από τις ελάχιστες επιτρεπόμενες.

Ο σχεδιασμός των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής γίνεται σε άμεση συνάρτηση με το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση όπως περιγράφεται από τις Σχέσεις 2.26 και 2.27. Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής οι οποίες ορίζονται στις οδηγίες του 2003 (6) με βάση το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση των αυτοκινήτων παρατίθενται στον Πίνακα 2.38. Οι ελάχιστες τιμές της καμπυλότητας K προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης παρατίθενται στον Πίνακα 2.39.

$$\bullet \text{ Για } S < L, L = \frac{S^2}{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\bullet \text{ Για } S > L, L = \frac{2S}{A} - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A^2} \dots\dots\dots (2.27)$$

όπου:

L = μήκος καμπύλης μηκοτομής, ft

S = μήκος ορατότητας για στάση, ft

A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, %

h₁ = ύψος οφθαλμών

h₂ = ύψος εμποδίου

Πίνακας 2.38: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής, βασισμένα στα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση των αυτοκινήτων (AUSTROADS 2003).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)		50	60	70	80	90	100	110	120	130
Καμπυλότητα K*	R _T = 2.5 sec	7	12	20	31	46	67	98	139	197
	R _T = 2.0 sec	5	10	16	25	38	57	84	—	—

*Μήκος καμπύλης σε m για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις

Πίνακας 2.39: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης (AUSTROADS 2003).

Λειτουργική ταχύτητα (km/h)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων (%)	Ελάχιστη Καμπυλότητα K* (S<L)
50	0.9	33 - 44
60	0.8	50 - 62
70	0.7	71 - 86
80	0.6	100 - 133
90	0.5	160 - 200
100	0.4	200 - 250
110	0.3	333 - 500

*Μήκος καμπύλης σε m για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις

Τα κριτήρια της καλής προοπτικής απεικόνισης και του μήκους ορατότητας ισχύουν και στον γεωμετρικό σχεδιασμό των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής. Η ελάχιστη καμπυλότητα K προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης υπολογίζεται από την Σχέση 2.28.

$$\bullet \quad K = \frac{V^2}{1296a} \dots\dots\dots (2.28)$$

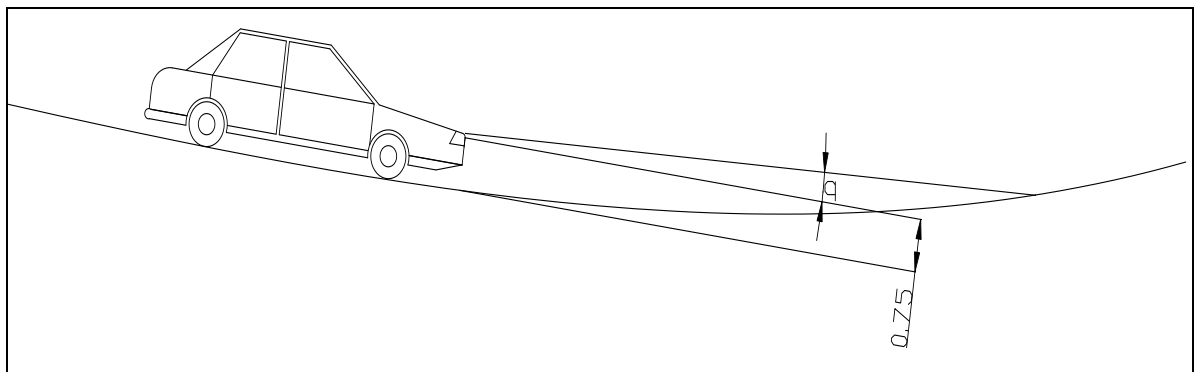
όπου

K = μήκος καμπύλης για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις, m

V = ταχύτητα μελέτης, km/h

a = κάθετη συνιστώσα επιτάχυνσης ($0.05g$ ή $0.10g$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

Το κριτήριο του μήκους ορατότητας στις κοίλες καμπύλες της μηκοτομής αφορά το μήκος ορατότητας που παρέχεται από τους προβολείς των οχημάτων κατά την νυχτερινή οδήγηση σε οδικά τμήματα όπου δεν υπάρχει φωτισμός (Σχήμα 2.5). Οι σχέσεις υπολογισμού της ελάχιστης καμπυλότητας K προκειμένου να ικανοποιείται το μήκος ορατότητας των προβολέων παρατίθενται στις Σχέσεις 2.29 και 2.30, ενώ οι τιμές τις οποίες λαμβάνει η καμπυλότητα K βρίσκονται συγκεντρωμένες στον Πίνακα 2.40.



Σχήμα 2.5: Υπολογισμός της ελάχιστης επιτρεπόμενης καμπυλότητας K των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής ώστε να ικανοποιείται το κριτήριο της ορατότητας των προβολέων.

- Για $S < L$, $L = \frac{S^2}{200(h+S \tan q)}$ (2.29)

- Για $S > L$, $L = \frac{2S}{A} - \frac{200(h+S \tan q)}{A^2}$ (2.30)

όπου

L = μήκος της κοίλης καμπύλης της μηκοτομής, m

S = μήκος ορατότητας προβολέων, m

A = αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων, %

h = ύψος προβολέων, m

q = γωνία απόκλισης των προβολέων, 1°

Πίνακας 2.40: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο του μήκους ορατότητας των προβολέων (AUSTROADS 2003).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)		50	60	70	80	90	100	110	120	130
Καμπυλότητα K^*	$R_T = 2.5 \text{ sec}$	10	14	19	25	32	41	50	62	72
	$R_T = 2.0 \text{ sec}$	8	12	17	22	29	37	46	57	66
*Μήκος καμπύλης σε m για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις										

Τέλος, σε κοίλες καμπύλες όπου υπάρχει άνω διάβαση, η καμπυλότητα K πρέπει να υπολογίζεται από την Σχέση 2.31 προκειμένου το τεχνικό έργο να μην παρεμποδίζει την ορατότητα.

- $K = \frac{S^2}{200 (\sqrt{H-h_1} + \sqrt{H-h_2})^2}$ (2.31)

όπου :

K = μήκος καμπύλης για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις, m

S = μήκος ορατότητας για στάση, m

h_1 = ύψος οφθαλμών, (2.4 m)

h_2 = ύψος εμποδίου, (0.60 m)

2.4.4.2 AUSTROADS 2009

Στην έκδοση των αυστραλιανών οδηγιών του 2009 (7) δεν υπάρχει καμία αλλαγή στις απαιτήσεις ορατότητας στην μηκοτομή των οδών, καθώς όμως στο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση μπορούν να τεθούν περισσότερες τιμές ανάλογα με το οδικό τμήμα υπό σχεδιασμό (βλ. παρ. 2.4.2), οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές τις οποίες μπορούν να λάβουν τα μήκη των καμπύλων της μηκοτομής ανάλογα με την περίπτωση είναι αντίστοιχα περισσότερες.

Σε ότι αφορά τις κυρτές καμπύλες της μηκοτομής, οι ελάχιστες τιμές των μηκών τους προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης παρέμειναν αμετάβλητες, ενώ οι απόλυτα ελάχιστες τιμές τις οποίες επιτρέπεται να λάβουν προς ικανοποίηση του κριτηρίου του μήκους ορατότητας είναι αρκετά χαμηλότερες σε σύγκριση με την προηγούμενη έκδοση του 2003. Στον Πίνακα 2.41 παρατίθενται οι ελάχιστες τιμές του μήκους των κυρτωμάτων προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης, ενώ στον Πίνακα 2.42 παρατίθεται το εύρος των επιτρεπόμενων τιμών του μήκους των κυρτών καμπύλων, ανάλογα με τις τιμές που θα τεθούν στις παραδοχές για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση των αυτοκινήτων.

Πίνακας 2.41: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της καλής προοπτικής απεικόνισης (AUSTROADS 2009).

Λειτουργική ταχύτητα (km/h)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη αλγεβρική διαφορά κατά μήκος κλίσεων (%)	Ελάχιστη Καμπυλότητα K (S<L)
50	0.9	33 - 44
60	0.8	50 - 62
70	0.7	71 - 86
80	0.6	100 - 133
90	0.5	160 - 200
100	0.4	200 - 250
110	0.3	333 - 500
120	0.2	333 - 500
130	0.1	333 - 500
*Μήκος καμπύλης σε m για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις		

Πίνακας 2.42: Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής, βασισμένα στα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση των αυτοκινήτων (AUSTROADS 2009).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Καμπυλότητα K*							
	d = 0.46			d = 0.36			d = 0.26	
	R _T =1.5 sec	R _T =2.0 sec	R _T =2.5 sec	R _T =1.5 sec	R _T =2.0 sec	R _T =2.5 sec	R _T =2.0 sec	R _T =2.5 sec
50	4.0	5.4	–	5.2	6.8	–	9.6	–
60	7.0	9.2	–	9.3	11.8	–	17.2	–
70	11.3	14.6	–	15.3	19.1	–	28.6	–
80	17.3	22.6	–	23.9	29.3	–	44.6	–
90	25.5	31.8	38.8	35.5	42.9	51.0	66.6	76.6
100	–	44.5	53.7	–	60.8	71.4	95.7	109.0
110	–	60.6	72.3	–	83.6	97.3	133.4	150.6
120	–	80.6	95.3	–	112.2	129.6	181.1	202.9
130	–	105.1	123.3	–	147.6	169.1	240.5	267.7
*Μήκος καμπύλης σε m για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις								

Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο του μήκους ορατότητας είναι μειωμένες σε σχέση με αυτές της προηγούμενης έκδοσης (6), καθώς αντίστοιχα μειώθηκαν οι τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση στα οποία βασίστηκαν (για συντελεστή εφαπτομενική επιβράδυνσης $d = 0.36$ και χρόνο αντίδρασης $T_R = 2.5$ sec). Στον Πίνακα 2.43 παρατίθενται οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές του μήκους των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής προκειμένου να ικανοποιούνται τα κριτήρια της καλής προοπτικής απεικόνισης και του μήκους ορατότητας των προβολέων.

Πίνακας 2.43 : Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των μηκών των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής (AUSTROADS 2009).

Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Καμπυλότητα K*	
	Κριτήριο καλής προοπτικής απεικόνισης	Κριτήριο μήκους ορατότητας προβολέων
60	16	16
70	21	21
80	28	28
90	43	35
100	61	42
110	84	51
120	112	60
130	145	69
*Μήκος καμπύλης σε m για αλγεβρική διαφορά 1% στις κατά μήκος κλίσεις		

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ

3.1.1 Η εξέλιξη των τιμών των παραδοχών και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση.

Σε αυτή την ενότητα αναλύονται η ποσοτικές μεταβολές των τιμών του χρόνου αντίδρασης, του ύψους των οφθαλμών, του ύψους του εμποδίου και του συντελεστή επαπτομενικής τριβής διαχρονικά στις γερμανικές οδηγίες, καθώς και πως αυτές οι μεταβολές επηρέασαν και μετέβαλαν τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση.

Στις γερμανικές οδηγίες, η τιμή του **χρόνου αντίδρασης** του οδηγού παρέμεινε διαχρονικά αμετάβλητη και ίση με 2.0 sec. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις δύο πρώτες εκδόσεις του 1973 (11) και του 1984 (12) που εξετάστηκαν, η τιμή αυτή του χρόνου αντίδρασης δεν αναφέρεται, ενώ στις δύο επόμενες εκδόσεις του 1995 (13) και του 2008 (14) γίνεται μεν σαφής αναφορά, χωρίς ωστόσο να συνοδεύεται από περαιτέρω τεκμηρίωση. Απουσιάζει δηλαδή κάποια παραπομπή στο επιστημονικό υπόβαθρο ή στην μεθοδολογία με βάση την οποία ελήφθη η τιμή αυτή. Η τιμή του **ύψους των οφθαλμών** του οδηγού παρέμεινε και αυτή αμετάβλητη και ίση με 1.00 m σε όλες τις εκδόσεις των γερμανικών οδηγιών που εξετάστηκαν.

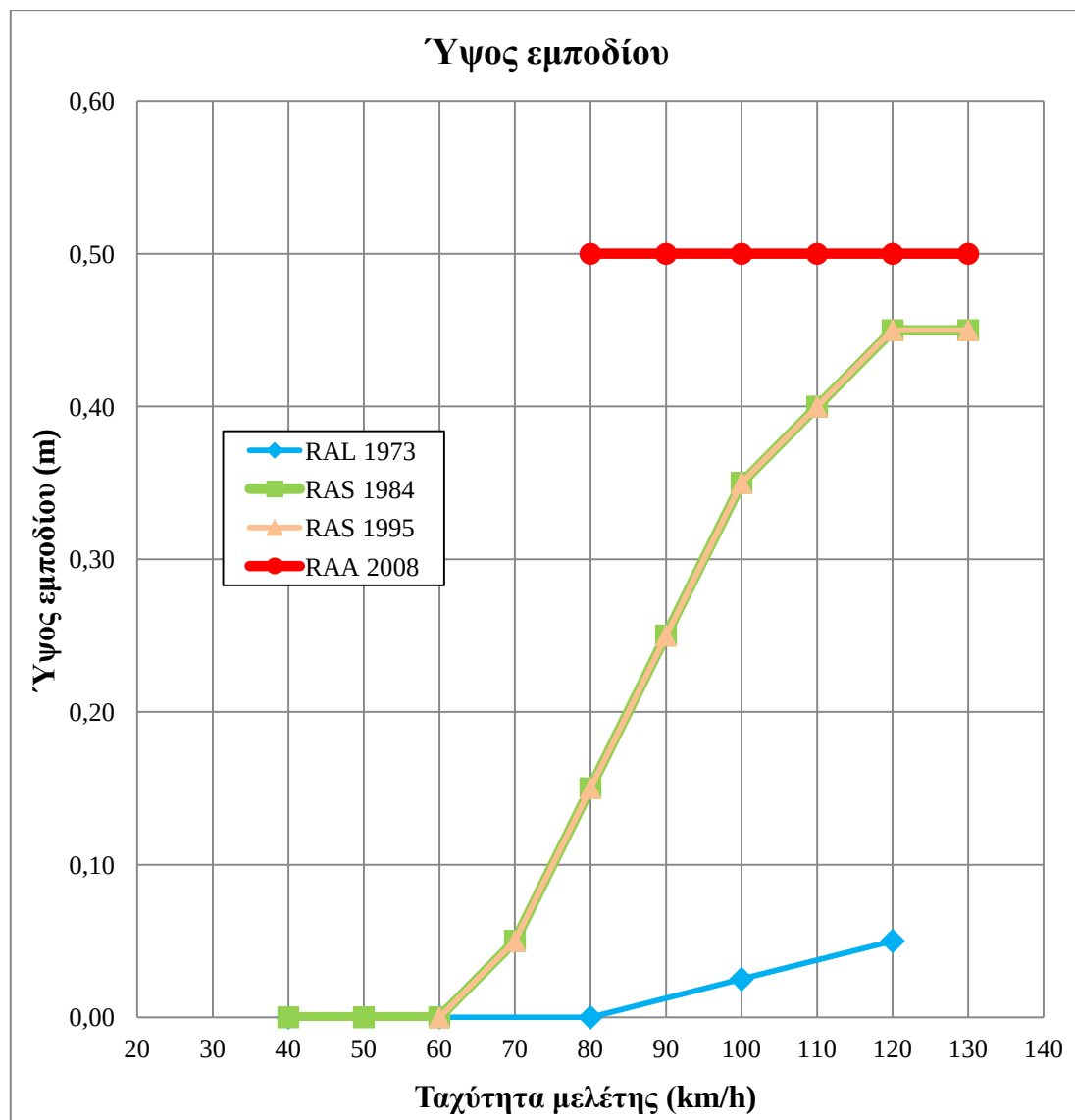
Σημαντικές διαφοροποιήσεις αντίθετα έχουν επέλθει στην τιμή του **ύψους του εμποδίου**. Προς επίτευξη της μέγιστης δυνατής ασφάλειας το ύψος του εμποδίου πρέπει να λαμβάνεται όσο το δυνατόν μικρότερο, ακόμα και μηδενικό. Πράγματι, μέχρι και τις οδηγίες του 1995 (13) και για οδούς με χαμηλότερες ταχύτητες μελέτης έως και 60 km/h, οι οποίες και έχουν μικρότερες απαιτήσεις στον γεωμετρικό σχεδιασμό τους, το ύψος εμποδίου για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση λαμβάνεται ίσο με μηδέν. Στις οδηγίες του 1973 (11) μάλιστα οι τιμές του ύψους του εμποδίου είναι μικρές ακόμα και για μεγαλύτερες ταχύτητες μελέτης και κινούνται στην λογική της επίτευξης της μέγιστης δυνατής ασφάλειας μέσω της θέσπισης όσο το δυνατόν μικρότερου ύψους εμποδίου.

Με την έκδοση του 1984 (12) εισάγεται και αναλύεται μια διαφορετική προσέγγιση του προσδιορισμού του ύψους του εμποδίου. Διαπιστώνεται ότι από την στιγμή που η δυνατότητα αντίληψης και κατανόησης του ανθρώπινου οφθαλμού είναι περιορισμένη, τα διάφορα αντικείμενα πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο μέγεθος προκειμένου να γίνουν αντιληπτά. Σε ότι αφορά τα εμπόδια επί του οδοστρώματος, αυτό το μέγεθος εξαρτάται από την απόδοση της ανθρώπινης όρασης, τις οπτικές

ιδιότητες του εμποδίου και του οδοστρώματος, καθώς επίσης και από τις συνθήκες φωτισμού και τις καιρικές συνθήκες. Εμπόδια τα οποία είναι πολύ μεγάλα για να περάσει το όχημα από πάνω τους μπορεί να είναι αρκετά μικρά, ώστε να αναγνωρίζονται έγκαιρα από τον οδηγό. Αναγνωρίζεται ωστόσο, ότι για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση δεν μπορεί να καθοριστεί ένα εμπόδιο με συγκεκριμένες διαστάσεις και οπτικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου, το γεωμετρικό πρότυπο το οποίο χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των οδών και στο οποίο τίθεται το ύψος του εμποδίου ανάλογα με την ταχύτητα μελέτης μπορεί να είναι γεωμετρικά σωστό, στην πραγματικότητα όμως δεν μπορεί να εξασφαλίσει ότι τα μικρά εμπόδια θα αναγνωρίζονται σε όλες τις περιπτώσεις. Επομένως, οι τιμές οι οποίες τίθενται δεν αφορούν ένα ύψος εμποδίου, αλλά ένα ύψος-στόχο ενός εμποδίου, ένα ύψος δηλαδή το οποίο καθορίζει ποιά εμπόδια μπορούν να γίνουν αντιληπτά και ποιά όχι, ανάλογα με την εκάστοτε ταχύτητα μελέτης. Αυτή η προσέγγιση διατηρείται και στις επόμενες οδηγίες RAS του 1995 (13).

Στις οδηγίες του 2008 (14) οι οποίες αφορούν στον γεωμετρικό σχεδιασμό των αυτοκινητόδρομων, η προαναφερθείσα προσέγγιση εξειδικεύεται στις συνθήκες οδήγησης που επικρατούν σε αυτούς. Επισημαίνεται ότι στους αυτοκινητόδρομους το συνηθέστερο και σημαντικότερο εμπόδιο προς αποφυγή είναι ένα άλλο όχημα το οποίο βρίσκεται στο τέλος μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ως εκ τούτου, θα έπρεπε για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση στις κυρτές καμπύλες της μηκοτομής να λαμβάνεται ένα ύψος εμποδίου ίσο με 1.00 m. Αναφέρεται ωστόσο πως μετά από έρευνες για την ασφάλεια στους αυτοκινητόδρομους προέκυψε ότι η ικανότητα αντίληψης των οχημάτων μπορεί να είναι μειωμένη κάτω από ορισμένες συνθήκες, όπως νυχτερινή οδήγηση, ομίχλη και μετά από πολύωρη οδήγηση. Για τον λόγο αυτόν, οι τιμές των ελάχιστων απαιτούμενων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής σχεδιάζονται με ύψος εμποδίου ίσο με 0.50 m. Αυτό το ύψος άλλωστε είναι και το ύψος που βρίσκονται τα πίσω φώτα των οχημάτων, μέγεθος κρίσιμο και για την ορατότητα στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας.

Όλα αυτά αποτυπώνονται στην εξέλιξη της τιμής του ύψους του εμποδίου στις γερμανικές οδηγίες (Σχήμα 3.1). Στην πρώτη έκδοση του 1973 (11) τίθεται μηδενικό ύψος εμποδίου για ταχύτητες μέχρι και 80 km/h, 0.025 m για ταχύτητα 100 km/h και 0.05 m για μεγαλύτερες ταχύτητες, τιμές ιδιαίτερα χαμηλές οι οποίες κινούνται στην λογική της εξασφάλισης της μέγιστης δυνατής ασφάλειας μέσω της θέσπισης πολύ μικρού ύψους εμποδίου. Η τιμή του ύψους του εμποδίου αυξάνεται στην επόμενη έκδοση (12) και λαμβάνεται μηδέν για ταχύτητες έως και 60 km/h, 0.05 m για 70 km/h και προσαυξάνεται σταδιακά μέχρι τα 0.45 m για ταχύτητες μελέτης 120 km/h και άνω, τιμή εννιαπλάσια από αυτήν η οποία οριζόταν στις προηγούμενες οδηγίες. Οι τιμές αυτές διατηρήθηκαν με την έκδοση του 1995 (13), ενώ στις ισχύουσες οδηγίες RAA (14) η τιμή για το ύψος του εμποδίου ορίζεται ίση με 0.50 m για τις ταχύτητες μελέτης των αυτοκινητοδρόμων (80-130 km/h), αυξάνοντας το μέγιστο ελάχιστο ύψος εμποδίου που ίσχυε μέχρι τότε κατά 11%.



Σχήμα 3.1: Η εξέλιξη των τιμών του ύψους του εμποδίου για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες.

Η μεταβολή των τιμών του **συντελεστή εφαπτομενικής τριβής f_T** για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση ήταν επίσης διαρκής, παρουσιάζοντας μια αρκετά ενδιαφέρουσα διαχρονική εξέλιξη. Στην πρώτη έκδοση η οποία εξετάστηκε (11) τα μήκη ορατότητας για στάση υπολογίζονταν από την Σχέση 3.1, από την οποία και εξήχθησαν οι τιμές του συντελεστή τριβής για τις ανάγκες τις παρούσας Δ.Ε.. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί, ότι στις οδηγίες δεν εμπεριέχεται καμία πληροφορία για τις τιμές του συντελεστή για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας

για στάση αλλά ούτε και κάποια μαθηματική σχέση για τον υπολογισμό τους. Στις δύο επόμενες οδηγίες (12), (13) που εξετάστηκαν εμπεριέχεται μόνο η σχέση υπολογισμού του συντελεστή σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης, χωρίς ωστόσο να γίνεται αναφορά σε κάποιες μετρήσεις ή έρευνες οι οποίες να τεκμηριώνουν τις τιμές αυτές. Με την έκδοση των οδηγιών RAA του 2008 επήλθε μια σημαντική αλλαγή στην θεώρηση της τιμής του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής, η οποία αποτέλεσε τμήμα μιας γενικότερης αναθεώρησης του τρόπου με τον οποίο γίνεται ο γεωμετρικός σχεδιασμός των οδών.

$$\bullet \quad B_e = V_e t + \frac{V_e^2}{2g(f_1 + \frac{s}{100})} \dots\dots\dots (3.1)$$

όπου:

B_e = συνολικό μήκος πέδησης (m)

V_e = ταχύτητα μελέτης (m/s)

t = χρόνος αντίδρασης-έναρξης πέδησης (2 sec)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s²)

f_1 = συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

s = κατά μήκος κλίση (%)

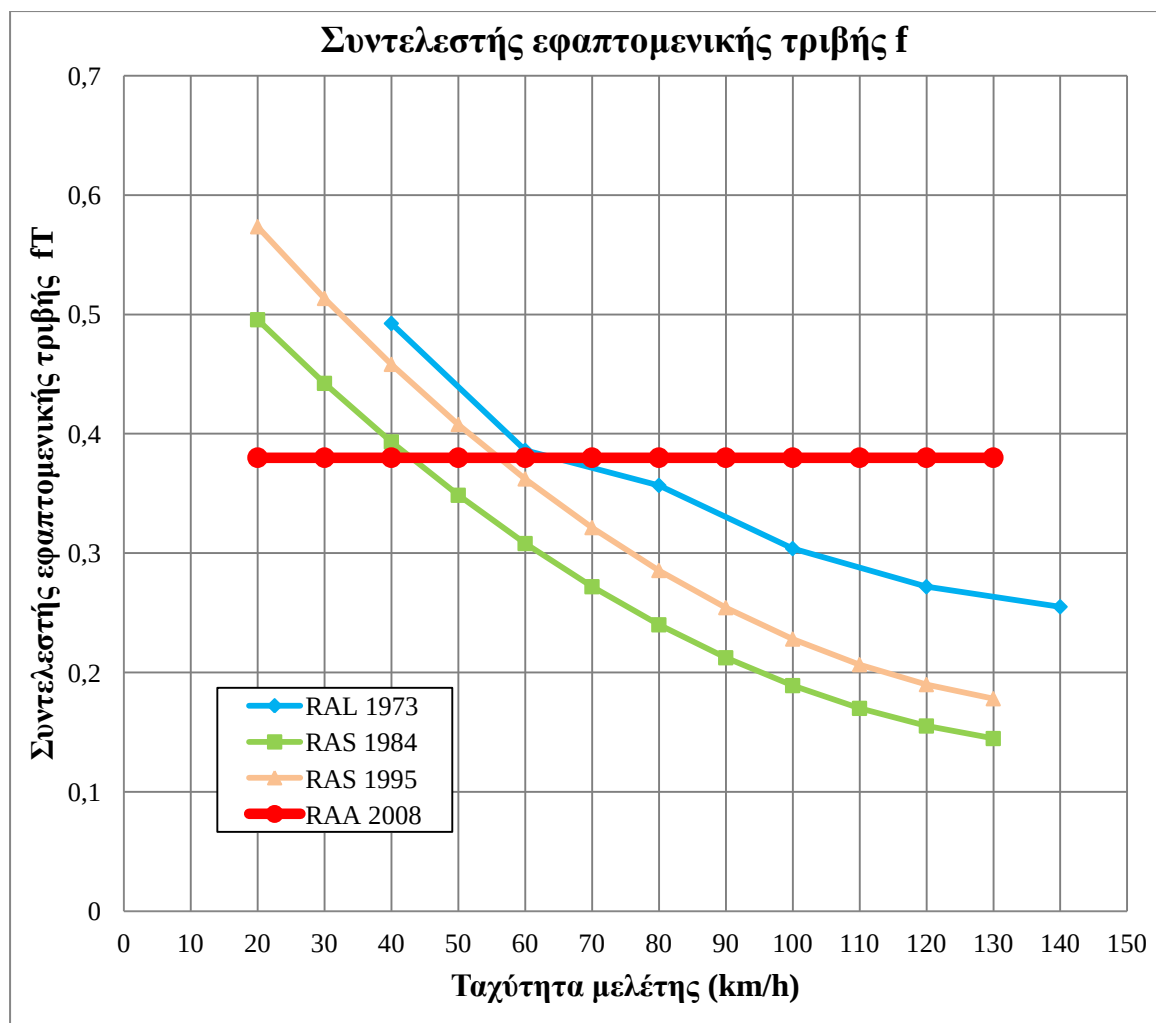
Ήδη από το 2005, οι γερμανικές αρχές προχωρούσαν σε αναθεώρηση των οδηγιών του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών. Όλες οι οδηγίες μέχρι τότε είχαν σαν βάση τους για τον καθορισμό όλων των παραμέτρων του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών τους νόμους της κινηματικής των οχημάτων. Αυτή η λογική ωστόσο άρχισε να χάνει την σημασία της και στις γερμανικές οδηγίες υιοθετήθηκε σαν αρχή για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών η κατάταξή τους σε κατηγορίες (design classes), καθεμία από τις οποίες έχει ενιαία γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα οποία φυσικά παραμένουν σύμφωνα με τους νόμους της κινηματικής των οχημάτων. Έτσι οι οδηγοί θα μπορούν να αντιλαμβάνονται από την γεωμετρία της εκάστοτε οδού ποιά θα πρέπει να είναι η ανάλογη οδηγική τους συμπεριφορά (self-explaining road). Οι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν σε αυτήν την αναθεώρηση περιγράφονται σε δημοσίευση των W. Brilon και C. Lippold (8).

Η βάση της κινηματικής των οχημάτων, η οποία και καθόριζε μέχρι τότε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών, ήταν ο συντελεστής εφαπτομενικής τριβής των ελαστικών των οχημάτων σε βρεγμένο οδόστρωμα. Επιπλέον, γινόταν η υπόθεση ότι ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα. Οι τιμές του συντελεστή ελήφθησαν από εργαστηριακές μετρήσεις και όχι από μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον οδών, εξάγοντας τιμές που έφταναν και το 0.25 για ταχύτητα 80 km/h. Επιπλέον επισημαίνεται ότι για μεγαλύτερες ταχύτητες δεν υπήρχαν διαθέσιμα εμπειρικά δεδομένα.

Στην δημοσίευση αναφέρονται δύο σειρές μετρήσεων της επιβράδυνσης οχημάτων σε βρεγμένα οδοστρώματα υπό πραγματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα αυτών έδειξαν, ότι η μέγιστη επιβράδυνση δεν επηρεαζόταν από την ταχύτητα του οχήματος αρκεί τα ελαστικά να ικανοποιούσαν τις συνηθισμένες τεχνικές απαιτήσεις. Επιπλέον, οι τιμές οι οποίες ελήφθησαν ήταν υψηλότερες από τις αναμενόμενες. **Ως εκ τούτου, για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, ο συντελεστής εφασπτομενικής τριβής αντικαθίσταται από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση, σταθερή για κάθε ταχύτητα μελέτης και ίση με 3.7 m/s^2 για υφιστάμενες οδούς και 4.3 m/s^2 για νέες οδούς.**

Οι τιμές αυτές ωστόσο είναι ιδιαίτερα υψηλές για να εφαρμοστούν στους νόμους της κινηματικής των οχημάτων, καθώς θα οδηγούσαν σε πολύ χαμηλές τιμές αρκετές παραμέτρους του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, όπως τις ελάχιστες ακτίνες καμπύλων οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, έχοντας σαν αποτέλεσμα τον σχεδιασμό οδών με κακή προοπτική απεικόνιση (φαινόμενο του «λούνα παρκ», κυματισμός κ.ά.). Επιπλέον, στην δημοσίευση επικαλούνται έρευνες οι οποίες δείχνουν ότι οι οδηγοί δεν οδηγούν πάντα όπως προβλέπουν οι νόμοι της κινηματικής που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό των οδών. Έτσι γίνεται σαφές, ότι η κινηματική των οχημάτων δεν μπορεί να συνεχίσει να είναι καθοριστικής σημασίας σε επόμενους κανονισμούς.

Η εξέλιξη αυτή αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.2. Με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (12) οι τιμές του συντελεστή μειώθηκαν σημαντικά κατά ένα ποσοστό της τάξης του 40% για ταχύτητες μελέτης άνω των 90 km/h. Στους επόμενους κανονισμούς (13) αντίθετα υπήρξε μια αύξηση περίπου 14% για ταχύτητες μελέτης μέχρι 50 km/h και έως 18% για ταχύτητες άνω των 100 km/h. Με την έκδοση του 2008 (14), για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση ο συντελεστής εφασπτομενικής τριβής αντικαθίσταται όπως προαναφέρθηκε με την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση a , σταθερή και ίση με 3.7 m/s^2 . Θέτοντας την τιμή αυτή στη σχέση $f_T = a/g$ η οποία συνδέει τον συντελεστή εφασπτομενικής τριβής με την επιβράδυνση πέδησης λαμβάνεται συντελεστής $f_T = 0.38$, τιμή ενιαία για όλες τις ταχύτητες μελέτης. Η τιμή αυτή, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.2, είναι ελαφρώς μειωμένη για χαμηλές ταχύτητες σχεδιασμού έως και 50 km/h, αλλά ιδιαίτερα αυξημένη για μεγαλύτερες ταχύτητες.



Σχήμα 3.2: Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής f_T για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες.

Συνδυάζοντας όλες τις παραπάνω μεταβλητές σε ένα **μαθηματικό πρότυπο** εξάγεται το μήκος ορατότητας για στάση. Αυτό αποτελείται από δύο επί μέρους αθροίσματα, το μήκος το οποίο διανύεται κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης του οδηγού και το μήκος το οποίο διανύεται κατά τη διάρκεια της τροχοπέδησης. Η σχέση υπολογισμού του πρώτου μήκους παρέμεινε αμετάβλητη και ίση με $S_1 = (V_{85}/3.6) \cdot t_R$, όπου και ο χρόνος αντίδρασης t_R παρέμεινε αμετάβλητος στα 2.0 sec, ενώ η μαθηματική σχέση υπολογισμού του δεύτερου μήκους S_2 μεταβαλλόταν συνεχώς όπως παρατίθεται ακολούθως. Μέχρι και το 1995 η σχέση υπολογισμού ήταν ιδιαίτερα περίπλοκη, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη και την επιρροή της αντίστασης του αέρα στο όχημα. **Με τις οδηγίες του 2008 εισήχθη μια πιο απλουστευμένη σχέση, στην οποία ο συντελεστής εφαπτομενικής τριβής έχει αντικατασταθεί από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση a . Η αλλαγή αυτή αποτελεί ουσιαστικά επαναφορά της σχέσης η οποία ίσχυε μέχρι και την έκδοση του 1973 (11).**

- **RAL 1973** : $S_2 = \frac{V_e^2}{2g(f_1 + \frac{s}{100})}$ (3.2)

- **RAS 1984** : $S_2 = 157.6 * \ln\left(\frac{0.250 * (\frac{V}{100})^2 - 0.640 * \frac{V}{100} + 0.615 + \frac{s}{100}}{0.615 + \frac{s}{100}}\right) + \frac{202}{\sqrt{0.205 + \frac{s}{100}}} * \arctan\left(\frac{\frac{V}{100} * \sqrt{0.205 + \frac{s}{100}}}{1.229 + 2 * \frac{s}{100} - 0.640 * \frac{V}{100}}\right)$ (3.3)

- **RAS 1995** : $S_2 = 147.8 * \ln\left(\frac{0.266 * (\frac{V}{100})^2 - 0.72 * \frac{V}{100} + 0.708 + \frac{s}{100}}{0.708 + \frac{s}{100}}\right) + \frac{213}{\sqrt{0.233 + \frac{1.064 * s}{100}}} * \arctan\left(\frac{\frac{V}{100} * \sqrt{0.233 + \frac{1.064 * s}{100}}}{1.42 + 2 * \frac{s}{100} - 0.72 * \frac{V}{100}}\right)$ (3.4)

- **RAA 2008** : $S_2 = \frac{(\frac{V}{3.6})^2}{2 * g * (\frac{s}{100} + f_t)} = \frac{(\frac{V}{3.6})^2}{2 * (a + g * \frac{s}{100})}$ (3.5)

Όπου : V_e = ταχύτητα μελέτης, m/s

$V = V_{85}$ ταχύτητα σχεδιασμού, km/h

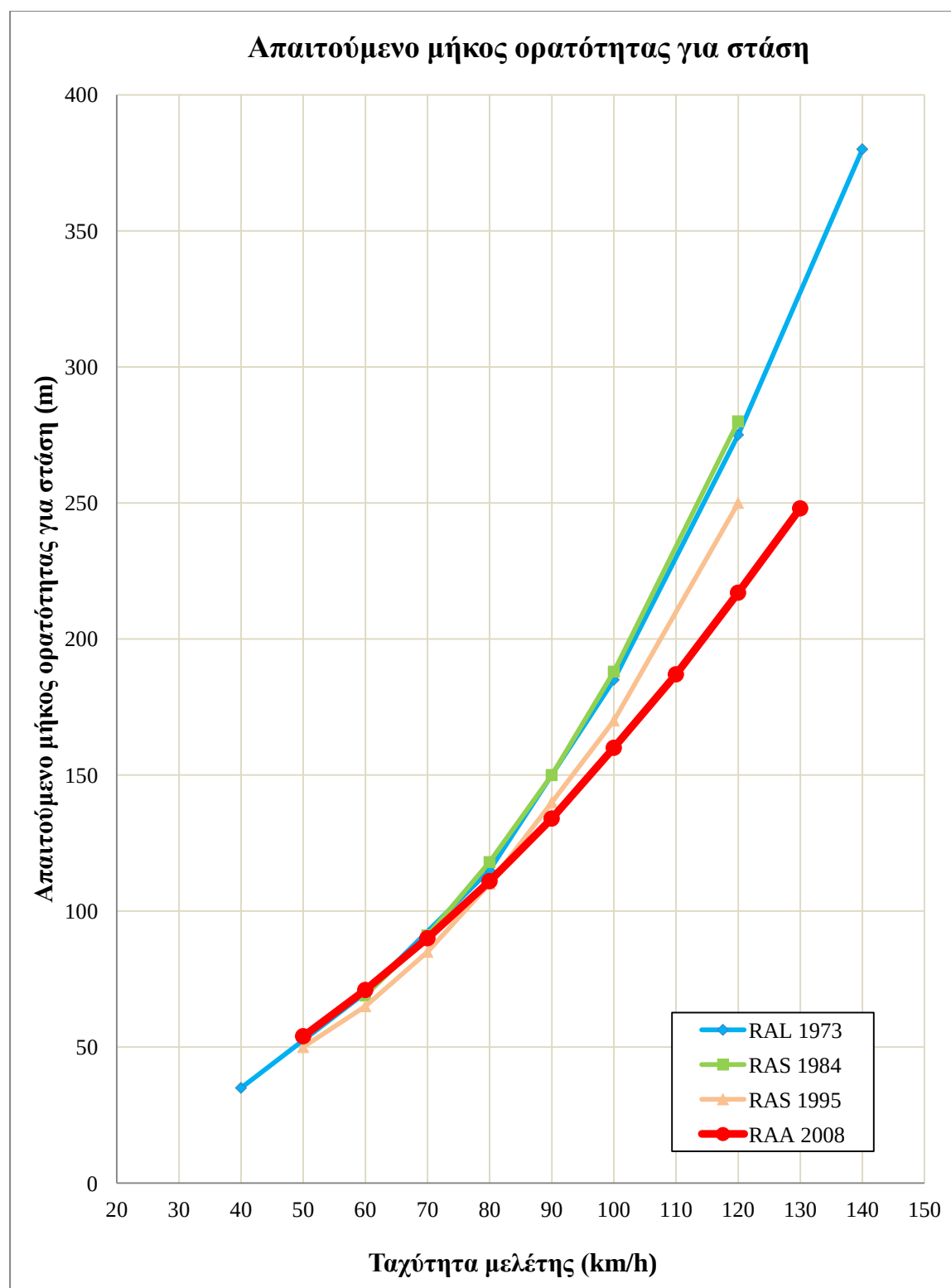
s = κατά μήκος κλίση (+ για ανωφέρεια, - για κατωφέρεια), %

g = επιτάχυνση της βαρύτητας, 9.81 m/s^2

f_T = συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής

a = επιβράδυνση, 3.7 m/s^2

Η εξέλιξη των **απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση** αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.3. Οι τιμές τους παρέμειναν πρακτικώς αμετάβλητες από την έκδοση του 1973 (11) στην έκδοση του 1984 (12), ακολουθώντας πτωτική πορεία στη συνέχεια. Στην έκδοση του 1995 (13), τα μήκη ορατότητας για στάση είναι περίπου 5% μειωμένα για ταχύτητες μελέτης έως και 80 km/h και περίπου 10% μειωμένα για μεγαλύτερες ταχύτητες. Η αλλαγή αυτή οφείλεται αποκλειστικά στη νέα σχέση υπολογισμού και στην αύξηση της τιμής του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής, καθώς όλες οι άλλες παράμετροι παρέμειναν σταθερές. Ανάλογη της πορείας των τιμών του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής είναι και η διόρθωση του μήκους ορατότητας για στάση στις οδηγίες RAA (14). Η καθιέρωση της ίδιας τιμής για όλες τις ταχύτητες μελέτης αύξησε το μήκος ορατότητας για στάση 5-8% για ταχύτητες μελέτης μέχρι 70 km/h ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες το μήκος ορατότητας για στάση μειώθηκε έως και 15%.



Σχήμα 3.3: Η εξέλιξη του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες

3.1.2 Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας

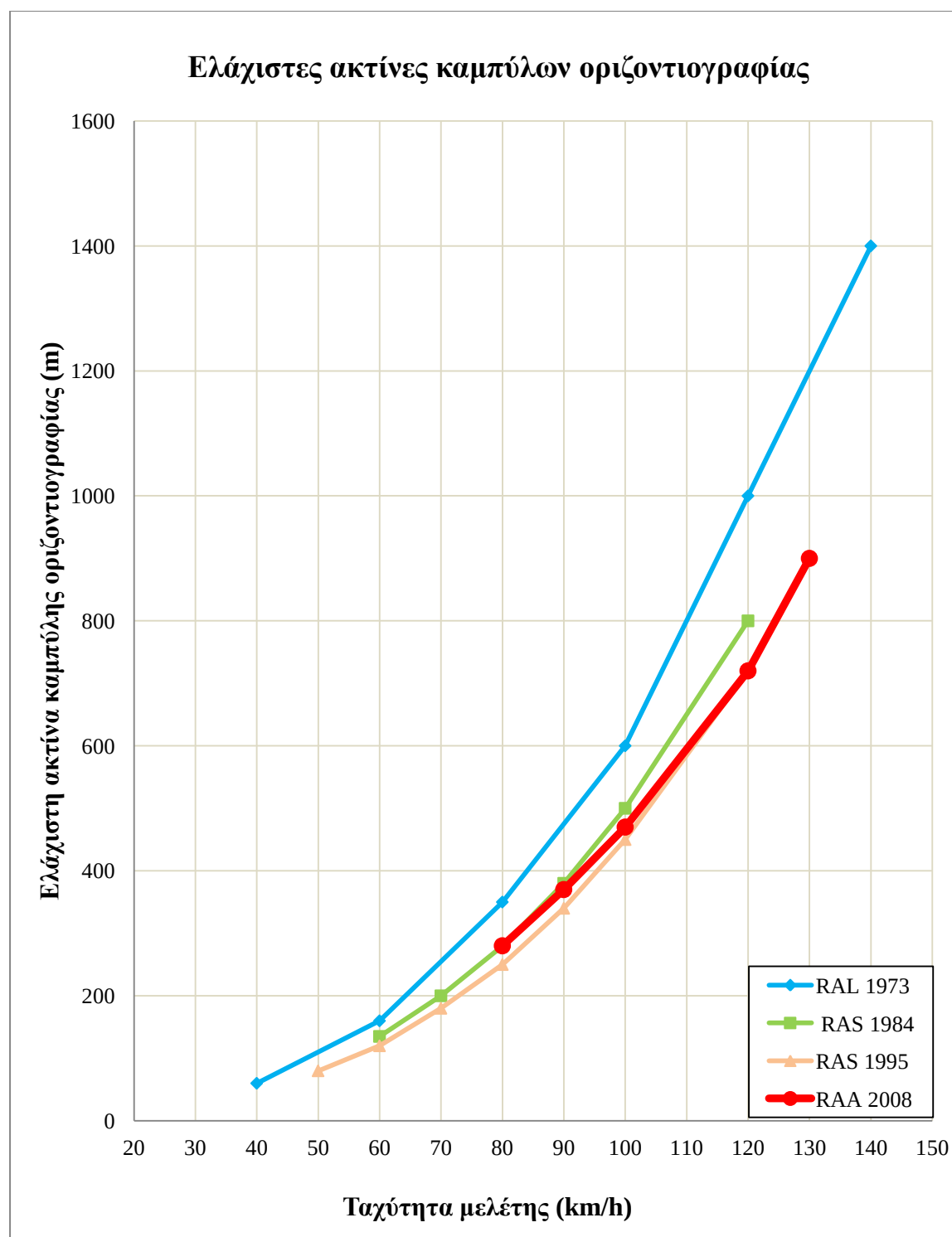
Οι **οριζοντιογραφικές καμπύλες** είναι το κρίσιμο στοιχείο της οριζοντιογραφίας το οποίο πρέπει να ελεγχθεί και να εξασφαλιστεί έναντι περιορισμένης ορατότητας. Καθώς η ελάχιστη ακτίνα των καμπύλων της οριζοντιογραφίας καθορίζεται από την δυναμική της κίνησης των οχημάτων και όχι με βάση απαιτήσεις σε ορατότητα, η επάρκεια αυτής πρέπει να ελέγχεται εκ των υστέρων και να γίνονται διορθώσεις όπου αυτό είναι αναγκαίο. Σε έλεγχο επάρκειας της ορατότητας πρέπει να υποβάλλονται οι εξωτερικές λωρίδες οδών σε δεξιές στροφές όπου η ορατότητα μπορεί να παρεμποδίζεται από εξωτερικά εμπόδια (πρανή ορυγμάτων, φύτευση κ.ά.) και οι εσωτερικές λωρίδες οδών με κεντρικό στηθαίο ασφαλείας σε αριστερές στροφές όπου η ορατότητα μπορεί να παρεμποδιστεί από το ίδιο το κεντρικό στηθαίο.

Η ακτίνα της οριζοντιογραφικής καμπύλης είναι αντιστρόφως ανάλογη του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής f_R (Σχέση 3.6), ο οποίος όμως λαμβάνεται ως ποσοστό του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής ($\max f_R = 0.925 \cdot f_T$). Ως εκ τούτου, η μεταβολή του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής επηρεάζει άμεσα τις ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας. Σε αυτήτην ενότητα εξετάζεται πώς η διαχρονική μεταβολή του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής επηρέασε τις ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας, καθώς και πώς αυτές επηρέασαν με την σειρά τους την ορατότητα στις οδούς.

$$\min R = \frac{V^2}{127 \cdot (\max f_R \cdot n + q)} \dots\dots\dots (3.6)$$

Όπου : $\min R$ = ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης, m
 V = ταχύτητα, km/h
 $\max f_R$ = μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής, ($= 0.925 \cdot f_T$)
 n = ποσοστό του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής
 q = επίκλιση

Η εξέλιξη των ελάχιστων απαιτούμενων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4. Οι τιμές των οδηγιών του 1973 (11) μειώθηκαν σημαντικά κατά περίπου 20% στις οδηγίες του 1984 (12) ενώ επήλθε μια περαιτέρω γενική μείωση περίπου 10% στην επόμενη έκδοση του 1995 (13), ακολουθώντας την αύξηση του συντελεστή τριβής. Με τις οδηγίες του 2008 (14) και σε αντίθεση με την αύξηση του συντελεστή τριβής, οι τιμές των ακτίνων αυξάνονται περίπου 10% για μικρές και μεσαίες ταχύτητες μελέτης μέχρι 80 km/h, για μεγαλύτερες ταχύτητες μέχρι 100 km/h ακολουθείται μια μικρή αύξηση περίπου 5%, ενώ για ταχύτητα μελέτης 120 km/h διατηρείται η τιμή των οδηγιών του 1995.



Σχήμα 3.4: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις γερμανικές οδηγίες (για επίκλιση 6% ή 7%).

Ειδική πρόβλεψη για τον έλεγχο της ορατότητας στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας και ειδικότερα για τον έλεγχο της εσωτερικής λωρίδας οδών με κεντρικό στηθαίο ασφαλείας σε αριστερές στροφές εισήχθη για πρώτη φορά στις οδηγίες του 1995 (13) με το νομογράφημα υπολογισμού της **πλευρικής εκτροπής α**, το οποίο και διατηρήθηκε με την επόμενη έκδοση των οδηγιών (14). Εισάγοντας στο νομογράφημα τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων για τις αντίστοιχες ταχύτητες και για μηδενική κατά μήκος κλίση, λαμβάνονται οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για ταχύτητες μελέτης μέχρι και 90 km/h είναι τόσο μικρές που δεν προβλέπονται από το νομογράφημα και που σε κάθε περίπτωση απαιτούν πλευρική εκτροπή άνω των 2.5 m. Για μεγαλύτερες ταχύτητες μελέτης, σχεδιάζοντας μια οριζοντιογραφική καμπύλη με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα, κατά την έκδοση του 1995 (13) απαιτείται πλευρική εκτροπή 6.3 m για ταχύτητα μελέτης 100 km/h και πάνω από 8 m για 120 km/h (για 120 km/h στο νομογράφημα τίθεται ως ελάχιστη ακτίνα για μηδενική κατά μήκος κλίση τα 800 m, ενώ η αντίστοιχη επιτρεπόμενη minR είναι 720 m). Στην έκδοση του 2008 (14), οι τιμές αυτές μειώνονται σε 5 m για ταχύτητα μελέτης 100 km/h, σε 6.3 m για ταχύτητα 120 km/h και σε 6.5 m για ταχύτητα 130 km/h, δεδομένου και του γεγονότος ότι τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για τις αντίστοιχες ταχύτητες μελέτης μειώθηκαν.

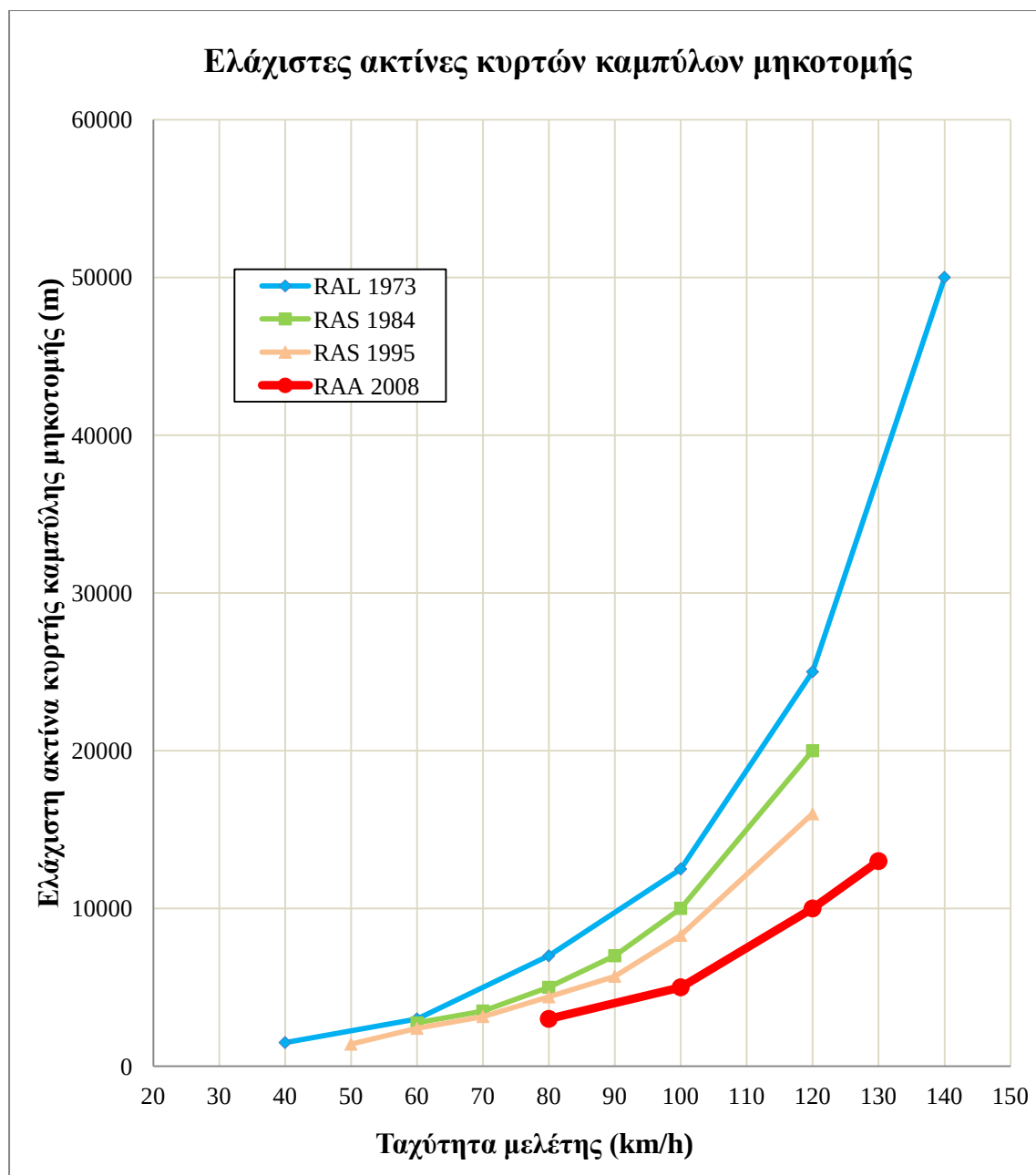
Πίνακας 3.1: Απαιτούμενο μήκος πλευρικής εκτροπής για τις ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις γερμανικές οδηγίες.

RAS 1995		
Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Ελάχιστη ακτίνα minR (m) (για επίκλιση q=7%)	Πλευρική εκτροπή a (m)
80	250	≈3*
90	340	≈4,5*
100	450	6,3
120	720	>8*
RAA 2008		
Ταχύτητα μελέτης (km/h)	Ελάχιστη ακτίνα minR (m) (για επίκλιση q=6%)	Πλευρική εκτροπή a (m)
80	280	≈3*
90	370	≈4*
100	470	5
120	720	6,3
130	900	6,5
* Ο συνδυασμός ταχύτητας-ακτίνας δεν προβλέπεται από το νομογράφημα και η τιμή της πλευρικής εκτροπής είναι κατ'εκτίμηση.		

3.1.3 Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της μηκοτομής

Οι κυρτές καμπύλες είναι το κρίσιμο στοιχείο της μηκοτομής σε ότι αφορά την επάρκεια της ορατότητας, σε αντίθεση με τις κοίλες καμπύλες οι οποίες κατά τη διάρκεια της ημέρας προσφέρουν καλή εποπτικότητα της οδού. Η διαχρονική εξέλιξη των ελάχιστων τιμών τους είναι άμεση συνάρτηση της μεταβολής της τιμής του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, αλλά και της μεταβολής της τιμής του ελάχιστου ύψους εμποδίου (βλ. Σχήμα 2.3). Σε αυτή την ενότητα αναλύεται πώς η μεταβολή του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση και του ύψους του εμποδίου επηρέασε την εξέλιξη των τιμών των ακτίνων των κυρτών και κοίλων καμπύλων της μηκοτομής. Στην πρώτη έκδοση η οποία εξετάστηκε (11) αναφέρεται ότι οι ακτίνες των κυρτών και κοίλων καμπύλων της μηκοτομής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες, ώστε να επιτυγχάνεται μια ομαλή μετάβαση από την μία κατά μήκος κλίση στην άλλη και να μην δημιουργείται η εντύπωση μιας τεθλασμένης γραμμής. Ως αποτέλεσμα, οι ελάχιστες τιμές που ορίζονταν ήταν ιδιαίτερα υψηλές για τα σημερινά δεδομένα. Στην έκδοση αυτή των οδηγιών ωστόσο σημειώνεται πως οι ελάχιστες τιμές οι οποίες τίθενται μπορούν να μην τηρούνται όταν αφενός εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα, αφετέρου η προοπτική απεικόνιση της οδού παραμένει ομαλή.

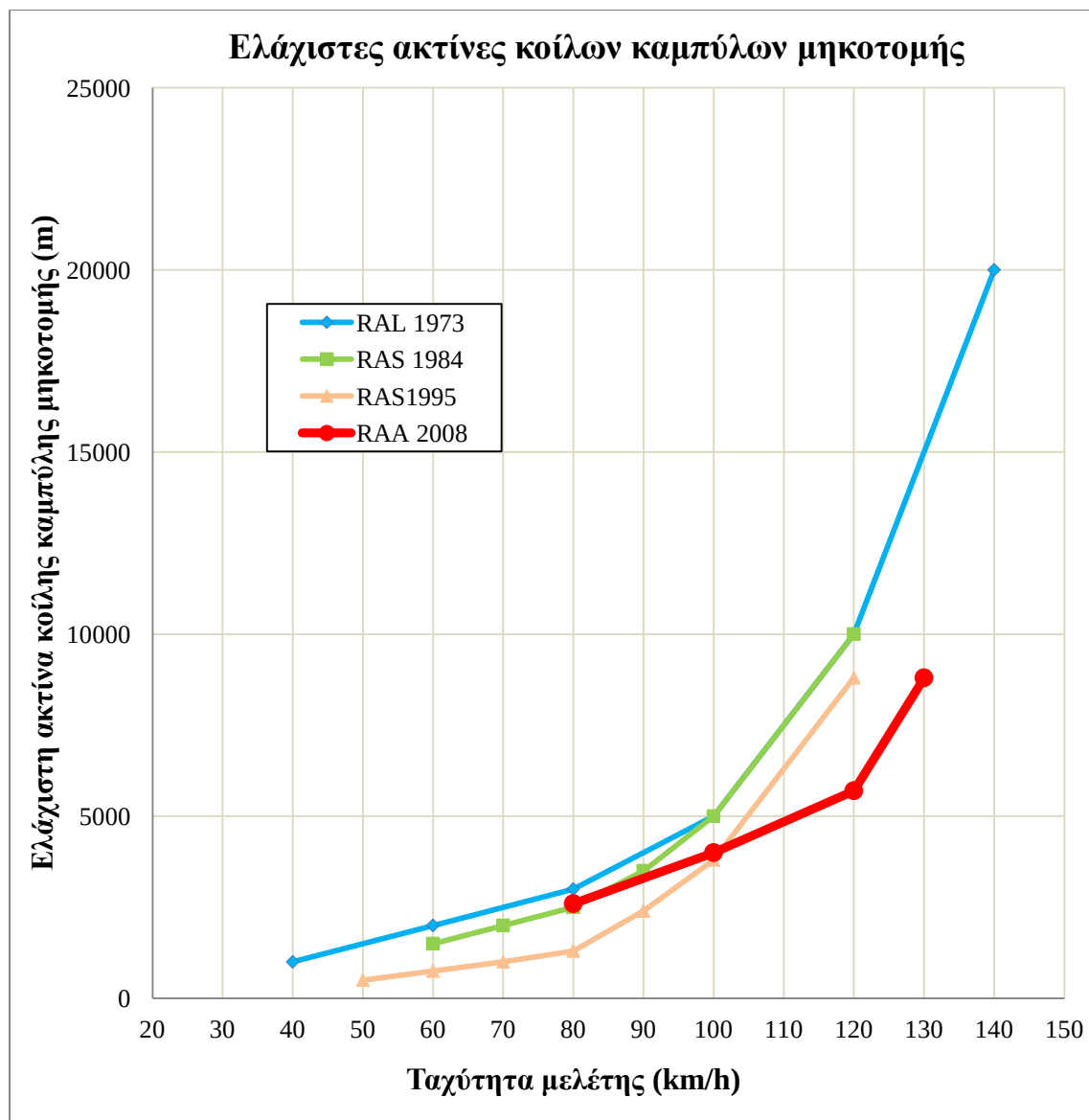
Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των **ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής** μειώνονταν συνεχώς με κάθε νέα έκδοση των γερμανικών οδηγιών. Υπό την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα και ομαλή προοπτική απεικόνιση, υπήρξε μιας συνεχής προσπάθεια να οριστούν τιμές τέτοιες που να επιτρέπουν όσο το δυνατό την καλύτερη προσαρμογή της οδού στην μορφολογία του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, με την έκδοση του 1984 (12) οι τιμές των ακτίνων των κυρτωμάτων μειώθηκαν σημαντικά, από 8% για ταχύτητες μελέτης μέχρι 60 km/h έως 20-30% για ταχύτητες μέχρι 120 km/h. Η μείωση αυτή οφείλεται αποκλειστικά στην μεγάλη αύξηση του ελάχιστου ύψους εμποδίου (έως και 9 φορές για μεγάλες ταχύτητες, βλ. Σχήμα 3.1) αφού τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση παρέμειναν πρακτικώς αμετάβλητα. Αντίθετα, η περαιτέρω μείωση στην επόμενη έκδοση (13) οφείλεται αποκλειστικά στην μείωση των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση, αφού η τιμή του ύψους του εμποδίου παρέμεινε αμετάβλητη. Έτσι, η μείωση περίπου 5% του μήκους ορατότητας για στάση για ταχύτητες μέχρι 80 km/h επέφερε μείωση περίπου 10% στις αντίστοιχες τιμές των ακτίνων των κυρτωμάτων και η μείωση 10% του μήκους ορατότητας για στάση για μεγαλύτερες ταχύτητες επέφερε μείωση περίπου 20% στις τιμές των αντίστοιχων ακτίνων. Στις οδηγίες του 2008 (14) τέλος, ο συνδυασμός της αύξησης 11% της τιμής του ύψους του εμποδίου και της μείωσης έως και 19% του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση για μεγάλες ταχύτητες επέφερε σημαντική μείωση στις ακτίνες των κυρτωμάτων η οποία κυμαίνεται στο 32-40% για μεγάλες ταχύτητες μελέτης. Η εξέλιξη αυτή παρουσιάζεται στο συνοπτικά στο διάγραμμα του Σχήματος 3.5.



Σχήμα 3.5: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής στις γερμανικές οδηγίες.

Η πορεία των τιμών των **ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής** δεν ήταν ανάλογη (Σχήμα 3.6) και κινήθηκε περισσότερο με γνώμονα κριτήρια καλής προοπτικής απεικόνισης. Σε κάθε έκδοση των οδηγιών πάντως αναφέρεται ότι με τις ελάχιστες τιμές οι οποίες τίθενται στις ακτίνες των κοίλων καμπύλων εξασφαλίζεται επαρκής ορατότητα σε περιπτώσεις όπου στο κοίλωμα υπάρχει άνω διάβαση. Οι υψηλές τιμές της έκδοσης του 1973 (11) μειώθηκαν στην επόμενη έκδοση (12) μόνο για ταχύτητες μελέτης μέχρι 80 km/h κατά 15-20%, ενώ παρέμειναν

αμετάβλητες για μεγαλύτερες ταχύτητες. Στις οδηγίες του 1995 (13) οι τιμές μειώθηκαν σημαντικά κατά 50% για ταχύτητες μελέτης μέχρι 80 km/h, μείωση η οποία βαίνει μειούμενη μέχρι τα 120 km/h και φτάνει το 10%. Αυτή η μείωση του 50% των τιμών για τις χαμηλότερες ταχύτητες μελέτης αναιρείται με την έκδοση των οδηγιών του 2008 (14) και οι τιμές των ακτίνων των κοίλων καμπύλων επιστρέφουν στα επίπεδα του 1984. Αντίθετα, για ταχύτητες από 100 km/h και άνω υπάρχει περαιτέρω μείωση που φτάνει ακόμη και το 35%.



Σχήμα 3.6: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις γερμανικές οδηγίες.

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ

3.2.1 Η εξέλιξη των τιμών των παραδοχών και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση.

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται η διαχρονική μεταβολή των τιμών του χρόνου αντίδρασης του οδηγού, του ύψους των οφθαλμών του οδηγού, του ύψους του εμποδίου και του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής στις αμερικανικές οδηγίες, αλλά και πως αυτή επηρέασε τις τιμές του ίδιου του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Οι τιμές των παραδοχών αυτών δεν παρουσίαζαν σημαντικές μεταβολές μέχρι και την έκδοση των οδηγιών AASHTO του 1994 (3). Το 1997 ωστόσο, το πρόγραμμα NCHRP - National Cooperative Highway Research Program (10) του αμερικανικού Συμβουλίου για την Έρευνα στις Μεταφορές (Transportation Research Board) δημοσίευσε μια έκθεση στο πλαίσιο της οποίας διεξήχθησαν αρκετές έρευνες και μελέτες με αντικείμενο τον επαναπροσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων και του τρόπου υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση στις αμερικανικές οδηγίες. Τα συμπεράσματα της έκθεσης ενσωματώθηκαν στην επόμενη έκδοση των αμερικανικών οδηγιών του 2001 (4), επιφέροντας αρκετές αλλαγές στον προσδιορισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. **Επισημαίνεται ότι για τις ανάγκες τις παρούσας Δ.Ε. οι τιμές των στοιχείων των δύο πρώτων εκδόσεων (1), (2) μεταφέρθηκαν από το αγγλοσαξωνικό στο μετρικό σύστημα, με αποτέλεσμα οι καμπύλες των διαγραμμάτων αυτής της ενότητας να μην είναι απόλυτα ομαλές.**

Ο χρόνος αντίληψης-αντίδρασης πέδησης λαμβάνεται σταθερά 2.5 sec σε όλες τις εκδόσεις των αμερικανικών οδηγιών οι οποίες εξετάστηκαν, τιμή η οποία τεκμηριώνεται σε κάθε έκδοση από διάφορες μελέτες. Η κυριότερη η οποία αναφέρεται είναι μια έρευνα των Johansson και Rumar (1971), κατά την οποία ο μέσος χρόνος αντίδρασης των οδηγών σε αναμενόμενο εμπόδιο ήταν 0.66 sec, με το 10% των οδηγών να χρειάζεται 1.5 sec. Προ μη αναμενόμενου εμποδίου οι οδηγοί χρειάζονταν επιπλέον 1.0 sec για να αντιδράσουν. Ως εκ τούτου, στις αμερικανικές οδηγίες θεωρείται ότι ο χρόνος αντίληψης-αντίδρασης των 2.5 sec είναι επαρκής για τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 90% των χρόνων αντίδρασης των διαφόρων οδηγών και αντιστοιχώντας σε άνετη επιβράδυνση του οχήματος. **Σημειώνεται ωστόσο στην έκθεση του NCHRP (10) ότι παρά το γεγονός πως ο χρόνος αυτός των 2.5 sec πρέπει να διατηρηθεί, μικρότεροι χρόνοι αντίληψης - αντίδρασης είναι ίσως πιο κατάλληλοι σε περιοχές όπου ο οδηγός βρίσκεται σε μεγαλύτερη εγρήγορση, όπως π.χ. σε οδούς με φωτεινή σηματοδότηση, ενώ αντίστοιχα μεγαλύτερος χρόνος αντίληψης-αντίδρασης ίσως είναι πιο κατάλληλος σε περιοχές κόμβων, όπου ο οδηγός πρέπει να λάβει πιο περίπλοκες αποφάσεις.**

Στο ύψος των οφθαλμών του οδηγού έγινε μία μόνο μικρή μείωση περίπου 9% με τις οδηγίες του 1984 (2), από 3.75 ft (=1,14 m) σε 3.5 ft (=1,08 m), τιμή η οποία διατηρήθηκε σε όλες τις επόμενες εκδόσεις των οδηγιών. Η αλλαγή αυτή επεξηγείται στις οδηγίες, στις οποίες αναφέρεται ότι από το 1960 και έπειτα, το ύψος των οχημάτων μειώθηκε κατά περίπου 2.6 in (= 6.6 cm), επιφέροντας μείωση 2.1 in (= 5.3 cm) στο ύψος των οφθαλμών του οδηγού. Στην έκδοση του 2001 (4) επισημαίνεται ότι το ύψος αυτό παγιώθηκε από το 1984 και έπειτα, καθώς αφενός περαιτέρω μείωση δεν μπορεί να γίνει για πρακτικούς κατασκευαστικούς λόγους, αφετέρου τυχούσα περαιτέρω μείωση δεν θα είχε πρακτικά οφέλη στον σχεδιασμό των οδών καθώς θα επέφερε πολύ μικρές αλλαγές στις ακτίνες των καμπύλων της μηκοτομής.

Όπως και η τιμή του ύψους των οφθαλμών του οδηγού, έτσι και η τιμή του **ύψους του εμποδίου** άλλαξε μία μόνο φορά με την έκδοση των οδηγιών του 2001 (4), στην οποία αυξήθηκε σημαντικά από τις 6 in (= 150 mm) στα 600 mm. Η αλλαγή αυτή προήλθε από ριζική αναθεώρηση του σκεπτικού με βάση το οποίο καθοριζόταν η τιμή του.

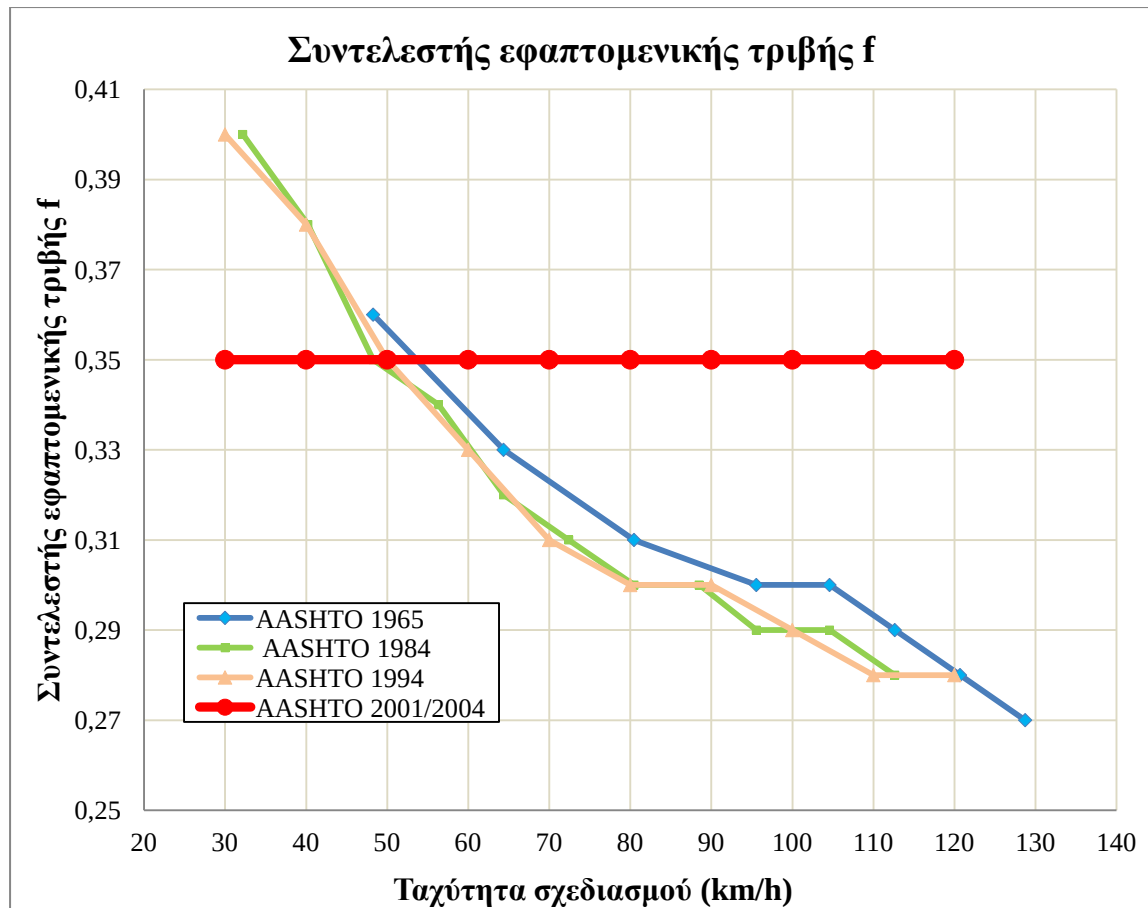
Μέχρι και την έκδοση του 1994 (3) αναγνωριζόταν ότι προς επίτευξη της μέγιστης δυνατής ασφάλειας η τιμή του ύψους του εμποδίου θα έπρεπε να τίθεται ίση με μηδέν. Αναφέρεται ωστόσο ότι προς αποφυγή επιπλέον αδικαιολόγητου κόστους κατασκευής, η χρήση εμποδίου μηδενικού ύψους δεν μπορεί να θεωρηθεί πρακτική. Αντίστοιχα, ένα εμπόδιο μεγάλου ύψους, όπως η οροφή ενός οχήματος, θα απέκλειε μικρότερα, όμως εξίσου επικίνδυνα για πρόκληση σοβαρών ατυχημάτων εμπόδια. Στην ίδια έκδοση αναφέρεται επιπλέον ότι ακόμα και η λήψη ενός εμποδίου ύψους 2 ft (= 610 mm) στο οποίο και βρίσκονται τα πίσω φώτα των οχημάτων, θα απέκλειε μικρότερα εμπόδια τα οποία είναι ικανά να προκαλέσουν σοβαρό ατύχημα. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι το απαιτούμενο μήκος της κυρτής καμπύλης της μηκοτομής μειώνεται πολύ γρήγορα καθώς το ύψος του θεωρούμενου εμποδίου αυξάνεται από μηδέν σε 6 in (= 150 mm), ενώ περαιτέρω αύξηση δεν επιφέρει σημαντική μείωση στο μήκος των κυρτών καμπύλων. Ειδικότερα, στις οδηγίες του 1984 (2) αναφέρεται ότι χρήση εμποδίου μηδενικού ύψους οδηγεί σε μήκη κυρτών καμπύλων 85% μεγαλύτερα από αυτά τα που απαιτούνται με τη χρήση εμποδίου ύψους 150 mm ενώ αμφισβητείται το κατά πόσο ενισχύεται η δυνατότητα αντίληψης ενός κινδύνου από τους οδηγούς με τον σχεδιασμό κυρτωμάτων μεγάλου μήκους.

Η θεώρηση αυτή άλλαξε με την έκδοση των οδηγιών του 2001 (4) στην οποία και ενσωματώθηκαν τα αποτελέσματα των ερευνών τα οποία περιέχονται στην έκθεση του προγράμματος NCHRP (10). Στα συμπεράσματα της έκθεσης αναφέρεται ότι τα ατυχήματα τα οποία προκαλούνται από μικρά αντικείμενα είναι στην πραγματικότητα σπάνια και δεν συνοδεύονται από σοβαρούς τραυματισμούς. Στα αποτελέσματα της έρευνας συμπεραίνεται επιπλέον ότι τα εμπόδια με μικρό ύψος δεν μπορούν να γίνουν ορατά σε απόσταση ίση με το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, ειδικά κατά την νυχτερινή οδήγηση. Για παράδειγμα, ενώ απαιτείται μήκος

ορατότητας για στάση 650 ft (= 198 m) για ταχύτητα 60 mph (= 97 km/h), ένα εμπόδιο ύψους 150 mm γίνεται ορατό μόλις στα 165 ft (=50 m). Αντίθετα, αναφέρεται ότι οι συχνότεροι κίνδυνοι για τους οδηγούς είναι τα μεγάλα ζώα και άλλα οχήματα. **Ως εκ τούτου προτείνεται να θεωρηθεί σαν κρίσιμο ύψος ενός εμποδίου ικανού να προκαλέσει σοβαρό ατύχημα και το οποίο είναι ορατό τόσο την ημέρα, όσο και τη νύχτα, το ύψος στο οποίο βρίσκονται τα πίσω φώτα των οχημάτων και που στο 95% των οχημάτων είναι πάνω από 600 mm.** Η πρόταση αυτή ενσωματώθηκε στην έκδοση του 2001 (4) ενώ διατηρήθηκε και στην επόμενη έκδοση του 2004 (5).

Η εξέλιξη της τιμής του **συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής** στις αμερικανικές οδηγίες ήταν ανάλογη με με αυτή του συντελεστή στις γερμανικές οδηγίες και παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7. Οι τιμές της έκδοσης του 1965 (1) αποτελούν όπως αναφέρεται έναν μέσο όρο των ελάχιστων τιμών που έχουν μετρηθεί σε βρεγμένα οδοστρώματα, χωρίς ωστόσο να λαμβάνονται υπόψη ακραίες περιπτώσεις, όπως αυτή του παγετού. Σημειώνεται ωστόσο, ότι οι μετρήσεις οι οποίες είχαν γίνει μέχρι τότε ήταν μάλλον ελλιπείς και δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για όλες τις πιθανές περιπτώσεις των πραγματικών συνθηκών που επικρατούν στις οδούς. Ως εκ τούτου, οι τιμές οι οποίες ορίζονται αποτελούν εν μέρει παραδοχές και χαρακτηρίζονται ως “πρακτικές και συντηρητικές”. Στην επόμενη έκδοση των αμερικανικών οδηγιών (2) υπήρξε μια γενική μικρή μείωση των τιμών του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής κατά 3%, τιμές οι οποίες και διατηρήθηκαν και στην έκδοση του 1994 (3). Στις οδηγίες του 2001 (4) και για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση, ο συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής αντικαθίσταται από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση.

Η αλλαγή αυτή αποτέλεσε μέρος μιας γενικότερης αναθεώρησης που πραγματοποιήθηκε, η οποία βασίστηκε και πάλι στα αποτελέσματα των ερευνών που έγιναν στα πλαίσια της έκθεσης του προγράμματος NCHRP (10). Τα αποτελέσματα αυτά έδειξαν ότι ανεξάρτητα από την ταχύτητα με την οποία κινείται ένα όχημα, το 90% των οδηγών μπορούν να επιτύχουν επιβράδυνση σε βρεγμένο οδόστρωμα ίση με 3.4 m/s^2 και σε στεγνό οδόστρωμα 3.8 m/s^2 . Αναφέρεται ότι οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε αυτό το οποίο θεωρείται από πολλούς οδηγούς ως ομαλή και άνετη επιβράδυνση και επισημαίνεται ότι οι περισσότεροι οδηγοί επιλέγουν μεγαλύτερη επιβράδυνση από αυτή, ενώ και τα περισσότερα οδοστρώματα έχουν μεγαλύτερο συντελεστή τριβής από αυτόν που αντιστοιχεί σε επιβράδυνση πέδησης 3.4 m/s^2 ($f = a/g$, για $a = 3.4 \text{ m/s}^2$ και $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $f = 0.35$). **Ως εκ τούτου, προτείνεται για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση να λαμβάνεται η επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση a και όχι ο συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής f , σταθερή και ίση με 3.4 m/s^2 .** Η πρόταση αυτή υιοθετήθηκε με την έκδοση του 2001 (4) ενώ διατηρήθηκε στην επόμενη και ισχύουσα έκδοση του 2004 (5).



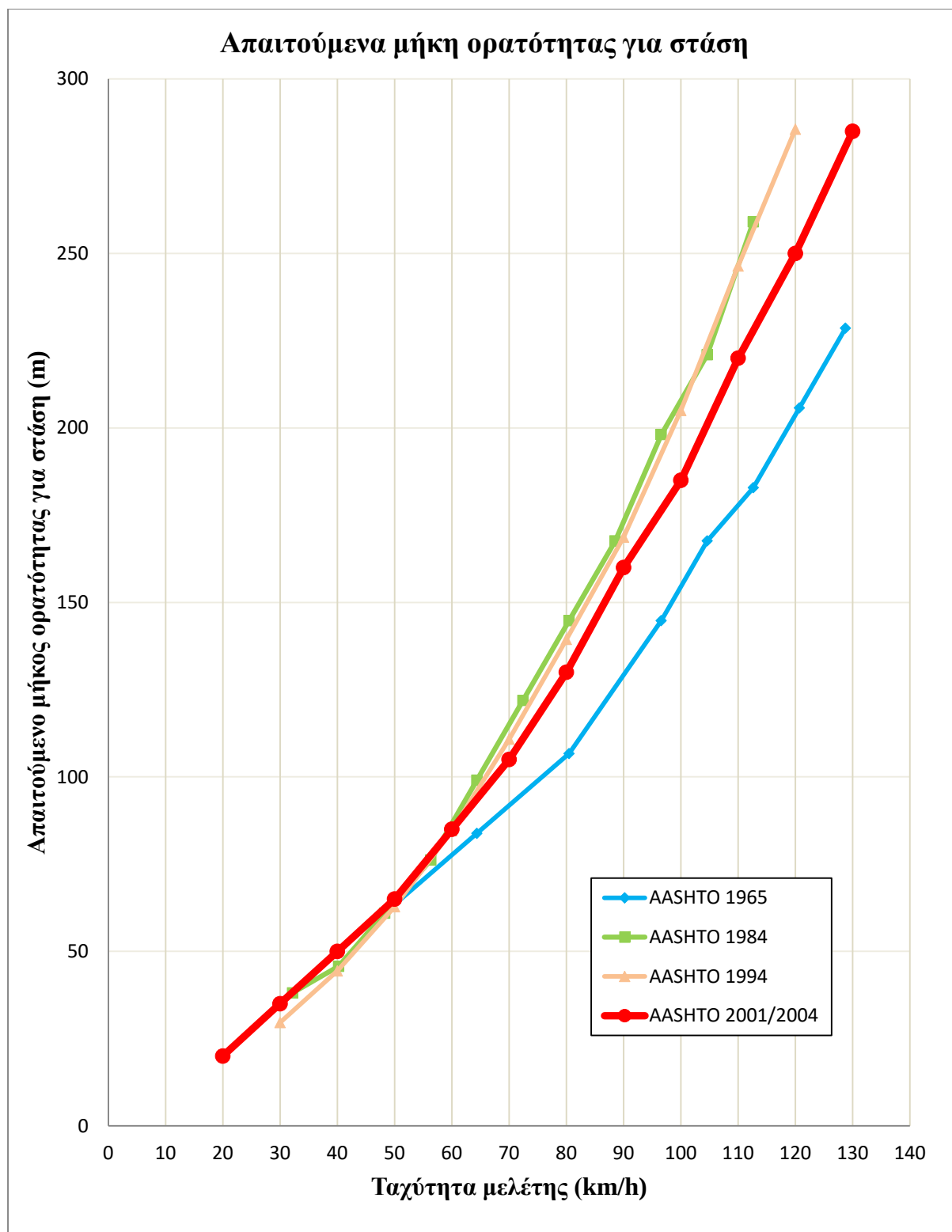
Σχήμα 3.7: Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή επαπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις αμερικανικές οδηγίες.

Η **σχέση υπολογισμού** του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρέμεινε αμετάβλητη σε όλες τις οδηγίες, με εξαίρεση την αντικατάσταση του συντελεστή επαπτομενικής τριβής από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση όπως παρατίθεται ακολούθως. Η εξέλιξη των τιμών του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.8.

- **AASHTO 1965,1984,1994:** $SSD = 0.278 * V * t + \frac{V^2}{254 * (f \pm G)}$ (3.7)

- **AASHTO 2001,2004:** $SSD = 0.278 * V * t + \frac{V^2}{254 * \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)}$ (3.8)

(Για $G = 0\%$: $SSD = 0.278Vt + 0.039V^2/\alpha$)



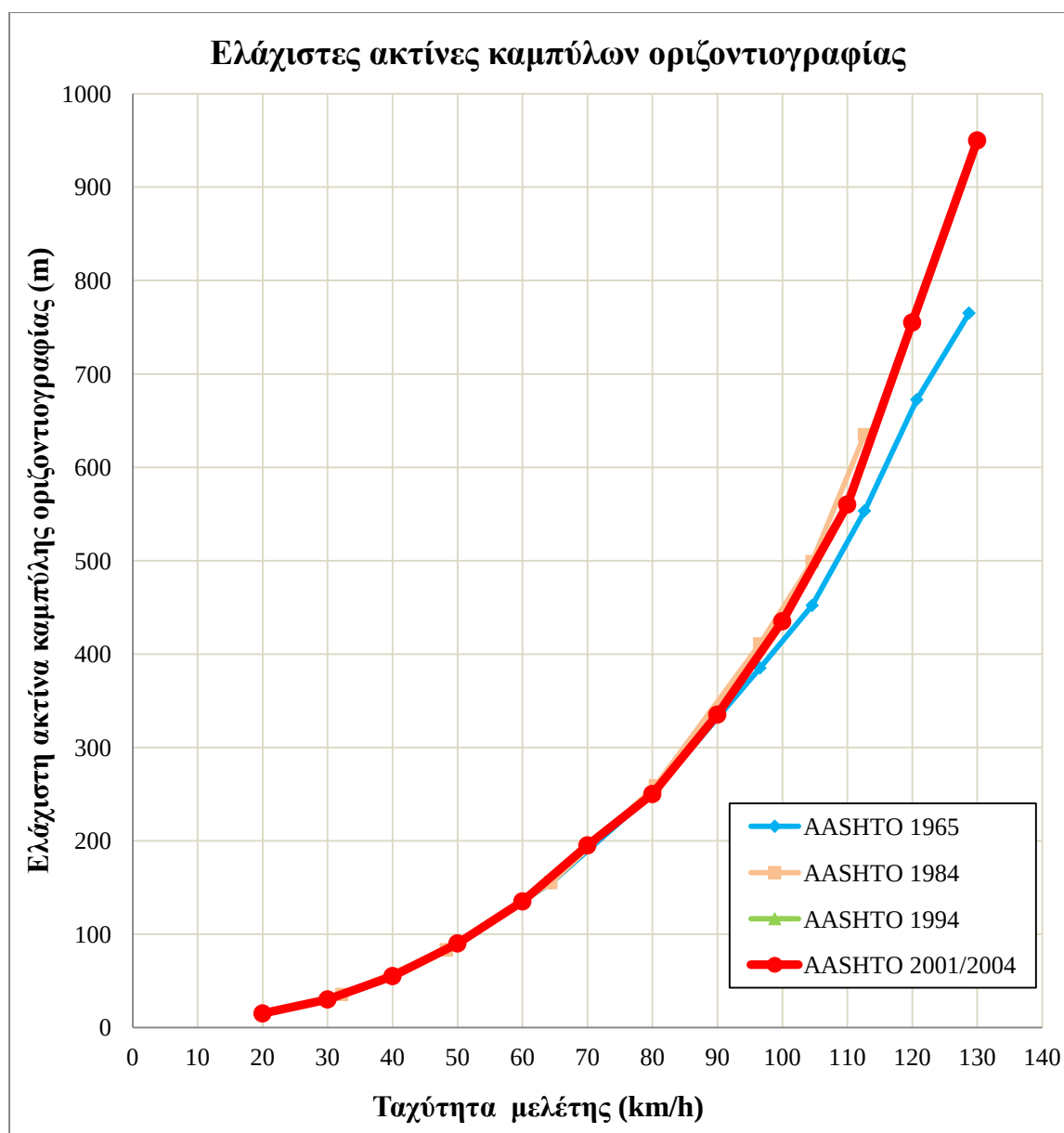
Σχήμα 3.8: Η εξέλιξη των τιμών του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις αμερικανικές οδηγίες.

Οι χαμηλές τιμές των οδηγιών του 1965 (1) παρέμειναν πρακτικά αμετάβλητες με την έκδοση του 1984 (2) για χαμηλές ταχύτητες μελέτης έως και 50 km/h, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες η μείωση 3% της τιμής του συντελεστή επαπτομενικής τριβής επέφερε σημαντική αύξηση στο μήκος ορατότητας για στάση από 20-35% για ταχύτητες μελέτης έως και 100 km/h, φτάνοντας και το 40% για ταχύτητα μελέτης 120 km/h. Οι τιμές αυτές παρέμειναν πρακτικά ίδιες και στις οδηγίες του 1994 (3). Στην επόμενη έκδοση που εξετάστηκε (4), εξαιτίας του γεγονότος ότι το μήκος ορατότητας για στάση υπολογίζεται με την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση, η οποία και είναι σταθερή για όλες τις ταχύτητες μελέτης, οι τιμές αυξάνονται από 5-20% για ταχύτητες μελέτης έως και 50 km/h, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες μειώνονται κατά 5 με 12%.

3.2.2 Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας

Καθώς οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής μειώθηκαν ελαφρά για μεγάλες ταχύτητες μελέτης με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2) και στη συνέχεια παρέμειναν αμετάβλητες (βλ. Κεφάλαιο 2.3.3), οι τιμές των **ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας** αυξήθηκαν μόνο μία φορά κατά 10-15% για ταχύτητες μελέτης άνω των 80 km/h ενώ από τότε παραμένουν στα ίδια επίπεδα (Σχήμα 3.9).

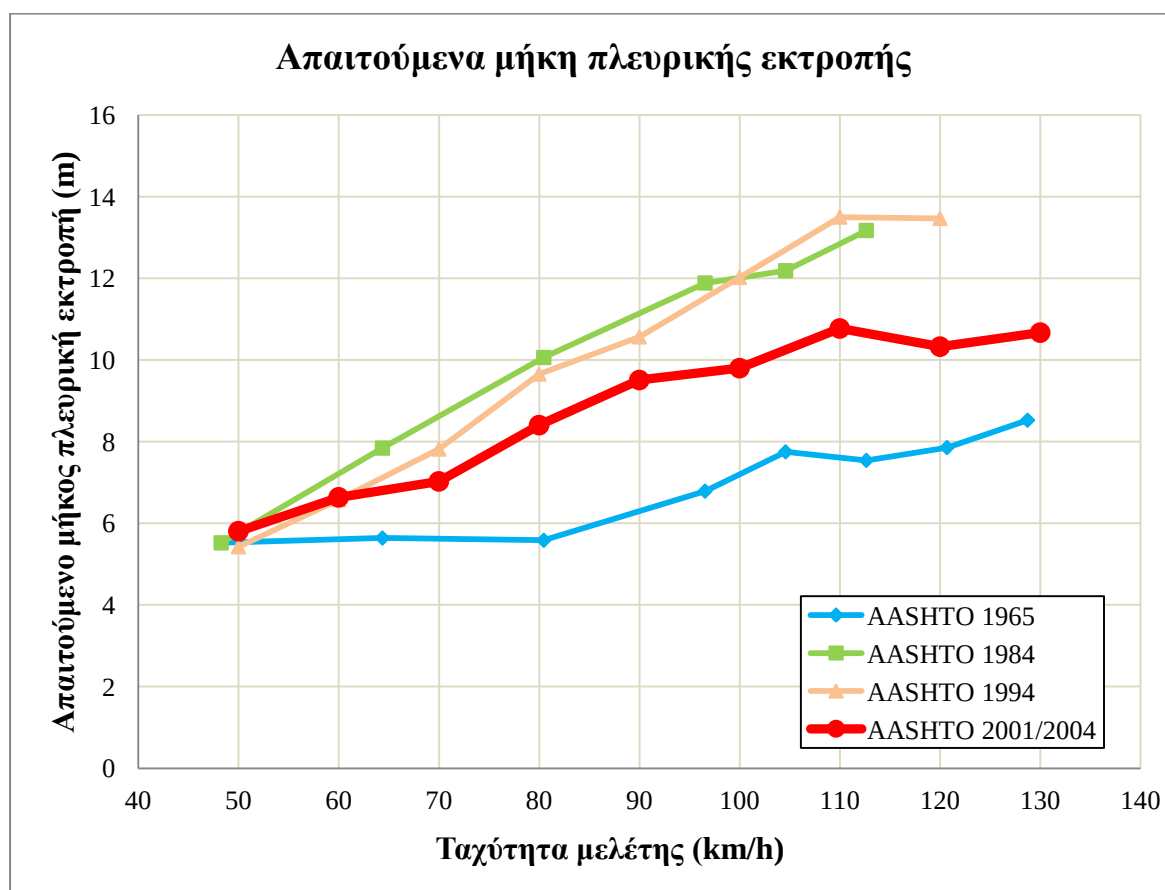
Στις αμερικανικές οδηγίες υπάρχουν επιμέρους οδηγίες για τον έλεγχο της ορατότητας στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας ήδη από την έκδοση του 1965 (1) μέσω της **πλευρικής εκτροπής M** (Σχήμα 2.4) με την οποία οριοθετείται η περιοχή παραπλεύρως της οδού η οποία πρέπει να μείνει ελεύθερη από εμπόδια ύψους μεγαλύτερου των 600 mm. Και στις αμερικανικές οδηγίες ωστόσο οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας διαμορφώθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων χωρίς να συνυπολογίζονται τυχόν περιορισμοί λόγω απαιτήσεων ορατότητας. Ο έλεγχος δηλαδή της επάρκειας της ορατότητας στις οριζοντιογραφικές καμπύλες γίνεται εκ των υστέρων και αφού ένα οδικό τμήμα έχει σχεδιαστεί. Στην έκδοση των οδηγιών του 1984 (2) αναφέρεται ότι ο έλεγχος επάρκειας της ορατότητας, ο οποίος αρχικά γινόταν μόνο στην εξωτερική λωρίδα οδών σε δεξιές στροφές για τυχόν παρεμπόδιση της ορατότητας από εμπόδια εκτός της οδού (π.χ. πρηνή ορυγμάτων), μπορεί να εφαρμοστεί και για τον έλεγχο της ορατότητας της εσωτερικής λωρίδας οδού με κεντρικό στηθαίο ασφαλείας σε αριστερές στροφές. Η τιμή όμως του ύψους του εμποδίου για τον έλεγχο αυτόν ήταν 600 mm, αρκετά μικρότερη από το συνηθισμένο ύψος του κεντρικού στηθαίου αυτοκινητοδρόμων New Jersey, απαιτώντας ουσιαστικά παρεμβάσεις και διορθώσεις σε πολλά σημεία πολλών οδών. Το μέγιστο αυτό ύψος διορθώθηκε και αυξήθηκε στα 840 mm με την έκδοση των οδηγιών του 2001 (4), ενώ επισημαίνεται ότι η μέγιστη πλευρική εκτροπή δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3.6 m καθώς η ελεύθερη επιφάνεια στο εσωτερικό της λωρίδας θα μετατραπεί από τους οδηγούς σε λωρίδα για προσπέραση.



Σχήμα 3.9: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις αμερικανικές οδηγίες (για επίκλιση $e = 6\%$).

Θέτοντας στην σχέση υπολογισμού της πλευρικής εκτροπής (Σχέση 2.14) τις τιμές των ελάχιστων επιτρεπόμενων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για διάφορες ταχύτητες μελέτης και το αντίστοιχο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, προκύπτει το διάγραμμα του Σχήματος 3.10 στο οποίο παρουσιάζεται το μήκος της απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής και η εξέλιξή του στις εκδόσεις των αμερικανικών οδηγιών που εξετάζονται. Στην έκδοση του 1984 (2) η σημαντική αύξηση του μήκους ορατότητας για στάση, σε συνδυασμό την μικρή αύξηση των ελάχιστων ακτίνων των οριζοντιογραφικών καμπύλων οδήγησε σε σημαντική αύξηση

του μήκους της πλευρικής εκτροπής που φτάνει και το 75% για ταχύτητα σχεδιασμού 110 km/h. Στην επόμενη έκδοση (3), τόσο τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση όσο και οι ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρέμειναν πρακτικά αμετάβλητα, με αποτέλεσμα και οι τιμές της απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής να μην μεταβληθούν. Στις οδηγίες του 2001 (4) τέλος, οι τιμές της απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής μειώθηκαν κατά 10-20% για ταχύτητες σχεδιασμού άνω των 60 km/h, γεγονός το οποίο οφείλεται αποκλειστικά στην μείωση του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση κατά 5-12% αφού οι ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρέμειναν αμετάβλητες. Με βάση τις ισχύουσες οδηγίες (5) και για μεγάλες ταχύτητες μελέτης άνω των 100 km/h, σε μια οριζοντιογραφική καμπύλη η οποία σχεδιάστηκε με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα απαιτείται πλευρική εκτροπή πάνω από 10 m, ενώ στο παρελθόν κυμαινόταν από 8 έως και 13 m.



Σχήμα 3.10: Η εξέλιξη του μήκους της απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής M στις αμερικανικές οδηγίες (για τις τιμές των ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας για επίκλιση $e = 6\%$)

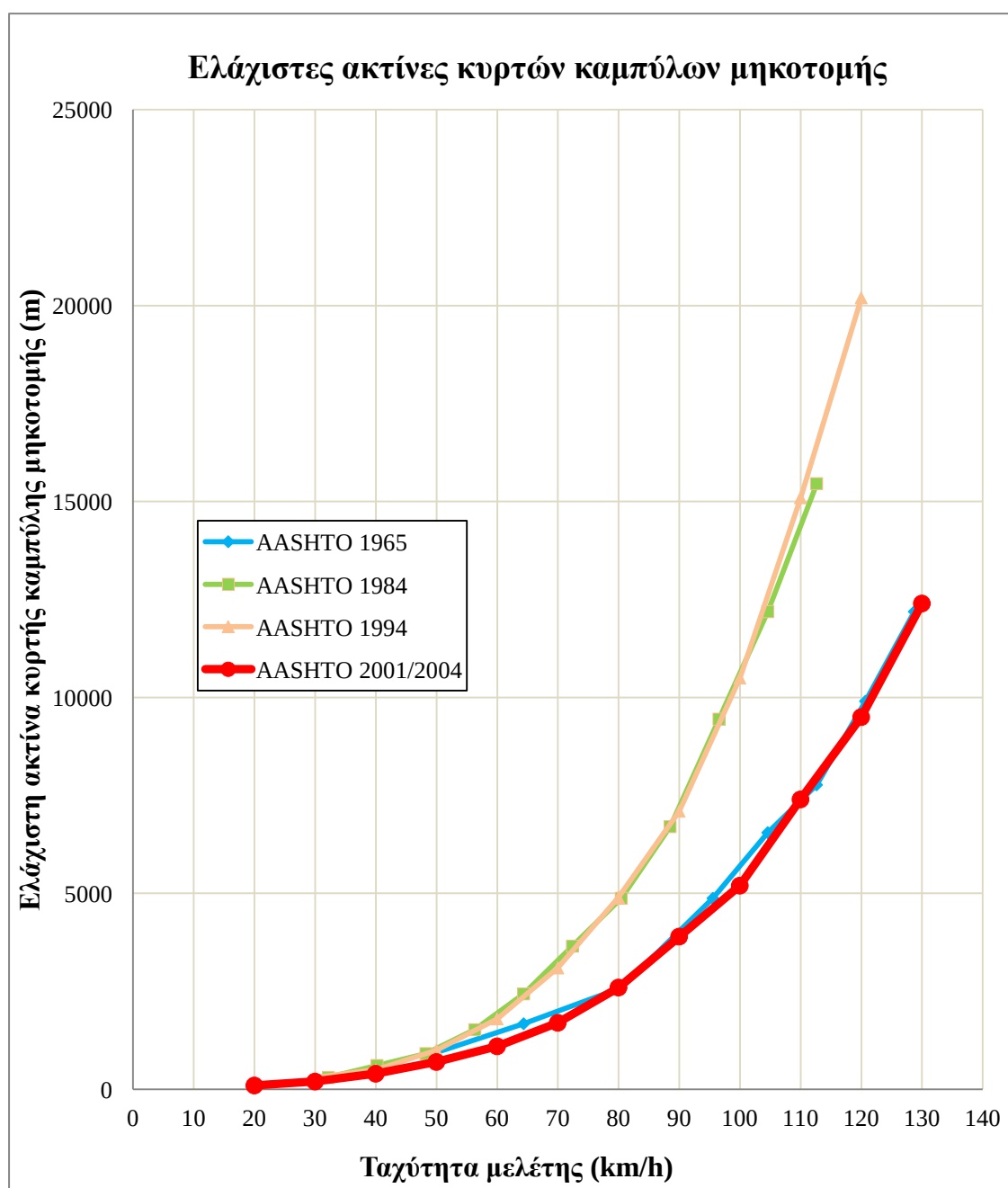
3.2.3 Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της μηκοτομής.

Όπως έχει προαναφερθεί, το κρίσιμο στοιχείο της μηκοτομής το οποίο πρέπει να ελεγχθεί έναντι περιορισμένης ορατότητας είναι οι κυρτές καμπύλες, η ακτίνα των οποίων είναι συνάρτηση του μήκους ορατότητας για στάση, του ύψους του εμποδίου και του ύψους των οφθαλμών του οδηγού. Δεδομένου ότι στις εκδόσεις των αμερικανικών οδηγιών που εξετάστηκαν υπήρξε μία μόνο μικρή μεταβολή στο ύψος των οφθαλμών του οδηγού [από 3.75 ft (=1,14 m) σε 3.5 ft (=1,08 m) με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2)], η εξέλιξη των ελάχιστων τιμών των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής επηρεάστηκε κατά κύριο λόγο από την εξέλιξη των τιμών του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση και του ύψους του εμποδίου.

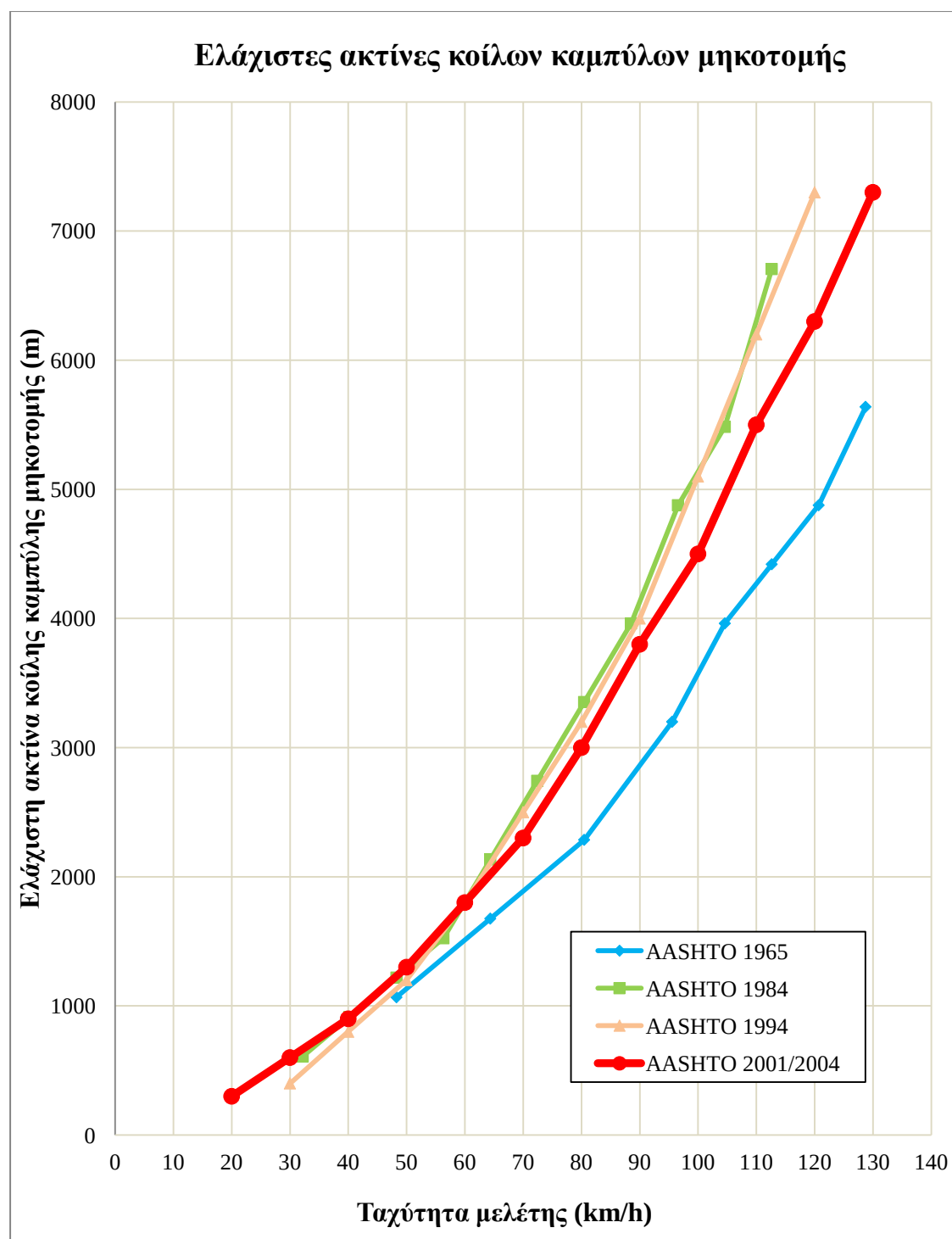
Η εξέλιξη των **ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής** παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.11. Η σημαντική αύξηση των μηκών ορατότητας για στάση η οποία επήλθε με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2), σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα μικρή μείωση του ύψους των οφθαλμών του οδηγού, οδήγησε σε μεγάλη αύξηση των των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής που φτάνει ακόμα και το 100% για ταχύτητες σχεδιασμού άνω των 90 km/h. Στην επόμενη έκδοση (3) τόσο το ύψος του εμποδίου, όσο και τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά, με αποτέλεσμα οι τιμές των ακτίνων των κυρτών καμπύλων να παραμείνουν πρακτικώς αμετάβλητες. Με την επόμενη έκδοση του 2001 (4), η μεταβολή των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής υπήρξε ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Η συνδυασμένη μείωση των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση κατά 5-12% για ταχύτητες μελέτης άνω των 50 km/h σε σχέση με τους κανονισμούς του 1994 (3) και η σημαντική αύξηση του ύψους του εμποδίου από 150 mm σε 600 mm μείωσε τις ελάχιστες ακτίνες των κυρτωμάτων κατά 50% και τις επανέφερε στα επίπεδα των τιμών που ορίζονταν στις οδηγίες του 1965 (1). **Η μεγάλη αύξηση δηλαδή η οποία επήλθε με τους κανονισμούς του 1984 (2) αποδείχθηκε συντηρητική και αναιρέθηκε μετά από τις έρευνες και τις μελέτες του προγράμματος NCHRP (10), με αποτέλεσμα οι σημερινές τιμές των ελάχιστων ακτίνων των κυρτωμάτων να είναι ίδιες με αυτές που ίσχυαν πριν από 35 χρόνια.**

Παρά το γεγονός ότι δεν είναι το κρίσιμο στοιχείο της μηκοτομής το οποίο πρέπει να ελεγχθεί έναντι περιορισμένης ορατότητας, **οι ακτίνες των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής** υπόκεινται σε περιορισμούς και είναι προφανές από τον τρόπο υπολογισμού τους και τα κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιούν (βλ. παρ. 2.3.4) ότι οι τιμές τους είναι άμεση συνάρτηση του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Ως εκ τούτου, η εξέλιξή τους (Σχήμα 3.12) ήταν ανάλογη με την εξέλιξη του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Η αύξηση των μηκών ορατότητας για στάση το 1984 οδήγησε σε αύξηση των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής έως και 50% για μεγάλες ταχύτητες σχεδιασμού ενώ η στασιμότητα των τιμών των μηκών ορατότητας για στάση στις οδηγίες του 1994 (3) άφησε τις τιμές των ακτίνων αμετάβλητες. Με την έκδοση του

2001 (4), οι τιμές των ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής αυξήθηκαν για χαμηλές ταχύτητες σχεδιασμού μέχρι 60 km/h και μειώθηκαν κατά 10-15% για μεγαλύτερες ακολουθώντας την αντίστοιχη αύξηση και μείωση των ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση.



Σχήμα 3.11: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής στις αμερικανικές οδηγίες.



Σχήμα 3.12: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις αμερικανικές οδηγίες.

3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ

3.3.1 Η εξέλιξη των παραδοχών και του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση.

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται η διαχρονική μεταβολή των τιμών του χρόνου αντίδρασης του οδηγού, του ύψους των οφθαλμών του οδηγού, του ύψους του εμποδίου προς αποφυγή και του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής στις αυστραλιανές οδηγίες, αλλά και πως αυτή επηρέασε τις τιμές του ίδιου του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Οι αυστραλιανές οδηγίες διαφέρουν από τις υπόλοιπες που εξετάστηκαν, καθώς οι τιμές οι οποίες τίθενται στις παραδοχές και στα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τις απόλυτα ελάχιστες, τις επιθυμητές ελάχιστες και τις επιθυμητές. Σε αντίθεση δηλαδή με τις γερμανικές και αμερικανικές οδηγίες στις οποίες τίθενται κατώτατα επιτρεπτά όρια τιμών κοινά για όλες τις περιπτώσεις, στις αυστραλιανές οδηγίες προσφέρεται στον μελετητή η δυνατότητα να κρίνει, να αποφασίσει και να επιλέξει ανάλογα με την περίπτωση της χάραξης από ένα εκτεταμένο εύρος δυνατών τιμών.

Για την πλειοψηφία των οδών, οι τιμές των παραδοχών οι οποίες τίθενται βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτές που τίθενται στις αμερικανικές οδηγίες και οδηγούν σε απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση περίπου ίδια με αυτά που ορίζονται στις αμερικανικές οδηγίες και σε σαφώς συντηρητικότερα μήκη από αυτά που ορίζονται στις γερμανικές οδηγίες. Η καινοτομία ωστόσο των αυστραλιανών οδηγιών και ιδιαίτερα της ισχύουσας έκδοσης του 2009 (7) βρίσκεται στις απόλυτα ελάχιστες τιμές οι οποίες προτείνονται για τις παραδοχές. Παρά το γεγονός ότι δεν συνιστώνται για χρήση, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε δυσμενείς περιπτώσεις όπου οι επιθυμητές τιμές δεν μπορούν να εφαρμοστούν. **Ως εκ τούτου, στις ακόλουθες παραγράφους θα δοθεί έμφαση στις απόλυτα ελάχιστες τιμές των παραδοχών, καθώς και στα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση που προκύπτουν από την χρήση των τιμών αυτών.**

Στις αυστραλιανές οδηγίες διαπιστώνεται ότι ο **χρόνος αντίδρασης** εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό εγρήγορσης του οδηγού και ως εκ τούτου δεν μπορεί να τεθεί σε αυτόν μία συγκεκριμένη τιμή για όλες τις περιπτώσεις του υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση. Σε αστικό περιβάλλον για παράδειγμα, λόγω της ύπαρξης πολλών διασταυρώσεων, πολλών οχημάτων, πεζών, φωτεινής σηματοδότησης και σήμανσης γενικότερα, ο βαθμός εγρήγορσης των οδηγών είναι μεγαλύτερος. Αντίστοιχα μεγάλος είναι ο βαθμός εγρήγορσης σε περιοχές κόμβων σε υπεραστικές οδούς όπου το περιβάλλον της οδού είναι πιο περίπλοκο και ο οδηγός πρέπει να το αναλύσει και να λάβει αποφάσεις για την εκτέλεση των κατάλληλων ελιγμών σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, η μονοτονία η οποία προκαλείται συχνά σε υπεραστικές οδούς, ιδιαίτερα όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι χαμηλός ή τα

γεωμετρικά στοιχεία της οδού είναι γενναιόδωρα, καθώς και η οικειότητα την οποία μπορεί να έχουν ορισμένοι οδηγοί με μια συγκεκριμένη διαδρομή μειώνει τον βαθμό εγρήγορσης τους.

Παρά την μεγάλη απόκλιση η οποία παρατηρείται σε καταγεγραμμένες τιμές χρόνου αντίδρασης, η επιθυμητή τιμή η οποία τίθεται και στις δύο εκδόσεις των αυστραλιανών οδηγιών που εξετάστηκαν είναι τα 2.5 sec. Η τιμή αυτή όπως αναφέρεται, έχει προταθεί και από έρευνα (Fildes et al, 2000) με αντικείμενο την οδική ασφάλεια και τον σχεδιασμό των οδών για ηλικιωμένους οδηγούς και πιθανόν αντιπροσωπεύει το 85% όλων των οδηγών. Ο χρόνος αντίδρασης ωστόσο μπορεί να λάβει σαν επιθυμητή ελάχιστη την τιμή των 2 sec σε περιπτώσεις όπου, όπως προαναφέρθηκε, η εγρήγορση των οδηγών είναι αυξημένη (ισόπεδοι κόμβοι, αστικές οδοί ταχείας κυκλοφορίας, υπεραστικές οδοί χαμηλότερων ταχυτήτων, σήραγγες κ.ά).

Οι προαναφερθείσες τιμές διατηρούνται με την επόμενη έκδοση (7), στην οποία όμως εισάγεται για πρώτη φορά η απόλυτα ελάχιστη τιμή του 1.5 sec. Η τιμή αυτή όπως αναφέρεται, μπορεί να εφαρμόζεται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως σε οδούς σε αστικό περιβάλλον ή σε οδούς σε ορεινό και γενικά δυσχερές ανάγλυφο εδάφους. Παρά το γεγονός ότι αποτελεί μια καινοτομία, η τιμή αυτή είναι εφαρμόσιμη για οδούς με ταχύτητες μελέτης έως και 90 km/h, ενώ η ελάχιστη τιμή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον γεωμετρικό σχεδιασμό οδών με ταχύτητα μελέτης έως και 130 km/h είναι τα 2.0 sec. Για τον λόγο αυτόν, τα μήκη ορατότητας για στάση που θα συγκριθούν αργότερα έχουν υπολογιστεί με τιμή χρόνου αντίδρασης 2.0 sec.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες οδηγίες οι οποίες εξετάστηκαν, στις αυστραλιανές οδηγίες το **ύψος των οφθαλμών του οδηγού** αυξήθηκε με την έκδοση του 2009 (7) από 1.05 m σε 1.10 m. Αναφέρεται ότι η αύξηση αυτή βασίστηκε σε πρόσφατες έρευνες, χωρίς ωστόσο να γίνεται κάποια πιο συγκεκριμένη παραπομπή και παρά το γεγονός ότι στην προηγούμενη έκδοση (6) αναφερόταν πως διαχρονικά και διεθνώς, το ύψος των οφθαλμών είχε μια συνεχώς πτωτική πορεία λόγω των κατασκευαστικών προδιαγραφών των σύγχρονων οχημάτων.

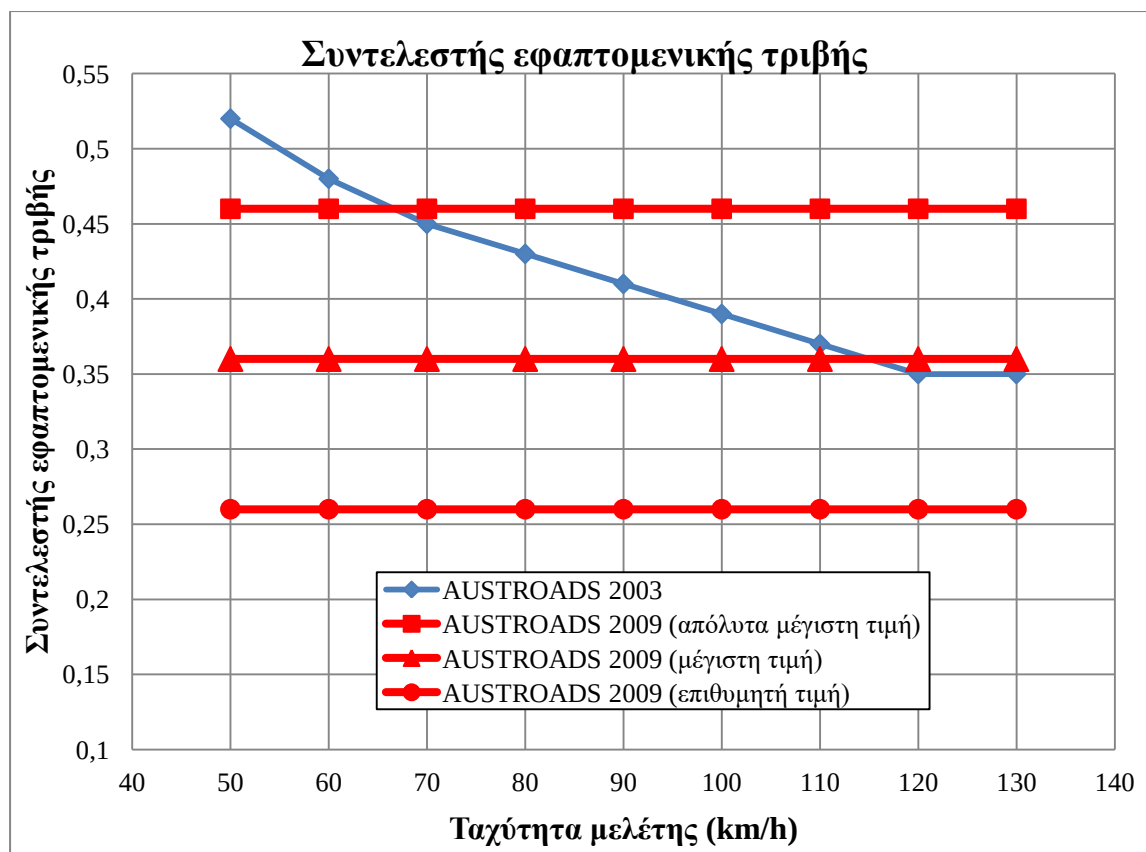
Σε ότι αφορά την τιμή του **ύψους του εμποδίου**, αναφέρεται πως αυτή αποτελεί έναν συμβιβασμό μεταξύ της απόστασης που είναι ορατής από τον οδηγό και του κόστους κατασκευής της οδού. Γίνεται η παραδοχή, ότι για να γίνεται ορατός και ο παραμικρός πιθανός κίνδυνος, όπως μια βλάβη στο οδόστρωμα, το ύψος του εμποδίου θα έπρεπε να τίθεται ίσο με μηδέν. Αμφισβητείται ωστόσο το γεγονός ότι τόσο μικρά εμπόδια μπορούν να γίνουν εγκαίρως αντιληπτά από τους οδηγούς, δεδομένων των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση ειδικά για μεγάλες ταχύτητες. Ένα εμπόδιο μικρού ύψους δηλαδή μπορεί να γίνει αντιληπτό μόνο από κοντινή απόσταση, η οποία όμως δεν επαρκεί για να ακινητοποιηθεί ένα όχημα. Επιπλέον, αναφέρεται πως το απαιτούμενο μήκος της κυρτής καμπύλης της μηκοτομής αυξάνεται πάρα πολύ καθώς το ύψος του εμποδίου πλησιάζει το μηδέν. Ως εκ τούτου, η τιμή του ύψους του εμποδίου η οποία προτείνεται για τον συνήθη γεωμετρικό σχεδιασμό της οριζοντιογραφίας και των κυρτών ακτίνων της μηκοτομής

μιας οδού είναι τα 0.2 m, τιμή η οποία παρέμεινε αμετάβλητη και στους δύο κανονισμούς οι οποίοι εξετάστηκαν. Εμπόδιο μηδενικού ύψους επιτρέπεται να χρησιμοποιείται όπου η οριζόντια διαγράμμιση παίζει σημαντικό κατευθυντήριο ρόλο, όπως σε περιοχές κόμβων, ενώ σε οδούς με συχνή κυκλοφοριακή συμφόρηση ή όπου η ορατότητα παρεμποδίζεται από στηθαία ασφαλείας, το ύψος του εμποδίου λαμβάνει τιμή 0.6 m. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται και για τον σχεδιασμό των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής.

Η τιμή του **συντελεστή εφαπτομενικής τριβής** μέχρι και την έκδοση του 2003 (6) ήταν διαφορετική για την εκάστοτε ταχύτητα μελέτης (βλ. Κεφ. 2.4.2). Αναφέρεται ότι το ύψος των τιμών αυτών είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτές που καταγράφονται σε βρεγμένα οδοστρώματα, ενώ έχουν αυξηθεί συγκριτικά με προηγούμενους κανονισμούς χωρίς άμεση αιτιολόγηση. Επισημαίνεται ωστόσο ότι οι τιμές αυτές είναι τέτοιες, ώστε τα εξαγόμενα μήκη ορατότητας για στάση να οδηγούν σε μια ισορροπία μεταξύ των καμπύλων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής της οδού. Το ύψος των τιμών αυτών δηλαδή καθορίστηκε περισσότερο με βάση κριτήρια καλής προοπτικής απεικόνισης και ισορροπημένης χάραξης.

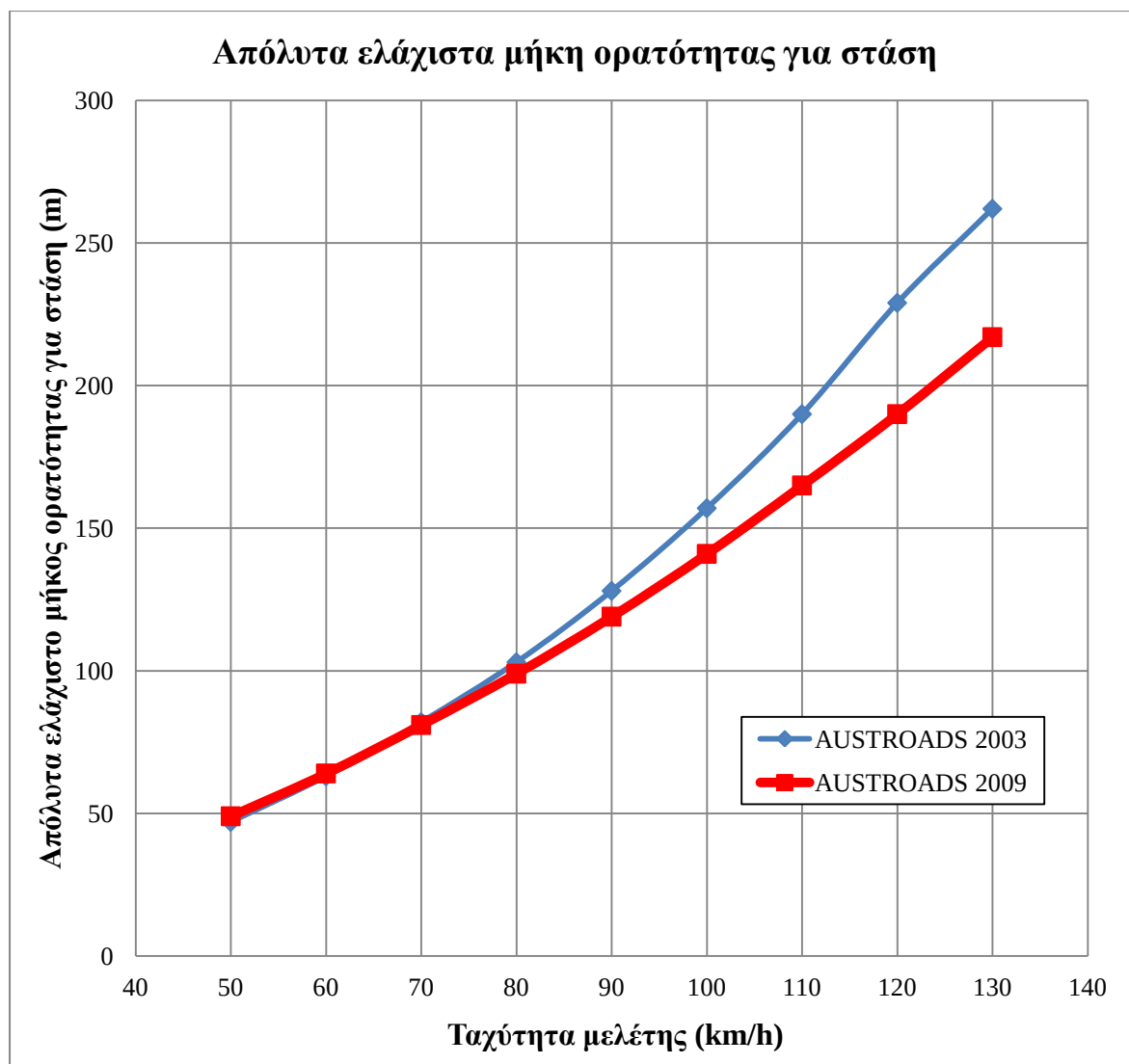
Με την έκδοση των οδηγιών του 2009 (7) επήλθαν σημαντικές αλλαγές στον συντελεστή εφαπτομενικής τριβής. Στις οδηγίες αναφέρεται πλέον ως **εφαπτομενική επιβράδυνση** και λαμβάνει τρεις διαφορετικές τιμές για τα αυτοκίνητα, ανάλογα με το είδος της οδού και όχι ανάλογα με την ταχύτητα μελέτης. Για τους αυτοκινητόδρομους και γενικότερα τις οδούς ταχείας κυκλοφορίας προτείνεται η τιμή 0.26 (η οποία αντιστοιχεί σε επιβράδυνση πέδησης 2.55 m/s^2), η οποία όπως αναφέρεται οδηγεί σε μήκη ορατότητας για στάση τα οποία επαρκούν για μια ομαλή και άνετη επιβράδυνση. Για τον συνήθη σχεδιασμό των αστικών και υπεραστικών οδών προτείνεται η τιμή 0.36 (η οποία αντιστοιχεί σε επιβράδυνση πέδησης 3.53 m/s^2) η οποία είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τις προηγούμενες οδηγίες (6) για ταχύτητες μελέτης έως και 100 km/h, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον ωστόσο παρουσιάζει η τρίτη τιμή η οποία προτείνεται και η οποία τίθεται ίση με 0.46 (αντιστοιχεί σε επιβράδυνση πέδησης 4.51 m/s^2). Παρά το γεγονός ότι δεν συνιστάται για ευρεία εφαρμογή παρά μόνο για ειδικές περιπτώσεις, όπως οδούς δευτερεύουσας σημασίας χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου ή οδούς σε δυσμενές ανάγλυφο εδάφους, μπορεί να έχει εφαρμογή και σε οδούς με μεγαλύτερες ταχύτητες μελέτης. Οι τρεις αυτές τιμές συγκρίνονται με τις τιμές των οδηγιών του 2003 (6) στο Σχήμα 3.13.



Σχήμα 3.13: Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις αυστραλιανές οδηγίες.

Το πλήθος των δυνατών τιμών των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση οδηγεί και σε διαφορετικές τιμές, ανάλογα με το οδικό τμήμα υπό σχεδιασμό. Για τους σκοπούς της παρούσας Δ.Ε. επιλέχθηκε να παρουσιαστούν και να συγκριθούν οι τιμές των απόλυτα ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση τα οποία προκύπτουν για χρόνο αντίδρασης $T_R = 2.0 \text{ sec}$, ενώ σε ότι αφορά τα μήκη ορατότητας για στάση των οδηγιών του 2009 (7) επιλέχθηκε να παρουσιαστούν και να συγκριθούν αυτά που υπολογίζονται με τον μέγιστο δυνατό συντελεστή εφαπτομενικής επιβράδυνσης $d = 0.46$, τιμή ενιαία και ανεξάρτητη από την εκάστοτε ταχύτητα μελέτης. Η εξέλιξη των τιμών του απόλυτα ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.14. Η νέα ενιαία τιμή του συντελεστή εφαπτομενικής επιβράδυνσης επέφερε μείωση 10-17% στα απόλυτα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση για ταχύτητες μελέτης άνω των 80 km/h ενώ για μικρότερες ταχύτητες όπου η τιμή του συντελεστή είναι ελαφρώς μικρότερη σε σχέση με τους προηγούμενους κανονισμούς, τα μήκη ορατότητας παρουσιάζουν μικρή αύξηση.



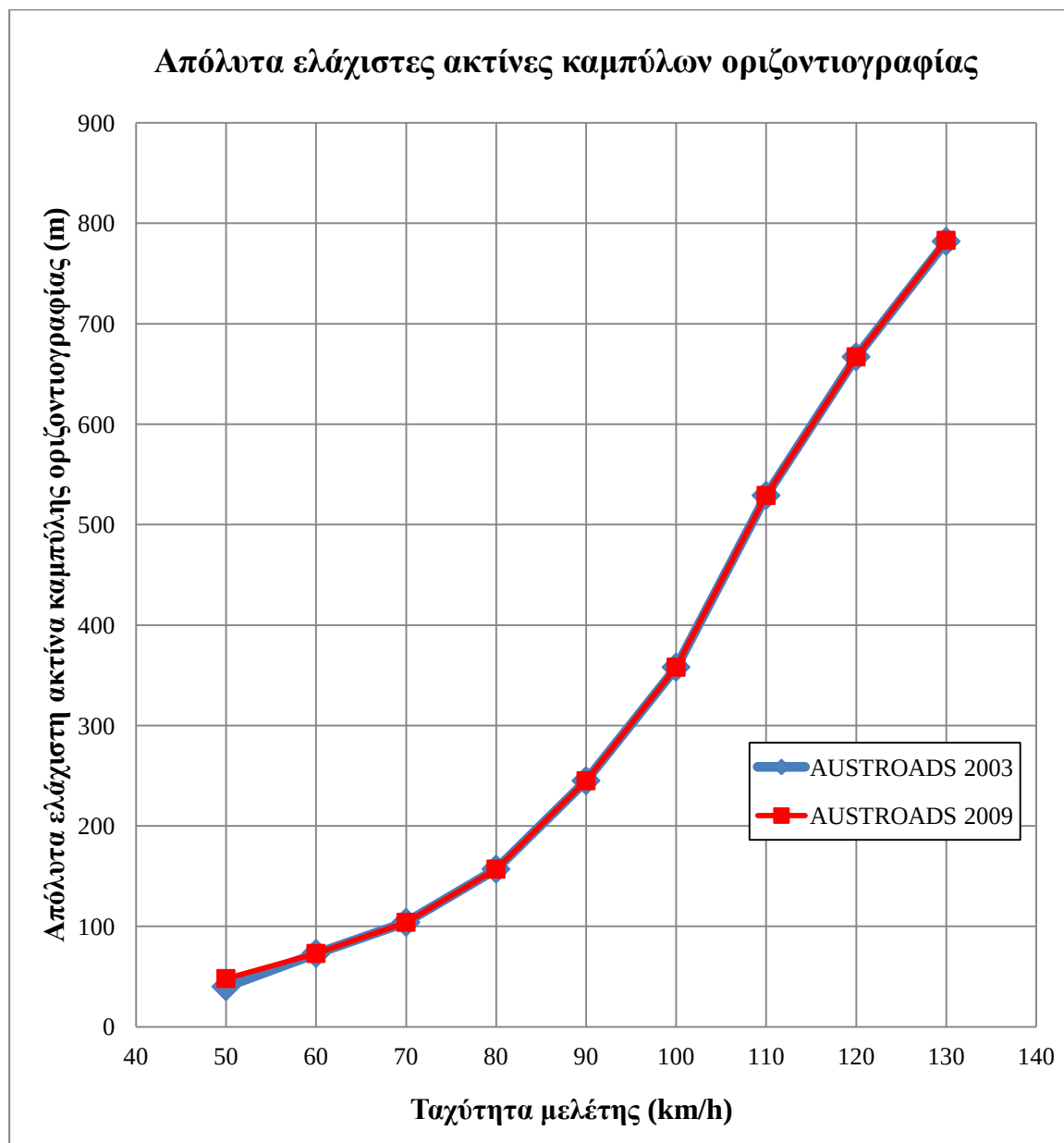
Σχήμα 3.14: Η εξέλιξη των τιμών του απόλυτα ελάχιστου μήκους ορατότητας για στάση στις αυστραλιανές οδηγίες.

3.3.2 Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας

Όπως και στις γερμανικές και τις αμερικανικές, έτσι και στις αυστραλιανές οδηγίες η ελάχιστη ακτίνα των καμπύλων της οριζοντιογραφίας καθορίζεται με βάση κριτήρια της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων και όχι με βάση απαιτήσεις ορατότητας. Το πρόβλημα ωστόσο επισημαίνεται στις οδηγίες, στις οποίες αναφέρεται ότι οι ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας δεν πληρούν απαραίτητα τις απαιτήσεις για επαρκή ορατότητα και πρέπει να ελέγχονται γραφικά έναντι περιορισμένης ορατότητας αφότου σχεδιαστούν, μέσω της πλευρικής εκτροπής. Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθεί η εξέλιξη των ελάχιστων απαιτούμενων ακτίνων της οριζοντιογραφίας και πως αυτές, σε συνδυασμό με την εξέλιξη του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση επηρέασε την απαιτούμενη πλευρική εκτροπή. Όπως και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, οι τιμές των στοιχείων

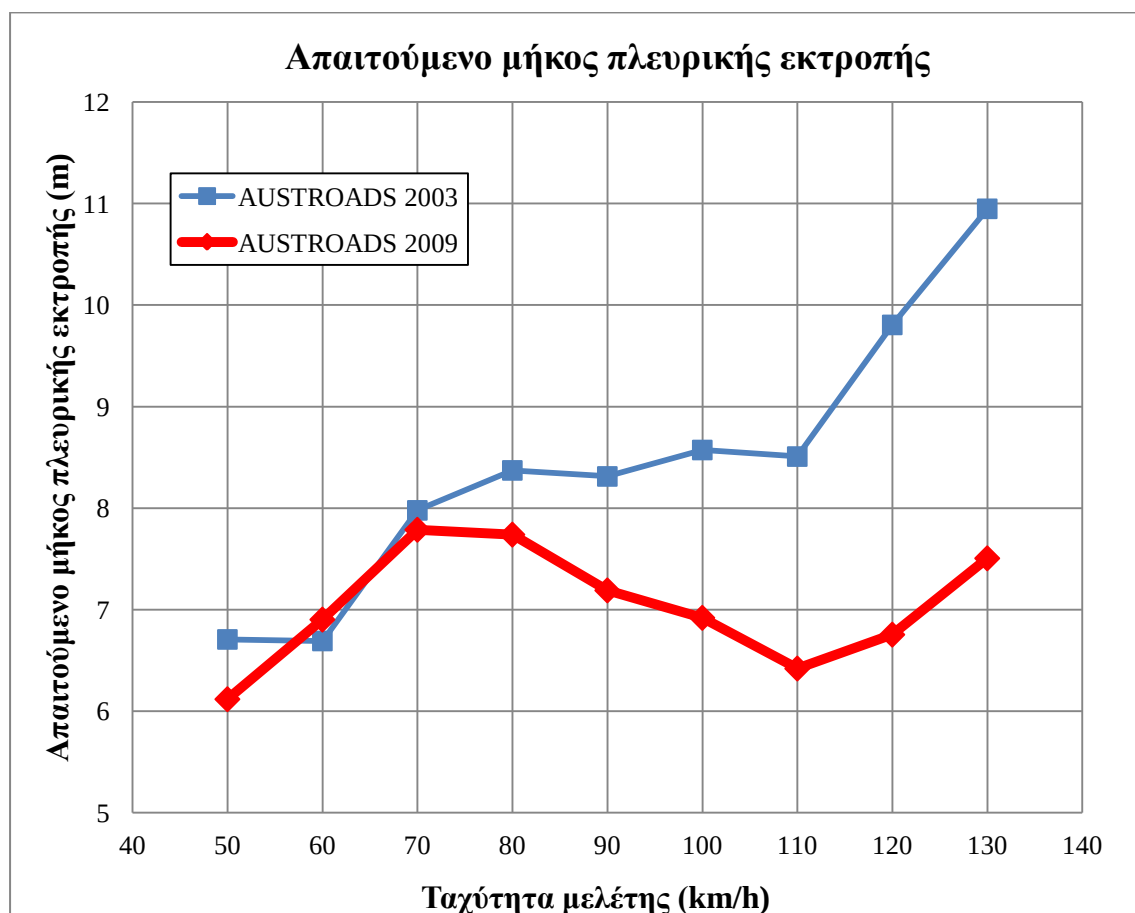
που θα συγκριθούν προκύπτουν από τις απόλυτα ελάχιστες τιμές που επιτρέπεται να λάβουν οι παραδοχές.

Δεδομένου ότι οι απόλυτα ελάχιστες τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής δεν άλλαξαν από την έκδοση των αυστραλιανών κανονισμών του 2003 (6) στην επόμενη έκδοση του 2009 (7), οι τιμές των απόλυτα ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρέμειναν αμετάβλητες (Σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.15: Η εξέλιξη των τιμών των απόλυτα ελάχιστων ακτίνων των καμπύλων της οριζοντιογραφίας στις αυστραλιανές οδηγίες (για επίκλιση $e = 6\%$)

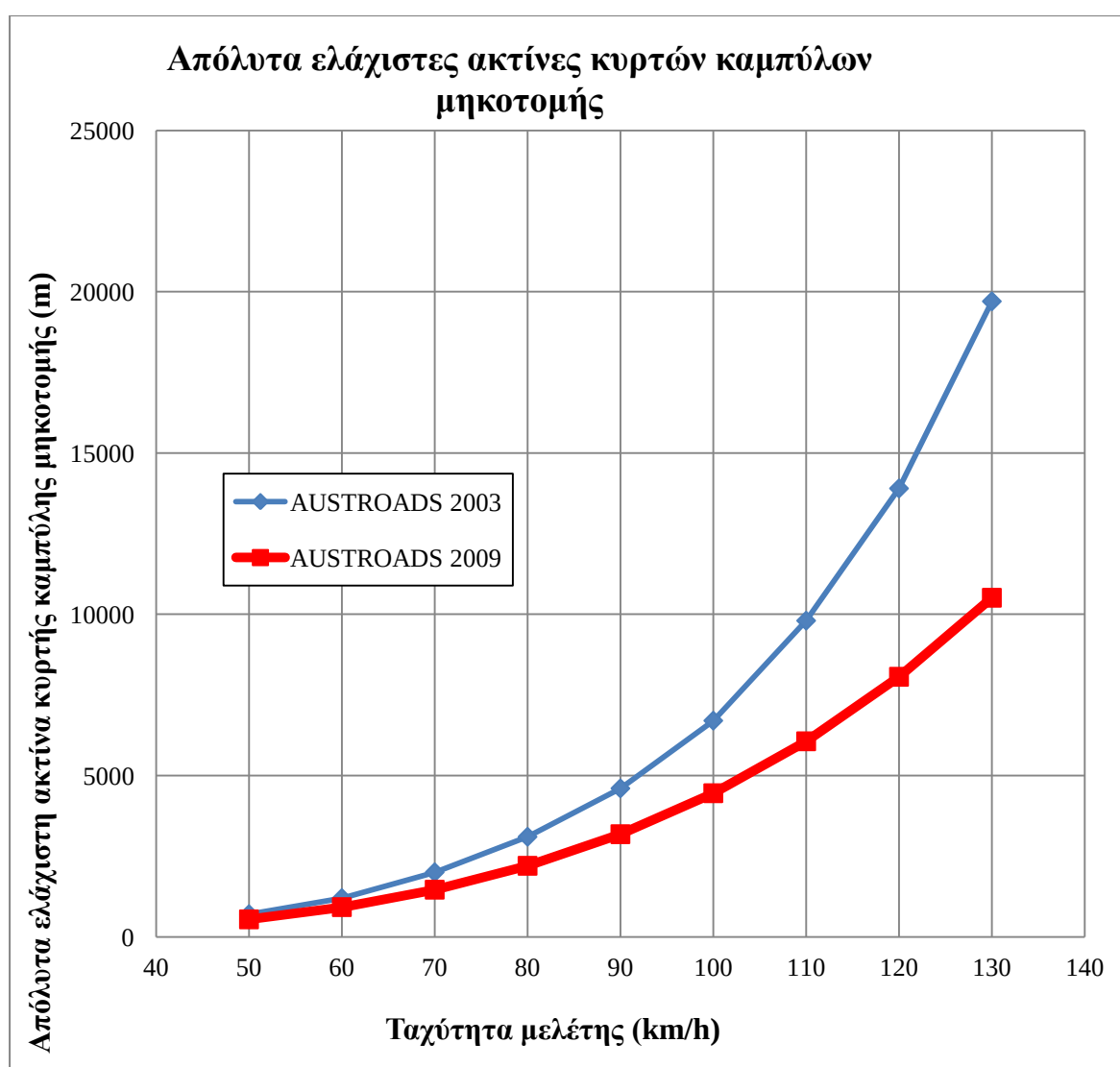
Εάν για την εκάστοτε ταχύτητα μελέτης τεθούν στην σχέση υπολογισμού της πλευρικής εκτροπής (Σχέση 2.25) οι απόλυτα ελάχιστες ακτίνες των οριζοντιογραφικών καμπύλων και τα απόλυτα ελάχιστα μήκη ορατότητας για στάση, προκύπτουν οι τιμές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.16. Η μείωση η οποία παρατηρείται στις οδηγίες του 2009 (7) για ταχύτητες μελέτης άνω των 70 km/h οφείλεται αποκλειστικά στην μείωση του απόλυτα ελάχιστου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση καθώς όπως προαναφέρθηκε, οι απόλυτα ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρέμειναν αμετάβλητες. Παράλληλα, στην έκδοση των οδηγιών του 2009 προβλέπεται ένα ελάχιστο μήκος πλευρικής εκτροπής 2.5 m για αυτοκίνητα και 3.5 m για φορτηγά όταν το ύψος του εμποδίου που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αντίστοιχου απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση είναι 0.2 m και 0.8 m. Το μήκος της πλευρικής εκτροπής ωστόσο το οποίο απαιτείται όταν συνδυαστούν οι κατώτατες τιμές οι οποίες επιτρέπονται είναι εξαιρετικά μεγάλη και σε κάθε περίπτωση πάνω από 6 m.



Σχήμα 3.16: Η εξέλιξη των τιμών της ελάχιστης απαιτούμενης πλευρικής εκτροπής O στις αυστραλιανές οδηγίες (για την απόλυτα ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης που αντιστοιχεί σε επίκλιση $e = 6\%$ και το απόλυτα ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση).

3.3.3 Η εξέλιξη των τιμών των στοιχείων της μηκοτομής

Στις αυστραλιανές οδηγίες η γεωμετρία τόσο των κυρτών, όσο και των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής υπόκειται σε περιορισμούς λόγω απαιτήσεων ορατότητας. Όπως έχει προαναφερθεί, οι παράμετροι οι οποίες υπεισέρχονται στον υπολογισμό των ακτίνων των καμπύλων της μηκοτομής είναι το ύψος των οφθαλμών του οδηγού, το ύψος του εμποδίου και το μήκος ορατότητας για στάση. Σε αυτή την ενότητα αναλύεται πώς η μεταβολή των τιμών των παραδοχών αυτών επηρέασε τις ελάχιστες τιμές των ακτίνων των καμπύλων της μηκοτομής.



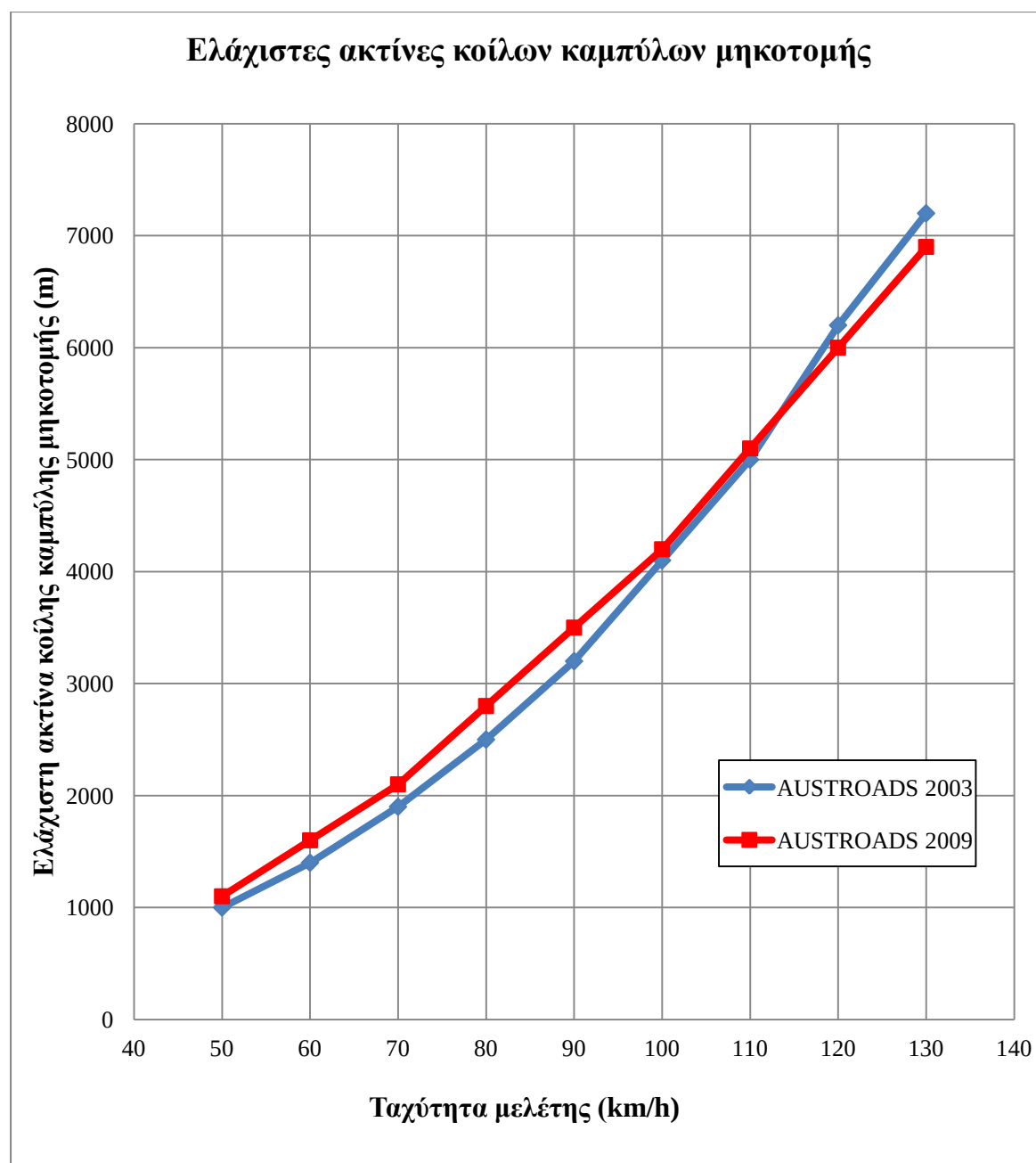
Σχήμα 3.17: Η εξέλιξη των τιμών των απόλυτα ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής στις αυστραλιανές οδηγίες.

Η μικρή αύξηση στο ύψος των οφθαλμών του οδηγού από 1.05 m σε 1.10 m και πολύ περισσότερο η σημαντική μείωση των απόλυτα ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση οδήγησαν σε σημαντική μείωση των απόλυτα ελάχιστων **ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής** (Σχήμα 3.17), καθώς η τιμή του ύψους του εμποδίου η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό τους παρέμεινε αμετάβλητη στα 0.20 m. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση κατά 17% των απόλυτα ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση (υπολογισμένα με συντελεστή εφαπτομενικής επιβράδυνσης $d=0.46$) επέφερε σημαντική μείωση έως και 46% στις τιμές των ακτίνων των κυρτωμάτων για ταχύτητες μελέτης άνω των 100 km/h.

Όπως και κατά τις αμερικανικές, έτσι και κατά τις αυστραλιανές οδηγίες, η γεωμετρία των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής πρέπει να ικανοποιεί δύο κριτήρια, το κριτήριο της ομαλότητας της χάραξης και το κριτήριο του μήκους ορατότητας των προβολέων. Επισημαίνεται ότι οι κοίλες καμπύλες της μηκοτομής σχεδιάζονται συνήθως με βάση το πρώτο κριτήριο ώστε να συμβάλουν στην καλή και ομαλή προοπτική απεικόνιση της οδού. Κατά τη διάρκεια της ημέρας άλλωστε, στις κοίλες καμπύλες παρέχεται επαρκής εποπτικότητα της οδού, εκτός κι αν υπάρχουν άνω διαβάσεις οι οποίες ενδεχομένως περιορίζουν την ορατότητα. Σε συνθήκες νυχτερινής οδήγησης ωστόσο, ακόμα και σε τμήματα αυτοκινητόδρομων όπου δεν προβλέπεται φωτισμός, η ορατότητα περιορίζεται στο μήκος ορατότητας των προβολέων, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 120 m και 150 m.

Οι τιμές των **ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής** προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της ορατότητας των προβολέων είναι οι ελάχιστες δυνατές που μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και σε οδούς υψηλών ταχυτήτων, ενώ οι τιμές οι οποίες προκύπτουν προκειμένου να ικανοποιείται το κριτήριο της ομαλότητας της χάραξης είναι αρκετά υψηλότερες. **Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε να παρατεθούν προς σύγκριση οι πρώτες, τόσο μεταξύ των δύο εκδόσεων των αυστραλιανών οδηγιών που εξετάζονται, όσο και αργότερα μεταξύ των τιμών των γερμανικών και αμερικανικών οδηγιών.**

Οι τιμές των ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής υπολογίζονται με βάση τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση τα οποία προκύπτουν για χρόνο αντίδρασης $T_R = 2.5$ sec και συντελεστή εφαπτομενικής επιβράδυνσης $d = 0.36$. Καθώς αυτά αυξήθηκαν ελαφρώς για ταχύτητες μελέτης έως και 80 km/h ενώ μειώθηκαν για μεγαλύτερες ταχύτητες με την έκδοση του 2009 (7) (βλ. παρ. 2.4.2), οι τιμές των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής αυξήθηκαν περίπου 10% για ταχύτητες μελέτης έως και 90 km/h ενώ μειώθηκαν κατά 3 – 4% για μεγαλύτερες ταχύτητες, όπως παρατίθεται στο Σχήμα 3.18.



Σχήμα 3.18: Η εξέλιξη των τιμών των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις αυστραλιανές οδηγίες.

3.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΤΩΝ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

3.4.1 Εισαγωγή

Οι τιμές των μεταβλητών από τις οποίες εξαρτώνται τα μήκη ορατότητας μιας οδού καθορίζουν το ελάχιστο μήκος ορατότητας για στάση, το οποίο στη συνέχεια επηρεάζει τον γεωμετρικό σχεδιασμό της οδού. Οι αρχικές παραδοχές δηλαδή είναι η βάση πάνω στην οποία στηρίζονται εν γένει η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή της οδού. Ο επιστημονικά τεκμηριωμένος αλλά και συνεχής προσδιορισμός των τιμών των μεταβλητών αυτών με βάση τα νέα δεδομένα της είναι απαραίτητος για μια ποιοτική και ασφαλέστερη χάραξη των οδών.

Οι τιμές των μεταβλητών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση που είναι διαφορετικές στις οδηγίες που εξετάστηκαν είναι το ύψος των οφθαλμών του οδηγού, το ύψος του εμποδίου, ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού και ο συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι διαφορετικές αυτές τιμές, με βάση τις οποίες διαμορφώνονται οι διαφορετικές τιμές των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής

3.4.2 Παραδοχές – Μήκη ορατότητας για στάση

Χρόνος αντίδρασης οδηγού: Στις γερμανικές οδηγίες ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού λαμβάνει τιμή 2 sec διαχρονικά σε όλες τις εκδόσεις οι οποίες εξετάστηκαν ενώ, όπως έχει προαναφερθεί, σε αντίθεση με τους αμερικανικούς και αυστραλιανούς κανονισμούς, η τιμή αυτή δεν τεκμηριώνεται και δεν γίνεται αναφορά στις έρευνες στις οποίες βασίστηκε. Στις αμερικανικές οδηγίες τίθεται σταθερά μια πιο συντηρητική τιμή ίση με 2.5 sec, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση.

Υπενθυμίζεται ότι στην έκθεση του προγράμματος NCHRP (10), τα περισσότερα συμπεράσματα του οποίου ενσωματώθηκαν στην έκδοση των αμερικανικών κανονισμών του 2001 (4), επισημαίνεται πως ενώ η τιμή των 2.5 sec πρέπει να διατηρηθεί για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, καθώς αντιστοιχεί σε άνετη και ομαλή επιβράδυνση για τη μεγάλη πλειοψηφία ακόμα και των ηλικιωμένων οδηγών, χαμηλότερη τιμή είναι ίσως πιο κατάλληλη σε οδούς όπου οι οδηγοί βρίσκονται σε μεγαλύτερη εγρήγορση. Η διαπίστωση αυτή ωστόσο δεν υιοθετήθηκε και στην έκδοση του 2001 (4) δεν συμπεριελήφθη κάποια συγκεκριμένη σχετική πρόβλεψη.

Στις αυστραλιανές οδηγίες η τιμή του χρόνου αντίδρασης του οδηγού, όπως και οι τιμές όλων σχεδόν των παραμέτρων υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, εξαρτάται τόσο από την κατηγορία της οδού η οποία σχεδιάζεται, όσο και από το περιβάλλον στο οποίο σχεδιάζεται, όπως έχει αναλυθεί και στο υποκεφάλαιο 2.4.2. Οι τιμές οι οποίες προβλέπονται είναι 1.5, 2.0 και 2.5 sec. Η τιμή του 1.5 sec δεν έχει εφαρμογή σε όλες τις οδούς, ενώ η ελάχιστη τιμή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις περιπτώσεις είναι τα 2.0 sec, τιμή ίση με αυτή που τίθεται στις γερμανικές οδηγίες.

Ύψος οφθαλμών οδηγού: Στις γερμανικές οδηγίες επίσης προβλέπεται και η χαμηλότερη τιμή ανάμεσα στις τρεις οδηγίες για το ύψος των οφθαλμών του οδηγού, το οποίο λαμβάνεται σταθερά σε όλες τις εκδόσεις οι οποίες εξετάστηκαν ίσο με 1.00 m. Οι τιμές στους αμερικανικούς και αυστραλιανούς κανονισμούς είναι περίπου ίδιες (1.08 m και 1.10 m αντίστοιχα), υπενθυμίζεται ωστόσο ότι οι ισχύουσες αυτές τιμές διαμορφώθηκαν στους μεν αμερικανικούς κανονισμούς μετά από μικρή μείωση με την έκδοση του 1994 (3), από 3.75 ft (=1.14 m) σε 3.5 ft (= 1.08 m), στους δε αυστραλιανούς κανονισμούς μετά από αύξηση της τιμής αυτής με την έκδοση του 2009 (7), από 1.05 m σε 1.10 m.

Ύψος εμποδίου: Η τιμή του ύψους του εμποδίου αυξανόταν σημαντικά και διαρκώς στις γερμανικές οδηγίες που εξετάστηκαν. Μέχρι και τις οδηγίες του 1995 (13), το ύψος του εμποδίου είχε αυξηθεί αρκετά σε σχέση με την έκδοση του 1973 (11), ενώ η τιμή του ήταν διαφορετική για την εκάστοτε ταχύτητα μελέτης. Στην ισχύουσα έκδοση του 2008 (14) αυξήθηκε επιπλέον και λαμβάνεται για κάθε ταχύτητα μελέτης ίσο με 500 mm. Στις αμερικανικές οδηγίες παρέμενε σταθερά ίσο με 150 mm μέχρι την έκδοση του 2001 (4) οπότε και αναθεωρήθηκε, λαμβάνοντας τιμή 600 mm. Οι τιμές αυτές είναι περίπου ίδιες καθώς, όπως έχει ήδη αναλυθεί (Κεφ. 3.1.1 και 3.2.1) βασίστηκαν κυρίως σε δύο κοινές διαπιστώσεις.

Στις πρώτες εκδόσεις των γερμανικών και αμερικανικών οδηγιών που εξετάστηκαν, η προσπάθεια για ασφαλέστερο γεωμετρικό σχεδιασμό βασίστηκε στην χρήση μικρών τιμών ύψους εμποδίου, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στους οδηγούς να αντιλαμβάνονται έγκαιρα και τα μικρότερα εμπόδια. Διαπιστώθηκε ωστόσο ότι αυτή η λογική δεν οδηγεί απαραίτητα σε ασφαλέστερο γεωμετρικό σχεδιασμό για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι ότι πολύ μικρά εμπόδια δεν μπορούν να γίνουν έγκαιρα αντιληπτά από τους οδηγούς ώστε να μπορέσουν να ακινητοποιήσουν με ασφάλεια το όχημά τους, ειδικά όταν οδηγούν με μεγάλες ταχύτητες. **Η χρήση δηλαδή εμποδίων πολύ μικρού ύψους στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών δεν βελτιώνει απαραίτητα την ασφάλεια, καθώς η απόσταση στην οποία ένα μικρό εμπόδιο γίνεται αντιληπτό από τους οδηγούς είναι πολύ μικρότερη από το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση.**

Η δεύτερη διαπίστωση αφορά στα εμπόδια τα οποία συνήθως προκαλούν σοβαρά ατυχήματα. Στις γερμανικές οδηγίες αναφέρεται ότι το συνηθέστερο εμπόδιο προς αποφυγή στις οδούς είναι ένα ακινητοποιημένο όχημα, π.χ. στο τέλος μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης. Στις αμερικανικές οδηγίες επισημαίνεται επιπρόσθετα ότι τα σοβαρότερα ατυχήματα προκαλούνται συνήθως από μεγάλα ζώα επί του οδοστρώματος, ενώ η πρόκληση σοβαρού ατυχήματος από πολύ μικρά εμπόδια είναι στην πραγματικότητα σπάνια. **Ως εκ τούτου, σε μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών ένα ύψος εμποδίου το οποίο αντιπροσωπεύει εμπόδια τα οποία είναι ορατά τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας, όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας, και τα οποία είναι ικανά να προκαλέσουν σοβαρό ατύχημα, προτείνεται το ύψος στο οποίο βρίσκονται τα πίσω φώτα των οχημάτων, το οποίο κατά τις γερμανικές οδηγίες θεωρείται στα 500 mm και κατά τις αμερικανικές στα 600 mm.**

Οι διαπιστώσεις αυτές ωστόσο δεν φαίνεται να εφαρμόζονται στις αυστραλιανές οδηγίες. Η τιμή η οποία προτείνεται στις αυστραλιανές οδηγίες διαφοροποιείται ανάλογα με το οδικό τμήμα το οποίο σχεδιάζεται. Για τον συνήθη γεωμετρικό σχεδιασμό των καμπύλων της μηκοτομής πάντως είναι αρκετά χαμηλότερη από αυτήν που ορίζεται στους γερμανικούς και αμερικανικούς κανονισμούς και ίση με 200 mm.

Συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής / επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση:

Οι τιμές του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες μειώθηκαν αρκετά με την έκδοση του 1984 (12), ενώ στην επόμενη έκδοση του 1995 (13) παρουσιάζονται ελαφρώς αυξημένοι. Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή στις αμερικανικές οδηγίες υπήρξε ανάλογη. Οι τιμές τις οποίες λάμβανε μειώθηκαν με την έκδοση των οδηγιών του 1984 (2), ενώ στην επόμενη έκδοση του 1994 (3) διατηρήθηκαν στα ίδια επίπεδα. Στις αυστραλιανές οδηγίες, οι τιμές που λάμβανε μέχρι την έκδοση του 2003 (6) ήταν αρκετά υψηλότερες σε σχέση τόσο με τις γερμανικές, όσο και με τις αμερικανικές οδηγίες. Στις τελευταίες και ισχύουσες εκδόσεις όλων των οδηγιών οι οποίες εξετάστηκαν ωστόσο, στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση ο συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής έχει αντικατασταθεί από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση. Οι λόγοι της αλλαγής αυτής επεξηγήθηκαν σε προηγούμενα υποκεφάλαια (κεφ. 2.3.1.1 , 2.3.2.1) και ουσιαστικά είναι κοινοί για τις τρεις οδηγίες.

Διαπιστώνεται ότι ο σχεδιασμός των οδών με βάση τα μαθηματικά πρότυπα της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων μπορεί να είναι σωστός από φυσικής άποψης, στην πραγματικότητα όμως δεν ανταποκρίνεται στην οδηγική συμπεριφορά η οποία παρατηρείται σε πραγματικές συνθήκες. Στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών δηλαδή, δεν λαμβάνονται επί της ουσίας υπόψη οι άνθρωποι παράγοντες εκείνοι, οι οποίοι καθορίζουν την οδηγική συμπεριφορά των οδηγών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται κατά την οδήγηση αντιδράσεις και

συμπεριφορές, οι οποίες είναι διαφορετικές από τις εκτιμήσεις και τις παραδοχές οι οποίες είχαν γίνει κατά τον σχεδιασμό μιας οδού. Για παράδειγμα, ενώ για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των καμπύλων της οριζοντιογραφίας χρησιμοποιείται το κυκλικό τόξο, υπό πραγματικές συνθήκες έχει παρατηρηθεί πως η τροχιά των οχημάτων στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας δεν συμπίπτει με το κυκλικό τόξο, καθώς οι οδηγοί στις στροφές δεν ακολουθούν απαραίτητα την συγκεκριμένη πορεία [W. Brilon, C. Lippold, 2005, (8)].

Σε ότι αφορά τον συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής, η αντικατάστασή του στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση ήταν μάλλον επιβεβλημένη, καθώς η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν ανταποκρινόταν στις πραγματικές συνθήκες επιβράδυνσης των οχημάτων. Όπως έχει προαναφερθεί, τα δύο μεγέθη δεν είναι ανεξάρτητα, αλλά συνδέονται μέσω της Σχέσης 3.9. Πράγματι, οι τιμές του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής οι οποίες καταγράφονται τόσο σε πραγματικές συνθήκες, όσο και σε πειραματικές, είναι διαφορετικές για τις εκάστοτε ταχύτητες μελέτης και μάλιστα είναι τόσο μικρότερες όσο η ταχύτητα αυξάνει. Παρατηρήθηκε ωστόσο πως, ανεξαρτήτως ταχύτητας μελέτης, οι οδηγοί επιλέγουν έναν συγκεκριμένο ρυθμό επιβράδυνσης του οχήματος προκειμένου να το ακινητοποιήσουν, διανύοντας ένα αντίστοιχο μήκος μέχρι την πλήρη ακινητοποίηση του οχήματος προ ενός εμποδίου. **Στις οδηγίες συνεπώς, πρέπει να καθοριστεί η τιμή η οποία θα τεθεί στην επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση προκειμένου να υπολογιστεί το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση με βάση το οποίο θα γίνει ο γεωμετρικός σχεδιασμός των οδών.**

$$\bullet \quad f_T = a/g \dots\dots\dots(3.9)$$

όπου:

f_T = συντελεστής εφαιπτομενικής τριβής
 a = επιβράδυνση πέδησης, m/s^2
 g = επιτάχυνση της βαρύτητας, $9.81 m/s^2$

Στις ισχύουσες γερμανικές οδηγίες η τιμή της επιβράδυνσης κατά την τροχοπέδηση για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση είναι $3.7 m/s^2$ και αντιστοιχεί σε συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής $f_T = 0.38$. Στις αμερικανικές οδηγίες, η αντίστοιχη τιμή είναι $3.4 m/s^2$ και αντιστοιχεί σε συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής $f = 0.35$. Στις αυστραλιανές οδηγίες, ο συντελεστής εφαιπτομενικής επιβράδυνσης d μπορεί να λάβει τιμές 0.26, 0.36 και 0.46, ανάλογα με το οδικό τμήμα υπό σχεδιασμό (βλ. κεφ. 2.3.1). Η τιμή $d = 0.46$, παρά το γεγονός ότι δεν προτείνεται για χρήση παρά μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, είναι η μέγιστη δυνατή η οποία μπορεί να εφαρμοστεί και αντιστοιχεί σε επιβράδυνση $4.51 m/s^2$, τιμή κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτές που προτείνονται στις υπόλοιπες οδηγίες και η οποία οδηγεί σε μικρότερα

απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση. Υπενθυμίζεται, ότι στην δημοσίευση των W. Brilon και C. Lippold (8) με αντικείμενο την νέα αντίληψη στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών στην Γερμανία, προτείνεται για όλες τις νέες οδούς να λαμβάνεται τιμή 4.3 m/s^2 για την επιβράδυνση πέδησης, τιμή περίπου ίδια με αυτή που επιτρέπεται να χρησιμοποιείται στις αυστραλιανές οδηγίες, αλλά μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

Σχέσεις υπολογισμού απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση: Η σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση παρέμεινε πρακτικά αμετάβλητη σε όλες τις αμερικανικές οδηγίες που εξετάστηκαν, με μοναδική αλλαγή την αντικατάσταση του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση στις οδηγίες του 2001 (4), αλλαγή η οποία επήλθε και στη σχέση των αυστραλιανών οδηγιών με την έκδοση του 2009 (7). Στις γερμανικές οδηγίες αντίθετα, η σχέση υπολογισμού μεταβαλλόταν συνεχώς, περνώντας από ιδιαίτερα περίπλοκες σχέσεις σε μια πιο απλή και εύχρηστη με την έκδοση των οδηγιών του 2008 (14), η οποία όπως έχει αναφερθεί είναι στην ουσία επαναφορά της σχέσης η οποία ίσχυε μέχρι την έκδοση των RAL του 1973 (11). **Οι σχέσεις υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση οι οποίες ισχύουν σήμερα είναι οι ακόλουθες και είναι στην ουσία κοινές και για τις τρεις οδηγίες.**

- **RAA 2008 :** $S_h = \left(\frac{V}{3.6}\right) * t_R + \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2 * (a + g * \frac{s}{100})} \dots\dots\dots (3.10)$

- **AASHTO 2004 :** $SSD = 0.278 * V * t + \frac{V^2}{254 * \left(\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right)} \dots\dots\dots (3.11)$

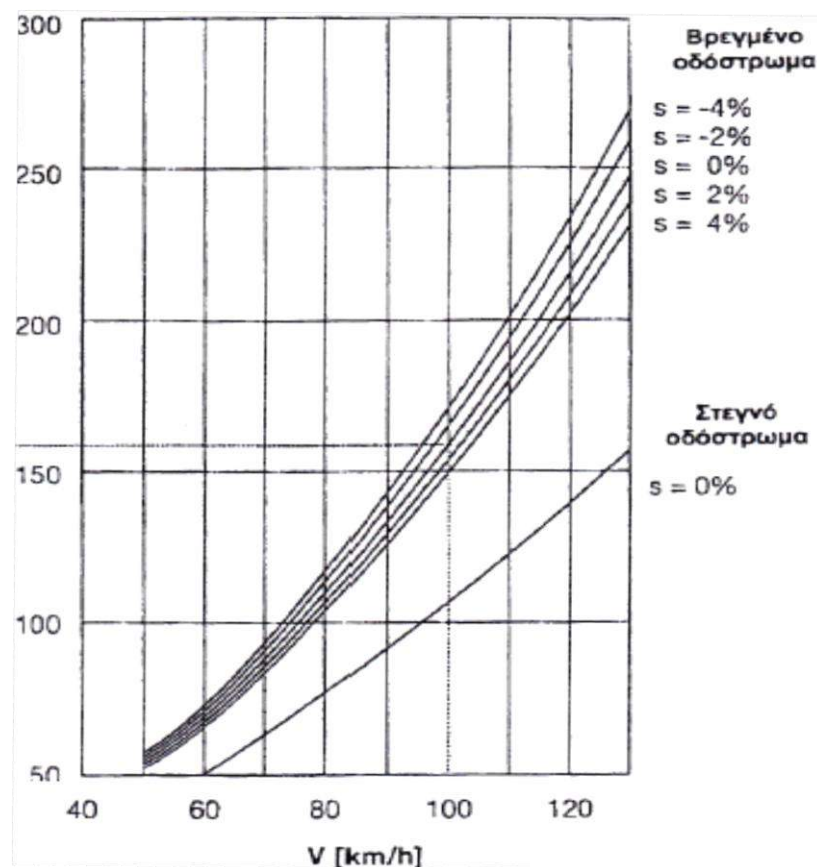
- **AUSTROADS 2009 :** $SSD = \frac{R_T * V}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (d + 0.01a)} \dots\dots\dots (3.12)$

Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση: Η εξέλιξη των τιμών των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση μέχρι την σημερινή διαμόρφωσή τους υπήρξε διαφορετική ανάμεσα στους γερμανικές και αμερικανικές οδηγίες και ήταν ανάλογη με την εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής (κεφ. 3.1.1, 3.2.1). Τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση στις ισχύουσες γερμανικές οδηγίες (14) διαμορφώθηκαν μετά από συνεχή μείωση σχεδόν σε κάθε έκδοση των οδηγιών από το 1973 και είναι μειωμένα κατά 15-20% σε σχέση με τις τιμές των οδηγιών του 1973 (11). Αντίθετα, οι τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση στις αμερικανικές οδηγίες αυξήθηκαν σημαντικά από τις οδηγίες του 1965 (1) σε αυτές του 1984 (2), στην έκδοση του 1995 (3) σταθεροποιήθηκαν, ενώ στην επόμενη έκδοση του 2001 (4) υπήρξε μικρή μείωση. Σαν αποτέλεσμα αυτής της διακύμανσης, **οι σημερινές τιμές των μηκών ορατότητας για στάση είναι**

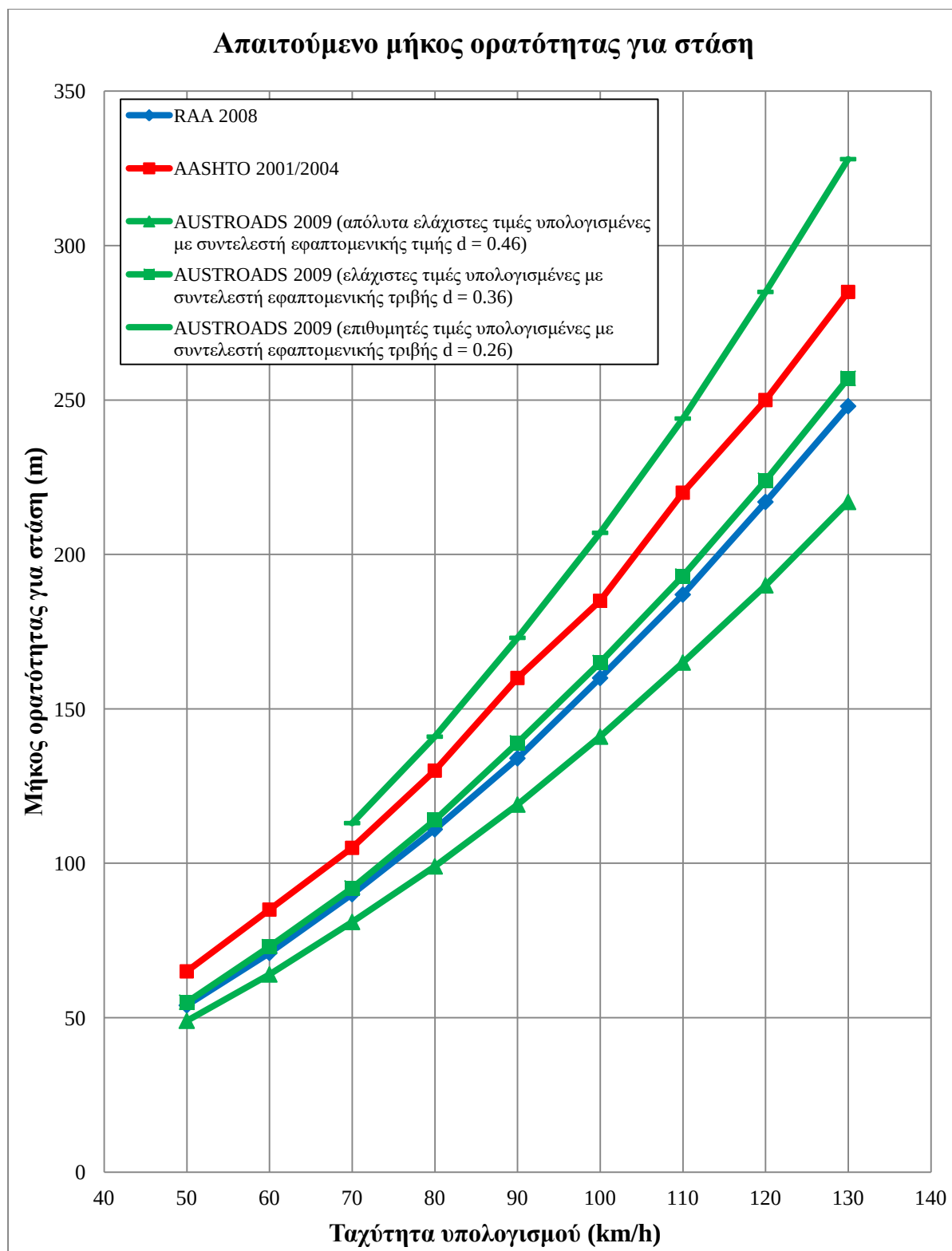
αυξημένες σε σχέση με τα επίπεδα του 1965 κατά 10-20%. Τα απόλυτα ελάχιστα μήκη ορατότητας για στάση στις ισχύουσες αυστραλιανές οδηγίες (7) είναι μειωμένα κατά περίπου 10-17% σε σχέση με τις τιμές της προηγούμενης έκδοσης του 2003 (6), συνέπεια της αύξησης της τιμής του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής.

Τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση τα οποία ορίζονται στις ισχύουσες εκδόσεις των οδηγιών παρατίθενται στο Σχήμα 3.20. Με εξαίρεση τις επιθυμητές τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση των αυστραλιανών οδηγιών, οι οποίες δεν είναι οριακές αλλά όπως αναφέρεται αντιστοιχούν σε άνετη και ομαλή επιβράδυνση, οι τιμές οι οποίες προβλέπονται στις αμερικανικές οδηγίες είναι οι μεγαλύτερες, καθώς οι τιμές του χρόνου αντίδρασης και της επιβράδυνσης κατά την τροχοπέδηση είναι οι συντηρητικότερες. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες είναι οι απόλυτα ελάχιστες τιμές που προβλέπονται στις αυστραλιανές οδηγίες, υπολογισμένες με χρόνο αντίδρασης 2.0 sec και επιβράδυνση 4.5 m/s^2 , η οποία αντιστοιχεί σε συντελεστή εφαπτομενικής τριβής 0.46. Η τιμή αυτή του χρόνου αντίδρασης είναι η ελάχιστη αποδεκτή διεθνώς. Με την τιμή αυτή υπολογίζονται τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση στις γερμανικές οδηγίες, ενώ και στις αμερικανικές οδηγίες αναφέρεται ότι τιμές κάτω από 2.5 sec μπορεί να είναι εφαρμόσιμες.

Η τιμή 4.5 m/s^2 της επιβράδυνσης κατά την τροχοπέδηση που προβλέπεται στις αυστραλιανές οδηγίες μόνο για εξαιρετικές περιπτώσεις, μπορεί ενδεχομένως να έχει εφαρμογή στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση για τον σχεδιασμό όλων των νέων οδών. Από τη στιγμή άλλωστε που η τιμή αυτή έχει συμπεριληφθεί στις προβλέψεις των αυστραλιανών οδηγιών, σημαίνει πως ανταποκρίνεται στις δυνατότητες και ικανότητες της πλειοψηφίας των οδηγών. **Κατ'επέκταση, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι απόλυτα ελάχιστες τιμές του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση που προβλέπονται στις αυστραλιανές οδηγίες μπορούν να αποτελέσουν ένα κοινά αποδεκτό κατώτατο όριο για τις τιμές του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση για τον σχεδιασμό των νέων οδών.** Υπενθυμίζεται άλλωστε, ότι στη δημοσίευση των W. Brilon και C. Lippold (8) προτείνεται η τιμή των 4.3 m/s^2 για όλες τις νέες οδούς. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση σε στεγνά οδοστρώματα που προβλέπονται στις ισχύουσες γερμανικές οδηγίες (14) (Σχήμα 3.19), τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν π.χ. σε σήραγγες, έχουν υπολογιστεί με αρκετά μεγάλες τιμές συντελεστή εφαπτομενικής τριβής της τάξης του 0.75.



Σχήμα 3.19: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση σε στεγνά οδοστρώματα (RAA 2008).



Σχήμα 3.20: Απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες για μηδενική κατά μήκος κλίση.

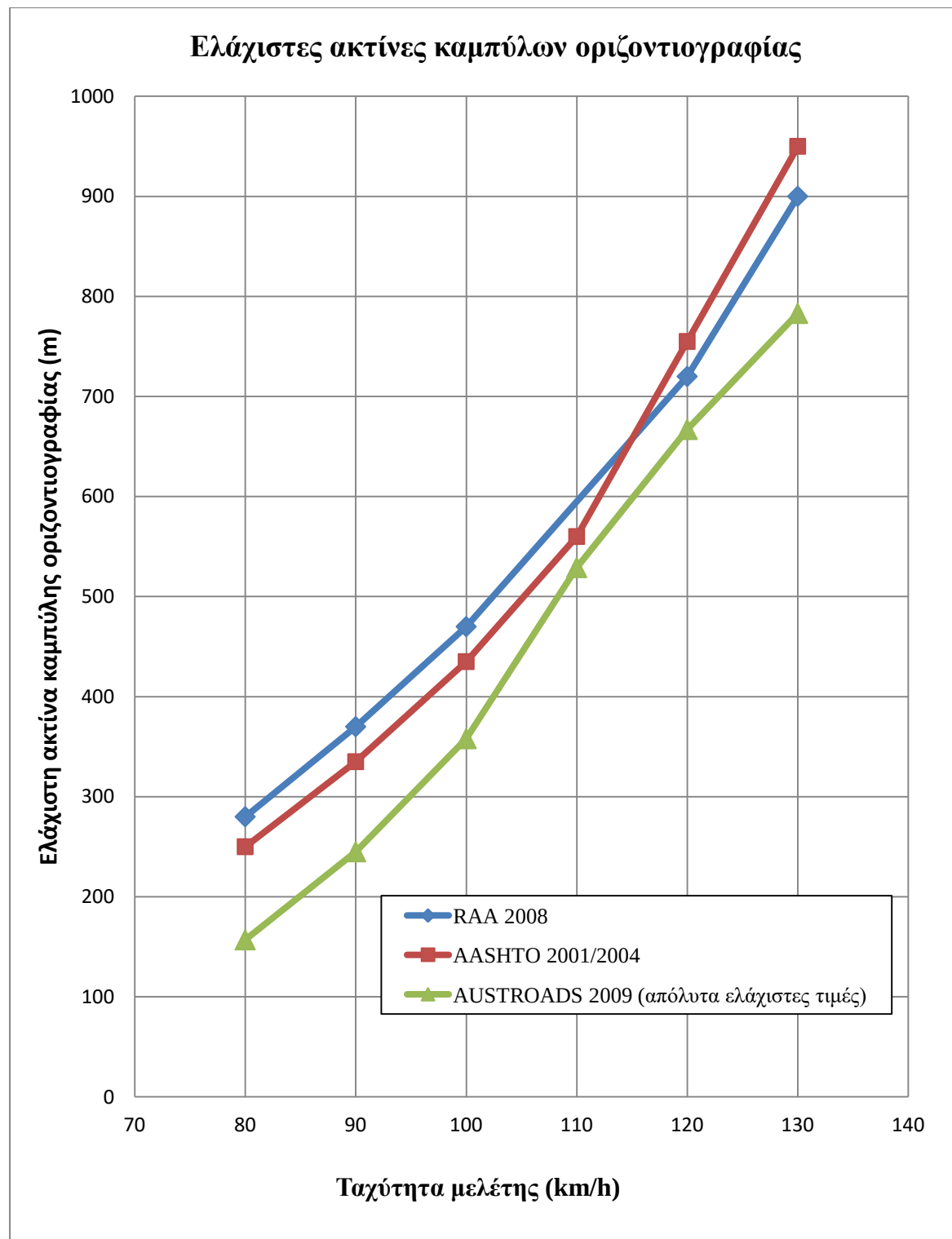
3.4.3 Στοιχεία οριζοντιογραφίας

Ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας: Μέχρι και τις οδηγίες του 1995 (13), οι ελάχιστες τιμές των ακτίνων της οριζοντιογραφίας στις γερμανικές οδηγίες ακολουθούσαν συνεχή πτωτική πορεία, ενώ στην ισχύουσα έκδοση (14) αυξήθηκαν για ταχύτητες μελέτης μέχρι 80 km/h ενώ πρακτικά σταθεροποιήθηκαν για μεγαλύτερες ταχύτητες. Από την πρώτη έκδοση δηλαδή των γερμανικών οδηγιών που μελετήθηκαν μέχρι την ισχύουσα, οι ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας μειώθηκαν σημαντικά, περίπου 25-30%. Η εξέλιξη των τιμών στις αμερικανικές οδηγίες υπήρξε συντηρητικότερη καθώς υπήρξε μία μόνο μικρή αύξηση για ταχύτητες μελέτης άνω των 80 km/h κατά περίπου 10%. Στις δύο εκδόσεις των αυστραλιανών οδηγιών που εξετάστηκαν, οι ελάχιστες επιτρεπόμενες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας παρέμειναν αμετάβλητες καθώς οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής δεν άλλαξαν. Παρά την διαφορετική εξέλιξή τους, οι σημερινές τιμές των ελάχιστων ακτίνων της οριζοντιογραφίας των γερμανικών και αμερικανικών οδηγιών βρίσκονται περίπου στα ίδια επίπεδα (Σχήμα 3.21) εξαιτίας του διαφορετικού επιπέδου τιμών από το οποίο ξεκίνησαν.

Απαιτούμενα μήκη πλευρικής εκτροπής: Η ελάχιστες αυτές τιμές, σε συνδυασμό με τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση, επηρεάζουν την ορατότητα της δεξιάς λωρίδας σε δεξιές στροφές και της αριστερής λωρίδας σε αριστερές στροφές οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα. Όπως έχει προαναφερθεί, στην πρώτη περίπτωση η επιφάνεια η οποία καθορίζεται από την πλευρική εκτροπή και η οποία πρέπει να μείνει ελεύθερη εμποδίων είναι εύκολα διαμορφώσιμη, ενώ στην δεύτερη περίπτωση οι παρεμβάσεις οι οποίες πρέπει να γίνουν είναι τουλάχιστον αντिलειτουργικές. Τόσο στις γερμανικές, όσο και στις αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες οι ελάχιστες τιμές των ακτίνων της οριζοντιογραφίας καθορίζονται με βάση τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων και την επίκλιση της οδού. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες στις ισχύουσες αμερικανικές (5) από τις ισχύουσες γερμανικές (14) επειδή τα αντίστοιχα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση είναι μεγαλύτερα (βλ. κεφ. 3.1.2, 3.2.2). Για ταχύτητες μελέτης άνω των 100 km/h, σε μια οριζοντιογραφική καμπύλη που έχει σχεδιαστεί με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα, κατά τις γερμανικές οδηγίες απαιτείται πλευρική εκτροπή πάνω από 5 m, κατά τις αμερικανικές πάνω από 10 m και κατά τις αυστραλιανές πάνω από 6.5 m. Τα μήκη αυτά ωστόσο δεν μπορεί να είναι εφαρμόσιμα.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι οι αμερικανικοί αυτοκινητόδρομοι σχεδιάζονται συχνά με ανεξάρτητη χάραξη των δύο κλάδων τους, οι οποίοι και τοποθετούνται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, γεγονός το οποίο κάνει εφικτή την διαμόρφωση της επιφάνειας που ορίζει η πλευρική εκτροπή και στις αριστερές στροφές. Αυτό όμως δεν αναιρεί το πρόβλημα, αφού εκτός του ότι δεν αποτελεί κανόνα στις ΗΠΑ, είναι και σπάνια εφαρμόσιμο στην Γερμανία και την Ευρώπη γενικότερα. Ο μελετητής καλείται να ελέγξει εκ των υστέρων την επάρκεια της ορατότητας, χρησιμοποιώντας

ενδεχομένως μήκη πλευρικής εκτροπής τα οποία δεν είναι εφαρμόσιμα. Το επιπλέον πλάτος της οδού το οποίο πρέπει να διαμορφωθεί αντιστοιχεί σε πρόσθεση μιάμισης λωρίδας κυκλοφορίας και η τακτική κατάληψή του από τους οδηγούς, ιδιαίτερα σε χώρες με χαμηλή οδηγική παιδεία όπως η Ελλάδα πρέπει να θεωρείται βέβαιη. Αυτό θα την μετατρέψει αυτόματα σε περιοχή αυξημένων επικινδύνων εμπλοκών οχημάτων, αναιρώντας την πρόσθετη ασφάλεια την οποία καλείται να προσφέρει. Επιπλέον, η διαπλάτυνση αυτή μπορεί να αποδειχθεί πιο δαπανηρή από την επιλογή μιας χάραξης με μεγαλύτερη ακτίνα ή την τοποθέτηση κεντρικού στηθαίου ύψους μικρότερου των 0.90 m και χωρίς φύτευση. Στις γερμανικές και τις αμερικανικές οδηγίες επισημαίνεται άλλωστε ότι εάν το κεντρικό στηθαίο ασφαλείας σε ένα οδικό τμήμα είναι μικρότερο από ένα συγκεκριμένο ύψος (900 mm κατά τις γερμανικές και 840 mm κατά τις αμερικανικές οδηγίες) δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί κάποια παρέμβαση, καθώς τόσο το ύψος των οφθαλμών του οδηγού όσο και το ύψος των οχημάτων είναι υψηλότερα και ως εκ τούτου ο οδηγός μπορεί να αντιληφθεί συνήθη αναπάντεχα εμπόδια, όπως το τέλος μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης. Δεν γίνεται ωστόσο πρόβλεψη για χαμηλότερα και εξίσου επικίνδυνα εμπόδια, όπως π.χ. ενός μοτοσυκλετιστή που έχει πέσει. Εξάλλου, το κεντρικό στηθαίο ασφαλείας μπορεί αφενός να είναι υψηλότερο (έως 1.15 m) αφετέρου να είναι φυτευμένο, παρεμποδίζοντας την ορατότητα.

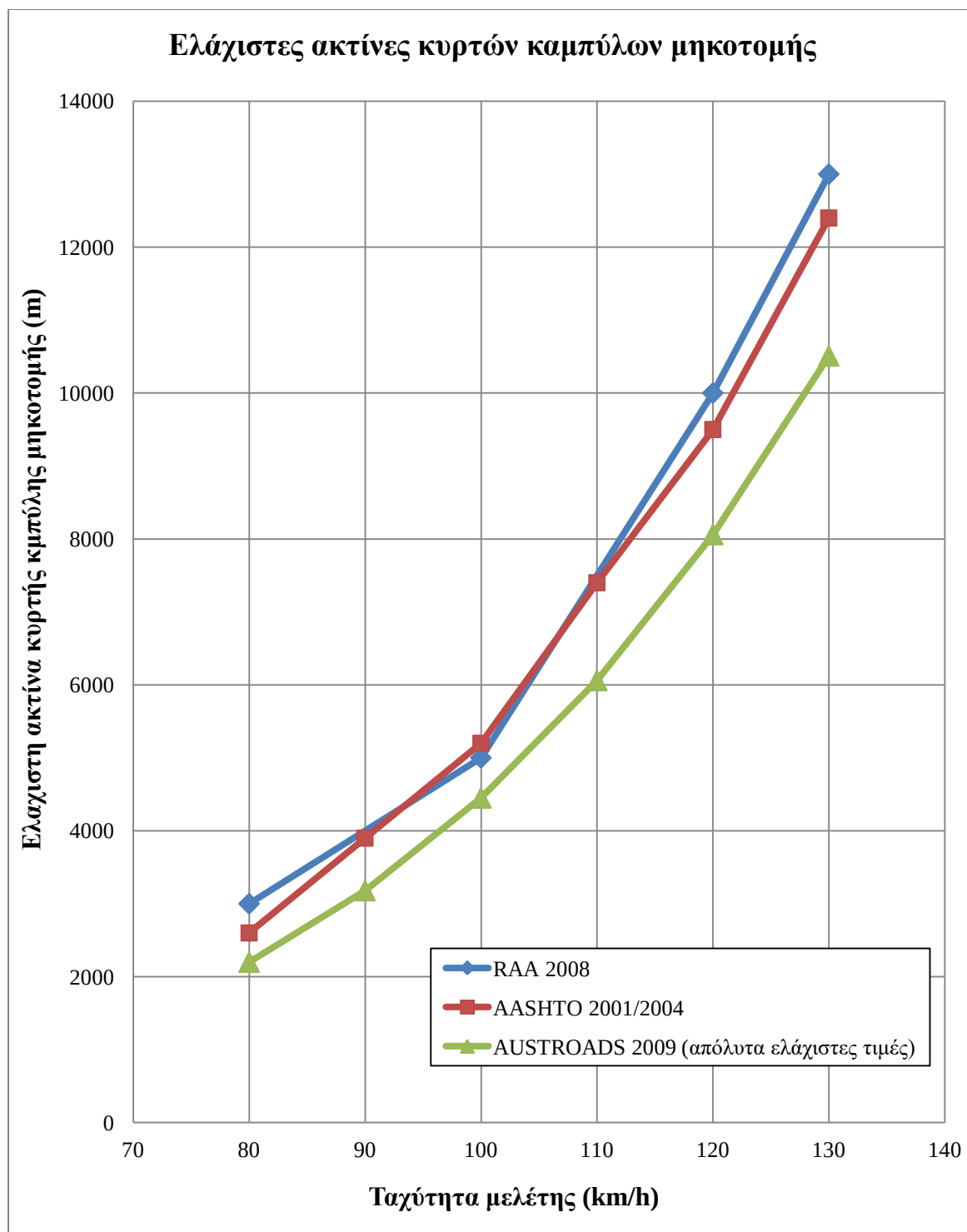


Σχήμα 3.21: Ελάχιστες ακτίνες των καμπύλων της οριζοντιογραφίας κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες.

3.4.4 Στοιχεία μηκοτομής

Ακτίνες κυρτών καμπύλων μηκοτομής: Στις γερμανικές οδηγίες, οι τιμές των ελάχιστων ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής μειώνονταν διαρκώς σε κάθε έκδοση των οδηγιών από το 1973 μέχρι τις ισχύουσες οδηγίες του 2008 (14). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι σημερινές τιμές να είναι μικρότερες ακόμα και κατά 50% σε σχέση με τις τιμές των οδηγιών του 1973 (11). Στις αμερικανικές οδηγίες αντίθετα, οι τιμές των ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής αυξήθηκαν σημαντικά από τους κανονισμούς του 1965 (1) σε αυτούς του 1984 (2), σταθεροποιήθηκαν σε αυτό το επίπεδο μέχρι και τους κανονισμούς του 1995 (3), ενώ με την έκδοση του 2001 (4) μειώθηκαν σημαντικά και επανήλθαν σε ελαφρώς μικρότερα επίπεδα από αυτά του 1965. Οι δύο αυτές διαφορετικές πορείες είχαν σαν αποτέλεσμα οι τιμές οι οποίες ορίζονται σήμερα στους γερμανικούς και αμερικανικούς κανονισμούς να βρίσκονται στα ίδια επίπεδα (Σχήμα 3.22). Η σημαντική μείωση των τιμών των απόλυτα ελάχιστων μηκών ορατότητας για στάση με την έκδοση των αυστραλιανών οδηγιών του 2009 (7) είχε σαν αποτέλεσμα να μειωθούν σημαντικά και οι απόλυτα ελάχιστες τιμές των ακτίνων των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής, οι οποίες είναι αρκετά μικρότερες από αυτές που προτείνονται στις γερμανικές και αμερικανικές οδηγίες. Σημειώνεται ωστόσο ότι οι τιμές οι οποίες ορίζονται στις αυστραλιανές οδηγίες για τον συνήθη γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών είναι μεγαλύτερες από αυτές των γερμανικών και αμερικανικών οδηγιών.

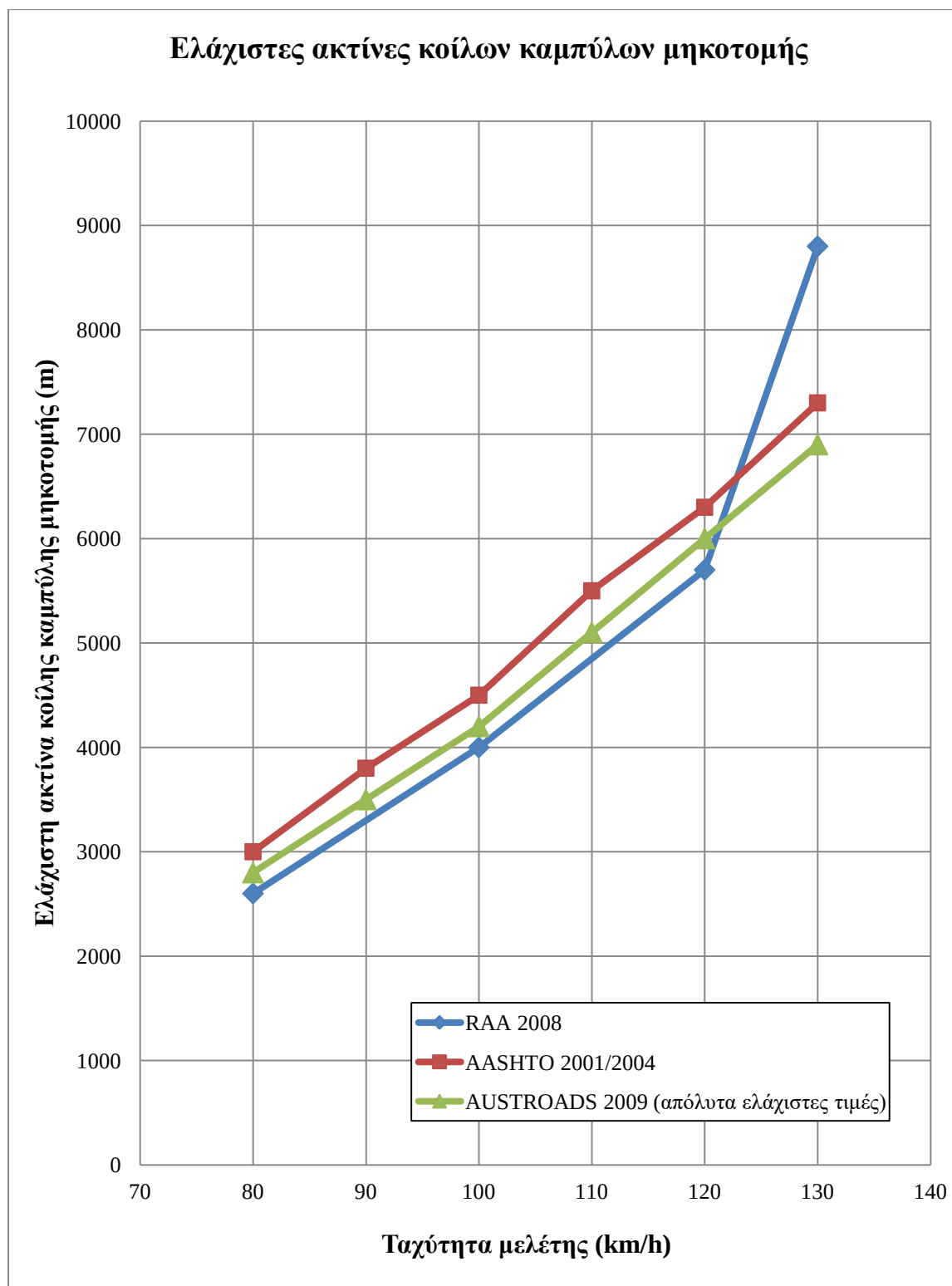
Ακτίνες κοίλων καμπύλων μηκοτομής: Η εξέλιξη των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής υπήρξε διαφορετική ανάμεσα στις γερμανικές και τις αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες. Η πορεία των τιμών των ακτίνων των κοιλωμάτων ήταν ανάλογη με αυτή των τιμών του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, καθώς ο γεωμετρικός σχεδιασμός των κοιλωμάτων στις αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες υπόκειται σε απαιτήσεις ορατότητας (βλ. κριτήρια σχεδιασμού κοίλων καμπύλων μηκοτομής, κεφ. 2.3.4.1, 2.4.4.1), ειδικά για τις συνθήκες της νυχτερινής οδήγησης, όπου η ορατότητα περιορίζεται στο παρεχόμενο από τους προβολείς των οχημάτων μήκος ορατότητας. Στις γερμανικές οδηγίες αντίθετα δεν υπάρχει συγκεκριμένη πρόβλεψη και οι τιμές των ακτίνων των κοιλωμάτων διαμορφώθηκαν περισσότερο με γνώμονα κριτήρια ομαλότερης προοπτικής απεικόνισης των οδών.



Σχήμα 3.22: Ελάχιστες ακτίνες κυρτών καμπύλων μηκοτομής κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες.

Εξετάζοντας την πορεία των τιμών των ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις γερμανικές οδηγίες παρατηρείται ότι από την έκδοση του 1973 (11) στην έκδοση του 1984 (12) μειώθηκαν ελαφρώς για ταχύτητες 80-100 km/h, ενώ παρέμειναν αμετάβλητες για μεγαλύτερες ταχύτητες μελέτης. Στις οδηγίες του 1995 (13) υπήρξε μια γενική μείωση, ενώ στην ισχύουσα έκδοση (14) οι τιμές για ταχύτητες μελέτης 80-100 km/h αυξήθηκαν και για μεγαλύτερες ταχύτητες μειώθηκαν. Ενώ δηλαδή μέχρι και το 1995 υπήρξε γενικά μια συνεχής μείωση των ελάχιστων τιμών των ακτίνων των κοιλωμάτων, στην έκδοση των οδηγιών του 2008 οι τιμές τους αυξήθηκαν για ταχύτητες μέχρι 100 km/h, συμβάλλοντας έτσι στον σχεδιασμό οδών με ομαλότερη προοπτική απεικόνιση. **Το γεγονός αυτό απεικονίζεται και στο Σχήμα 3.23, όπου φαίνεται πως η ελάχιστη ακτίνα των κοιλωμάτων για ταχύτητα μελέτης 130 km/h είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που προτείνεται στις υπόλοιπες οδηγίες, με στόχο την καλύτερη προοπτική απεικόνιση της οδού και την αποφυγή θλάσεων στα κοιλώματα.** Οι σημερινές τιμές είναι περίπου 15% μειωμένες σε σχέση με αυτές των οδηγιών RAL του 1973.

Αντίθετα, η εξέλιξη των ελάχιστων ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις αμερικανικές οδηγίες είναι παρόμοια με αυτή των κυρτών καμπύλων. Οι τιμές τους αυξήθηκαν σημαντικά από την έκδοση του 1965 (1) σε αυτή του 1984 (2), παρέμειναν σε αυτά τα επίπεδα με την επόμενη έκδοση του 1995 (3) ενώ μειώθηκαν ελαφρώς στις οδηγίες του 2001 (4). **Έτσι, οι ισχύουσες τιμές των οδηγιών του 2004 (5) είναι αυξημένες ακόμα και κατά 30% σε σχέση με τις τιμές του 1965.** Εξαιτίας της μείωσης των τιμών στις γερμανικές οδηγίες και της αύξησής τους στους αμερικανικούς, οι ελάχιστες ακτίνες των κοιλωμάτων είναι μεγαλύτερες στους δεύτερους (Σχήμα 3.23). Οι σημερινές τιμές των ακτίνων των κοίλων καμπύλων της μηκοτομής στις γερμανικές οδηγίες είναι μικρότερες και από αυτές οι οποίες ορίζονται στις ισχύουσες αυστραλιανές οδηγίες (7), παρά το γεγονός ότι οι τελευταίες μειώθηκαν ελαφρώς κατά 3 – 4% για ταχύτητες μελέτης άνω των 80 km/h.



Σχήμα 3.23: Ελάχιστες ακτίνες κοίλης καμπύλης μηκοτομής κατά τις ισχύουσες γερμανικές (RAA 2008), αμερικανικές (AASHTO 2004) και αυστραλιανές (AUSTROADS 2009) οδηγίες.

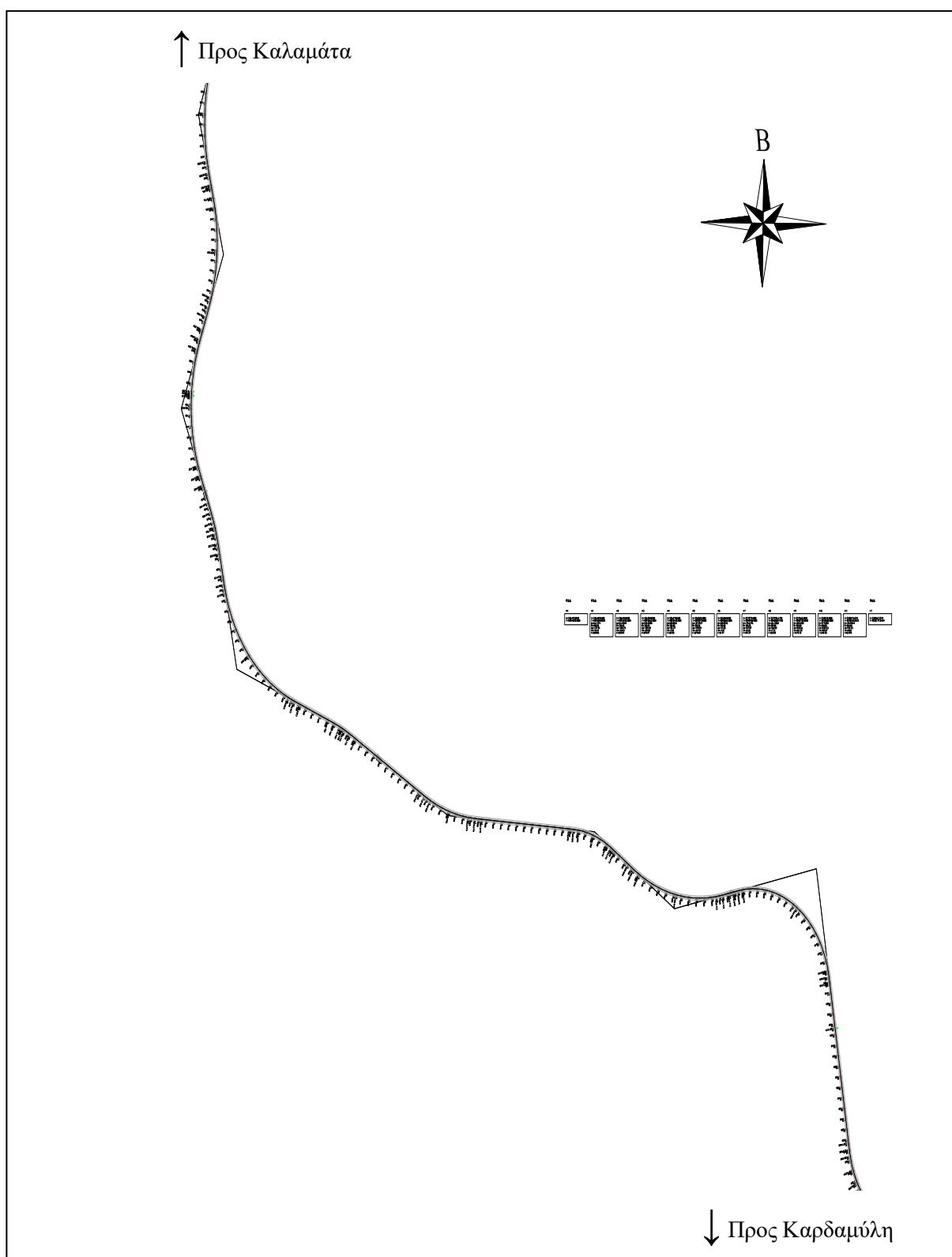
4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΩΝ ΜΗΚΩΝ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ ΣΕ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ, ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΝΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

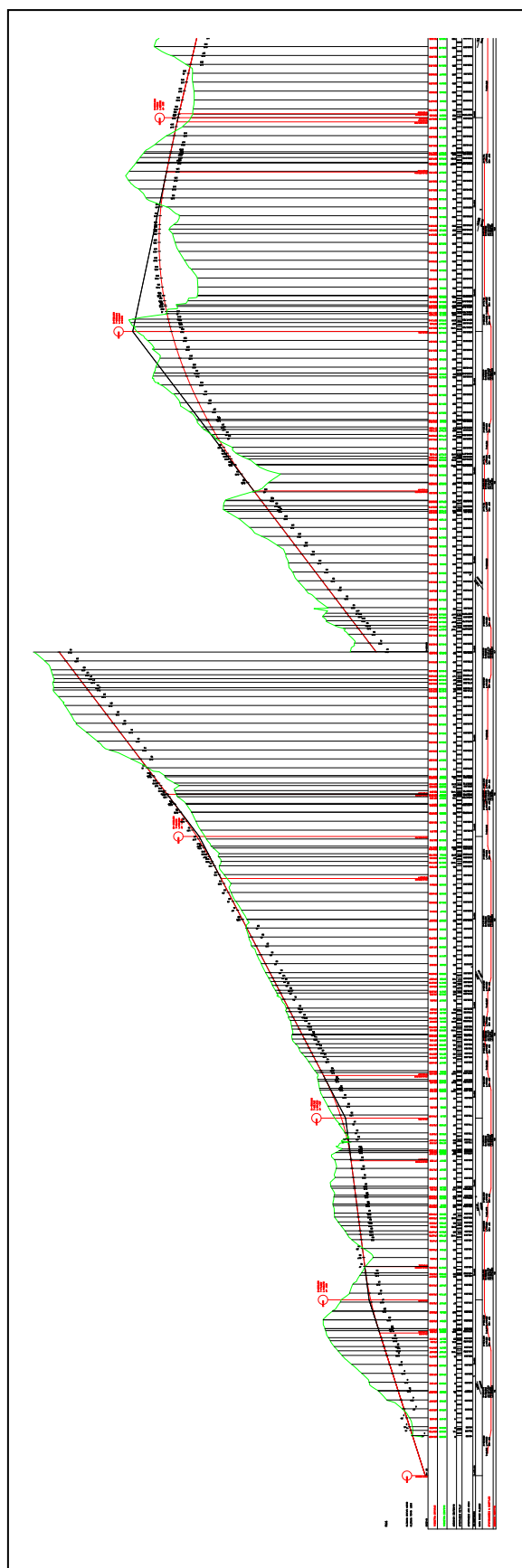
Στις προηγούμενες ενότητες αναλύθηκε η διαχρονική εξέλιξη των απαιτήσεων ορατότητας στις γερμανικές, αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες και πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση μεταξύ των απαιτήσεων οι οποίες ορίζονται στις σύγχρονες οδηγίες. Με αυτόν τον τρόπο επιχειρήθηκε να δοθεί μία πρώτη εικόνα για τις διαφορές μεταξύ των οδηγιών σε θεωρητικό επίπεδο. Είναι ωστόσο ιδιαίτερα χρήσιμοι οι απαιτήσεις αυτές να εφαρμοστούν στην πράξη, ώστε να δημιουργηθεί μία πιο ολοκληρωμένη αντίληψη για το πώς οι απαιτήσεις ορατότητας επηρεάζουν πρακτικά τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται έλεγχος της επάρκειας των μηκών ορατότητας για στάση στον γεωμετρικό σχεδιασμό ενός υπό μελέτη οδικού τμήματος μέσω προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με βάση τα γεωμετρικά του στοιχεία, παράγονται τα διαγράμματα ορατότητας (βλ. κεφ. 2.2.2) ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσο τα διαθέσιμα μήκη ορατότητας για στάση ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των τριών οδηγιών.

4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

Το οδικό τμήμα το οποίο επιλέχτηκε για τον έλεγχο της επάρκειας της ορατότητας βρίσκεται υπό μελέτη και αποτελεί τμήμα της επαρχιακής οδού Καλαμάτας – Καρδαμύλης στον νομό Μεσσηνίας. Πρόκειται για υπεραστική οδό δύο λωρίδων με ενιαίο οδόστρωμα και ταχύτητα μελέτης 80 km/h, κατηγορίας Α ΙΙΙ σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – ΟΜΟΕ (17). Οι λωρίδες έχουν πλάτος 3.50 m ενώ υπάρχει και εκατέρωθεν έρεισμα πλάτους 2.00 m [$2 \times (3.50 + 2.00)$]. Το μήκος του είναι περίπου 3340 m και οι τιμές των ακτίνων των οριζοντιογραφικών καμπύλων κυμαίνονται από 200 έως 400 m (Σχήμα 3.1) ενώ αυτές των καμπύλων της μηκοτομής από 7500 έως 8000 m (Σχήμα 3.2). Οι κατά μήκος κλίσεις των επί μέρους τμημάτων κυμαίνονται από - 2.31 % (κατωφέρεια) έως και + 7.47 % (ανωφέρεια).



Σχήμα 4.1: Η οριζοντιογραφία του οδικού τμήματος υπό μελέτη.



Σχήμα 4.2: Η μηκοτομή του οδικού τμήματος υπό μελέτη.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

4.3.1 Το πρόγραμμα H8

Για την εξαγωγή των διαγραμμάτων ορατότητας χρησιμοποιήθηκε το πακέτο προγραμμάτων H8 υλοποιημένο με γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη οδών, σιδηροδρομικών γραμμών και αεροδρομίων. Το περιβάλλον εργασίας του είναι ένα αρχείο τύπου *xls (Microsoft Excel Worksheet) και για την κλήση των εντολών χρησιμοποιούνται μακροεντολές σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic της Microsoft. Για την εξαγωγή των διαγραμμάτων ορατότητας χρησιμοποιείται το πρόγραμμα ‘Ορατότητες’, το οποίο εντάσσεται στο H8.

4.3.2 Παραδοχές

Τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση υπολογίστηκαν με βάση τις παραδοχές των γερμανικών, αμερικανικών και αυστραλιανών οδηγιών ώστε να εξαχθούν αντίστοιχα τρία διαγράμματα ορατότητας. Οι τιμές των παραδοχών και των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση παρατίθενται συγκεντρωμένες στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Οι τιμές των μεταβλητών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση σύμφωνα με τις γερμανικές, αμερικανικές και αυστραλιανές οδηγίες.

	Ταχύτητα V_{85}	Ύψος οφθαλμών	Ύψος εμποδίου	Χρόνος αντίδρασης	Επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση	Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση
Γερμανικές οδηγίες (RAS 1995)	70 km/h	1.00 m	0.05 m	2.0 sec	3.2 m/s^2	85 m
Αμερικανικές οδηγίες (AASHTO 2004)	70 km/h	1.08 m	0.60 m	2.5 sec	3.4 m/s^2	104 m
Αυστραλιανές οδηγίες (AUSTROADS 2009)	70 km/h	1.10 m	0.20 m	2.0 sec	4.51 m/s^2	81 m

4.3.3 Διαγράμματα Ορατότητας

Εισάγοντας τις τιμές των παραδοχών στο πρόγραμμα ‘Ορατότητες’, υπολογίζεται το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση και λαμβάνεται το αντίστοιχο διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση. Στο κάτω μέρος του διαγράμματος υπάρχουν τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής της οδού, ενώ στο διάγραμμα υπάρχουν τρεις γραμμές οι οποίες αντιστοιχούν σε μήκη ορατότητας για στάση και μία γραμμή (γαλάζια) η οποία αντιστοιχεί στην λειτουργική ταχύτητα V_{85} . Στο υπό εξέταση οδικό τμήμα θεωρείται ότι σε όλο του το μήκος η V_{85} δεν μεταβάλλεται.

Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση το οποίο πρέπει να υπάρχει σε κάθε θέση της οδού και οι τιμές του διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με την κατά μήκος κλίση της οδού. Η πράσινη γραμμή αντιστοιχεί στο διαθέσιμο από την χάραξη της μηκοτομής μήκος ορατότητας για στάση. Η τέταρτη και σημαντικότερη γραμμή αφορά στα διαθέσιμα από την τρισδιάστατη χάραξη της οδού μήκη ορατότητας για στάση. Η γραμμή αυτή λαμβάνει διαφορετικό χρώμα σε κάθε σημείο ανάλογα με το στοιχείο του χώρου εξαιτίας του οποίου παρεμποδίζεται η ορατότητα. Διακρίνονται τέσσερα στοιχεία τα οποία μπορούν να παρεμποδίσουν την ορατότητα: το έδαφος, τα πρανή επιχωμάτων και ορυγμάτων και στοιχεία της διαμόρφωσης της οδού (π.χ. τοίχοι αντιστήριξης). Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται τα διαγράμματα τα οποία υπολογίστηκαν με βάση τις προβλέψεις των γερμανικών (Σχήμα 4.3), αμερικανικών (Σχήμα 4.4) και αυστραλιανών (Σχήμα 4.5) οδηγιών.

4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

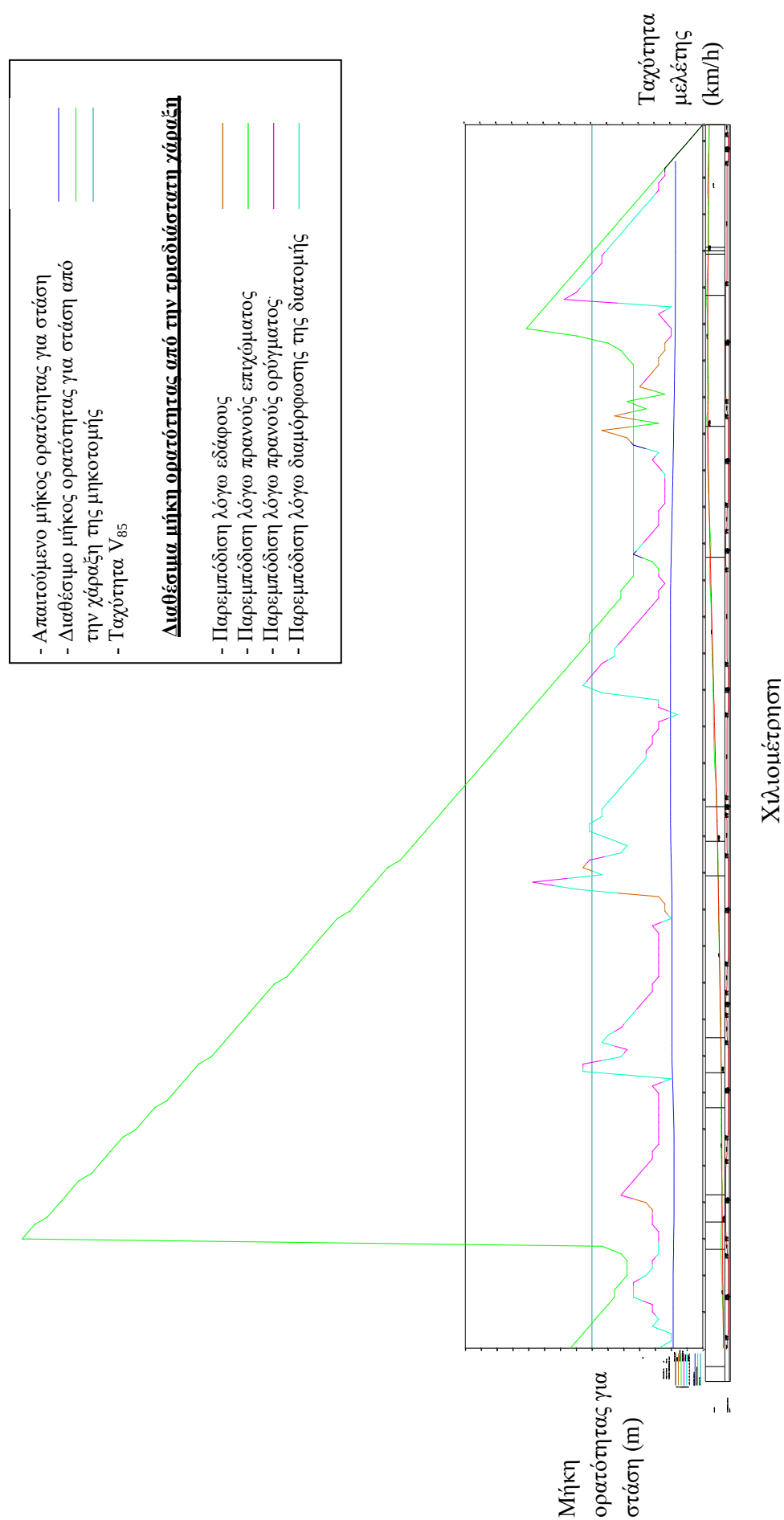
Παρατηρείται ότι σύμφωνα με τις απαιτήσεις ορατότητας και των τριών οδηγιών, το παρεχόμενο από τη χάραξη της μηκοτομής μήκος ορατότητας για στάση επαρκεί και μάλιστα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το απαιτούμενο. Η οδός όμως είναι στοιχείο του χώρου και είναι προτιμότερο εξετάζεται συνολικά η τρισδιάστατη χάραξή της. Ως εκ τούτου, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλέστερα συμπεράσματα για την επάρκεια των μηκών ορατότητας, πρέπει να εξεταστούν τα παρεχόμενα από την τρισδιάστατη χάραξη μήκη ορατότητας για στάση.

Σύμφωνα με τις αμερικανικές (5), γερμανικές (14) και αυστραλιανές (7) οδηγίες, σε κάθε σημείο του οδικού τμήματος το οποίο εξετάστηκε απαιτείται μήκος ορατότητας για στάση ίσο με 104 m, 85 m και 81 m αντίστοιχα (Πίνακας 4.1). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι τιμές του χρόνου αντίδρασης και κυρίως της επιβράδυνσης κατά την τροχοπέδηση στις αμερικανικές οδηγίες είναι οι συντηρητικότερες ανάμεσα στις τρεις οδηγίες. Αναμένεται ως εκ τούτου να προκύψουν περισσότερα σημεία με περιορισμένη ορατότητα στο οδικό τμήμα όταν αυτό ελεγχθεί με βάση τις απαιτήσεις των αμερικανικών οδηγιών.

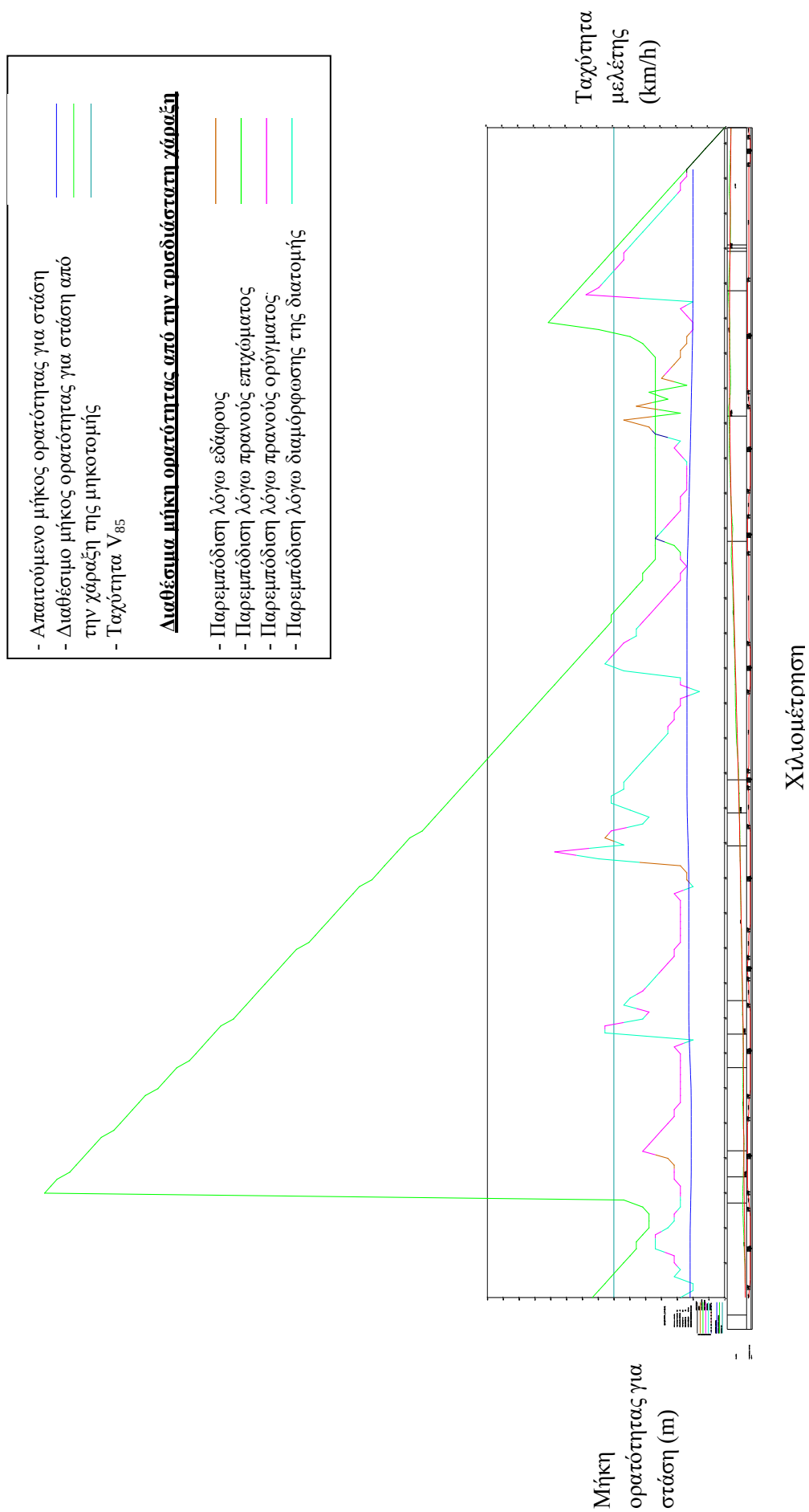
Πράγματι, στο διάγραμμα ορατότητας με βάση τις αμερικανικές οδηγίες προκύπτουν τέσσερις θέσεις στις οποίες το διαθέσιμο μήκος ορατότητας για στάση είναι μικρότερο από το απαιτούμενο (Χ.Θ. 0+025, Χ.Θ. 0+730, Χ.Θ. 1+180 και Χ.Θ. 1+730). Το έλλειμα του μήκους ορατότητας σε κάθε σημείο είναι περίπου 10 m, 10 m, 10 m και 40 m αντίστοιχα. Σε όλες τις θέσεις το αίτιο της παρεμπόδισης της ορατότητας είναι η διαμόρφωση της οδού, σε ανηφορικά τμήματα όπου μπροστά υπάρχει οριζοντιογραφική καμπύλη σε όρυγμα, με εξαίρεση την θέση στην Χ.Θ. 1+180 όπου στα 100 m μπροστά υπάρχει οριζοντιογραφική καμπύλη σε επίχωμα και στην οποία υπάρχει αρχή κοιλώματος (μετάβαση από ανωφέρεια σε ανωφέρεια με μεγαλύτερη κατά μήκος κλίση).

Στα διαγράμματα τα οποία σχεδιάστηκαν με βάση τις γερμανικές και αυστραλιανές οδηγίες υπάρχει μόνο ένα σημείο στην Χ.Θ. 1+730 στο οποίο η ορατότητα είναι περιορισμένη εξαιτίας όπως προαναφέρθηκε της διαμόρφωσης της οδού. Ενώ όμως κατά της αμερικανικές οδηγίες το διαθέσιμο μήκος ορατότητας για στάση στην συγκεκριμένη θέση είναι περίπου 40 m μικρότερο από το απαιτούμενο, κατά τις γερμανικές και αυστραλιανές οδηγίες το διαθέσιμο μήκος ορατότητας για στάση είναι μικρότερο από το απαιτούμενο κατά περίπου 25 m και 10 m αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση είναι μικρότερο στις αυστραλιανές οδηγίες σε σύγκριση με τις γερμανικές (Πίνακας 4.1).

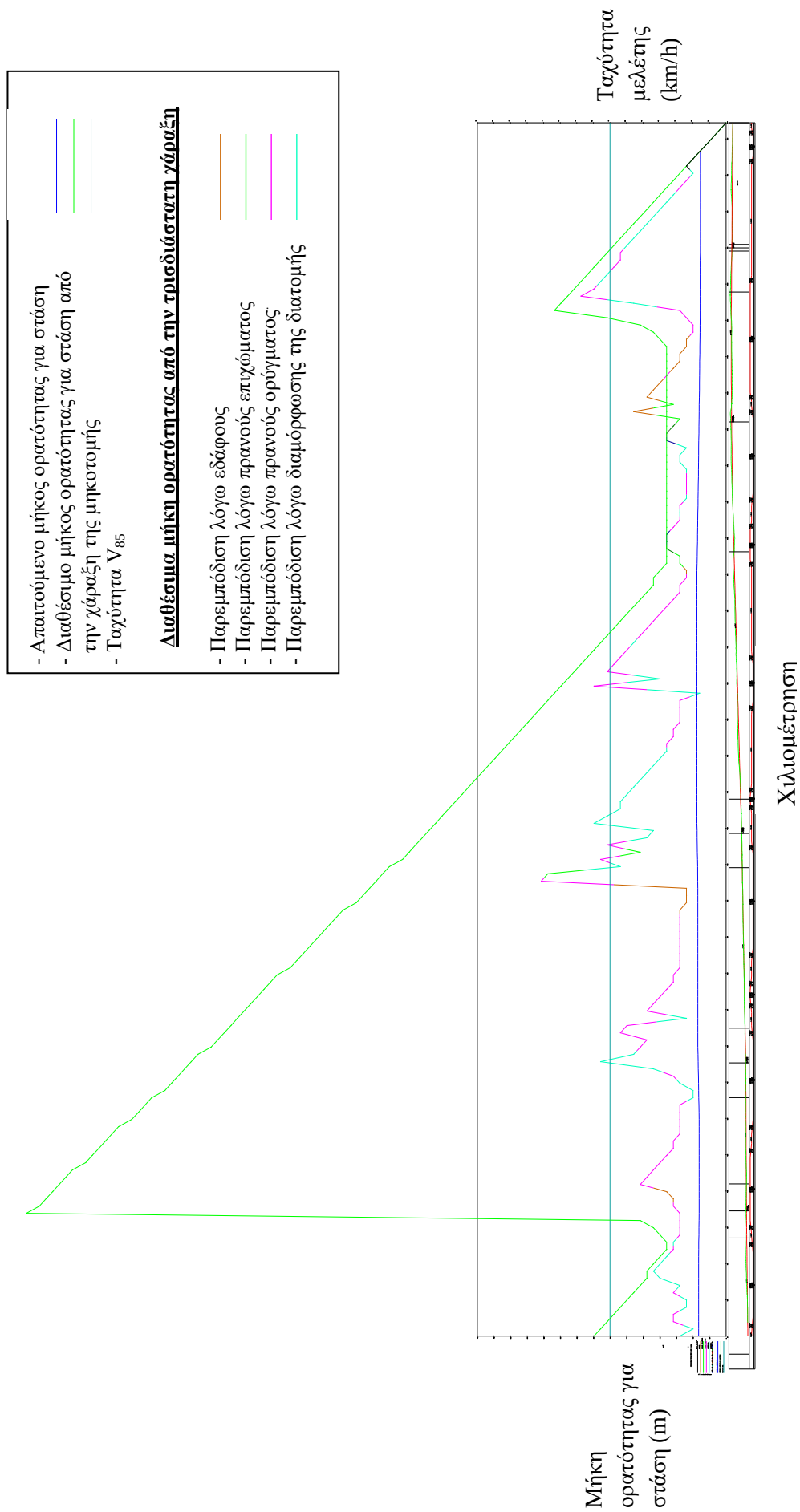
Συνεπώς, σύμφωνα με τις απαιτήσεις ορατότητας και των τριών οδηγιών, στη συγκεκριμένη θέση το παρεχόμενο από την χάραξη μήκος ορατότητας για στάση είναι πράγματι μικρότερο από το απαιτούμενο και πρέπει να υπάρξει παρέμβαση για την βελτίωση των συνθηκών ορατότητας. Στα υπόλοιπα σημεία στα οποία σύμφωνα με τις αμερικανικές οδηγίες το παρεχόμενο μήκος ορατότητας για στάση είναι μικρότερο από το απαιτούμενο, μία παρέμβαση ίσως να μην είναι απαραίτητη. Οι τιμές των παραδοχών στις αμερικανικές οδηγίες οδηγούν όπως αναφέρεται σε μήκη ορατότητας για στάση τα οποία αντιστοιχούν σε άνετη και ομαλή ακινητοποίηση του οχήματος. Για να υπερκαλυφθεί αυτό το επιπλέον μήκος των 10 m, για χρόνο αντίδρασης 2.5 sec απαιτείται επιβράδυνση 4.17 m/s^2 , η οποία αντιστοιχεί σε συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής $f_T = 0.43$, ενώ για χρόνο αντίδρασης 2.0 sec απαιτείται επιβράδυνση 3.71 m/s^2 , η οποία αντιστοιχεί σε συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής $f_T = 0.38$. Οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες από την απόλυτα μέγιστη τιμή των 4.5 m/s^2 που προβλέπεται στις αυστραλιανές οδηγίες και ως εκ τούτου μπορεί να θεωρηθεί ότι η πλειοψηφία των οδηγών μπορεί να αναπτύξει την επιβράδυνση η οποία απαιτείται για να ακινητοποιήσει έγκαιρα το όχημά τους.



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των γερμανικών οδηγιών (RAS 1995).



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των αμερικανικών οδηγιών (AASHTO 2004).



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα μηκών ορατότητας για στάση με βάση τις απαιτήσεις των αυστραλιανών οδηγιών (AUSTROADS 2009).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η προσπάθεια για τον σχεδιασμό ασφαλέστερων οδών υπήρξε και είναι συνεχής, και η εξέλιξη των απαιτήσεων ορατότητας έχει συμβάλλει σημαντικά στον σκοπό αυτό. Ανεξάρτητα από τις διαφορές και ομοιότητες των σημερινών οδηγιών, οι αλλαγές και η προσαρμογή των απαιτήσεων ορατότητας σε νέα επιστημονικά δεδομένα και σύγχρονες μεθοδολογίες υπήρξε διαρκής σε όλες τις οδηγίες.

Η δομή των γερμανικών και αμερικανικών οδηγιών είναι παρόμοια. Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση ορίζονται συγκεκριμένες τιμές οι οποίες επιτρέπεται να λάβουν οι μεταβλητές, ενώ για τα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού προβλέπονται ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές για όλες τις περιπτώσεις, οι οποίες δεν πρέπει να παραβιάζονται. Στις αμερικανικές οδηγίες γίνεται επιπλέον προσπάθεια τεκμηρίωσης των τιμών που προβλέπονται, με συνεχείς αναφορές σε έρευνες και μετρήσεις και με εκτενή ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθείται. Στις γερμανικές οδηγίες η δομή είναι πιο αυστηρή και η ανάλυση που γίνεται είναι πιο περιεκτική. Οι αμερικανικές οδηγίες ωστόσο δεν είναι πληρέστερες των γερμανικών και επιπλέον τόσο η εξέλιξη, όσο και οι σημερινές τιμές των στοιχείων των απαιτήσεων ορατότητας στις αμερικανικές οδηγίες υπήρξε σε γενικές γραμμές η συντηρητικότερη των τριών οδηγιών.

Στις αυστραλιανές οδηγίες ακολουθείται μια διαφορετική δομή. Για τις παραμέτρους του υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση δεν προβλέπονται συγκεκριμένες ελάχιστες ή μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές. Ανάλογα με το οδικό τμήμα και το περιβάλλον στο οποίο σχεδιάζεται, οι τιμές των μεταβλητών μπορεί να ληφθούν από ένα εύρος δυνατών τιμών, οδηγώντας σε διαφορετικά απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση και κατ'επέκταση σε διαφορετικές ελάχιστες τιμές για τα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία σχεδιασμού των οδών φαίνεται να κερδίζει έδαφος. Όπως έχει αναφερθεί, στη δημοσίευση των W. Brilon και C. Lippold (8) αναφέρεται πως στη Γερμανία υιοθετείται ως αρχή σχεδιασμού των οδών η κατάταξή τους σε κατηγορίες, κάθε μία από τις οποίες πρέπει να έχει ενιαία γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών δηλαδή δεν θα βασίζονται στην εκάστοτε ταχύτητα μελέτης, αλλά η οδός θα κατατάσσεται σε μία κατηγορία και οι τιμές των γεωμετρικών της στοιχείων θα λαμβάνονται από το εύρος των δυνατών τιμών που αντιστοιχούν στην εκάστοτε κατηγορία. Σχετική με το σκεπτικό αυτό αναφορά υπάρχει και στις αμερικανικές οδηγίες, όπου επισημαίνεται πως η τιμή του χρόνου αντίδρασης θα μπορούσε να λαμβάνει διαφορετική τιμή, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο σχεδιάζεται μια οδός. Η άποψη του γράφοντος είναι πως η συγκεκριμένη δομή που προτάθηκε στη Γερμανία και εφαρμόστηκε εν μέρει στις αυστραλιανές οδηγίες, διευρημένη σε όλα τα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, είναι ίσως το μέλλον όλων των οδηγιών.

Εκτός από την κοινή μεθοδολογία η οποία φαίνεται γενικά να υιοθετείται, η εξέλιξη των παραδοχών και της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση ήταν κοινή για τις τρεις οδηγίες που εξετάστηκαν. Οι αλλαγές των παραδοχών για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση και πιο συγκεκριμένα οι αλλαγές στο ύψος του εμποδίου και στον συντελεστή εφραπτομενικής τριβής, είναι ίσως το μέρος των απαιτήσεων ορατότητας με τις περισσότερες και σημαντικότερες αλλαγές. Ο καθορισμός των τιμών των μεταβλητών άλλωστε είναι η βάση των απαιτήσεων ορατότητας.

Η εξέλιξη των τιμών του συντελεστή εφραπτομενικής τριβής είχε την σημαντικότερη επιρροή στην εξέλιξη του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση. Ο καθορισμός της τιμής του ήταν δυσχερής λόγω της δυσκολίας της μέτρησής του και της έλλειψης πειραματικών δεδομένων. Η αβεβαιότητα στον όσο το δυνατόν ακριβέστερο προσδιορισμό των τιμών του είχε σαν αποτέλεσμα να καθορίζονται τιμές αρκετά συντηρητικότερες σε σχέση με τις σημερινές. Επιπλέον, κάνοντας την παραδοχή ότι τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων και τα ελαστικά των οχημάτων βελτιώνονται διαρκώς, οι τιμές του συντελεστή πρέπει να επαναπροσδιορίζονται συνεχώς.

Στις σύγχρονες οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, ο συντελεστής εφραπτομενικής τριβής έχει πλέον αντικατασταθεί από την επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση. Είναι κοινή η διαπίστωση πως ανεξαρτήτως ταχύτητας, οι οδηγοί είναι ικανοί να ακινητοποιήσουν το όχημά τους με συγκεκριμένη επιβράδυνση. Σε βρεγμένα οδοστρώματα και με ελαστικά τα οποία πλοιορούν τις συνηθισμένες τεχνικές απαιτήσεις, τιμές του συντελεστή εφραπτομενικής τριβής της τάξης του 0.45 είναι ρεαλιστικές, όπως έχει προταθεί στη δημοσίευση W. Brilon και C. Lippold (8) και έχει ενσωματωθεί στις σύγχρονες αυστραλιανές οδηγίες (7). Αυτό σημαίνει πως οι οδηγοί μπορούν να αναπτύξουν επιβράδυνση περίπου 4.5 m/s^2 χωρίς απώλεια ελέγχου της πορείας τους. Οι τιμές της επιβράδυνσης στις αμερικανικές και γερμανικές οδηγίες είναι αρκετά μικρότερες και αντιστοιχούν σε άνετη και ομαλή επιβράδυνση (3.4 m/s^2 και 3.7 m/s^2 αντίστοιχα). Στον συνήθη γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών και ειδικότερα σε οδούς υψηλών απαιτήσεων όπως οι αυτοκινητόδρομοι, όπου η άνετη οδήγηση είναι εξίσου σημαντικός στόχος με την ασφάλεια, τιμές της τάξης των 3.5 m/s^2 είναι οι ενδεδειγμένες για την επίτευξη του στόχου αυτού. Οι οδοί άλλωστε δεν σχεδιάζονται με οριακές τιμές στα γεωμετρικά τους στοιχεία παρά μόνο σε δυσμενείς περιπτώσεις. Σε τέτοιες δυσμενείς περιπτώσεις, τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση μπορεί να υπολογίζονται με επιβράδυνση 4.5 m/s^2 και να εφαρμόζονται σε όλες τις κατηγορίες των οδών.

Κοινό επίσης ήταν και το σκεπτικό για τον καθορισμό της τιμής του ύψους του εμποδίου (500 mm στις γερμανικές και 600 mm στις αμερικανικές οδηγίες). Η λογική της βελτίωσης της ασφάλειας κατά τον σχεδιασμό, μέσω της χρήσης εμποδίου πολύ μικρού ύψους εγκαταλείφθηκε, αφού δεν αποδείχθηκε ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία οδηγεί σε ασφαλέστερες οδούς. Αντίθετα, θεωρείται ότι οι σημερινές

τιμές είναι αντιπροσωπευτικές εμποδίων τα οποία είναι ικανά να προκαλέσουν σοβαρό ατύχημα και κυρίως μπορούν να γίνουν εγκαίρως αντιληπτά από τους οδηγούς. Η λογική αυτή ωστόσο δεν φαίνεται να επικρατεί στις αυστραλιανές οδηγίες, στις οποίες η τιμή του ύψους του εμποδίου για τον συνήθη γεωμετρικό σχεδιασμό είναι 200 mm. Όπως αναφέρεται όμως στις αμερικανικές οδηγίες, εμπόδια τόσο χαμηλού ύψους αφενός δεν ευθύνονται για σοβαρά ατυχήματα, αφετέρου δεν μπορούν να γίνουν εγκαίρως αντιληπτά από τους οδηγούς.

Παρά τις ομοιότητες στην μεθοδολογία υπολογισμού του, οι τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση δεν βρίσκονται στα ίδια επίπεδα στις τρεις οδηγίες. Υπενθυμίζεται ότι στις γερμανικές οδηγίες οι τιμές αυτές διαμορφώθηκαν μετά από σχεδόν συνεχή μείωση, ενώ στις αμερικανικές οδηγίες είναι αρκετά αυξημένες σε σχέση με τα επίπεδα του 1965. Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για ταχύτητα 130 km/h στις αμερικανικές οδηγίες είναι για παράδειγμα κατά 70 m μεγαλύτερο από το απόλυτα ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση στις αυστραλιανές οδηγίες, εξαιτίας της διαφορετικής τιμής της επιβράδυνσης που χρησιμοποιείται. Το γεγονός αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι οι αυστραλιανές οδηγίες οδηγούν σε λιγότερο ασφαλείς οδούς, αλλά από την ανάλυση η οποία προηγήθηκε, κατά την άποψη του γράφοντος προκύπτει ότι οι τιμές οι οποίες προβλέπονται στις αμερικανικές και γερμανικές οδηγίες είναι περισσότερο επιθυμητές, παρά κατώτατες επιτρεπόμενες.

Σε ότι αφορά τα στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού, και στις τρεις οδηγίες παρατηρήθηκε ένα πρόβλημα σε ότι αφορά την ορατότητα της εσωτερικής λωρίδας οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα. Όπως έχει αναλυθεί, τα μήκη της πλευρικής εκτροπής τα οποία απαιτούνται είναι πολύ μεγάλα για να εφαρμοστούν, καθώς είναι βέβαιο πως η επιφάνεια που θα δημιουργηθεί θα μετατραπεί σε λωρίδα προσπέρασης από τους οδηγούς, μετατρέποντάς τη σε περιοχή επικίνδυνων κυκλοφοριακών εμπλοκών, κάτι το οποίο επισημαίνεται με σαφήνεια μόνο στις αμερικανικές οδηγίες. Η άποψη του γράφοντος είναι πως στις οδηγίες πρέπει να καθοριστεί ένα μέγιστο μήκος πλευρικής εκτροπής, πάνω από το οποίο η πλευρική εκτροπή δεν μπορεί να αποτελέσει λύση για τη βελτίωση των συνθηκών ορατότητας σε ένα οδικό τμήμα, στο οποίο και πρέπει να εφαρμοστεί διαφορετική λύση, όπως η χρήση οριζοντιογραφικής καμπύλης μεγαλύτερης ακτίνας ή η αλλαγή της χάραξης. Στις αμερικανικές οδηγίες αναφέρεται ότι το μήκος της πλευρικής εκτροπής δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3.6 m. Κατά την άποψη του γράφοντος ωστόσο η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Ειδικότερα σε χώρες με χαμηλή οδηγική παιδεία, όπως η Ελλάδα, το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος της πλευρικής εκτροπής πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε το επιπλέον πλάτος της οδού να μην μετατρέπεται σε λωρίδα για προσπέραση τόσο από τα οχήματα, όσο και από τους μοτοσυκλετιστές, μετατρέποντάς τις σε περιοχές επικίνδυνων κυκλοφοριακών εμπλοκών.

Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής μειώνονται επίσης διαρκώς στις γερμανικές οδηγίες ενώ αντίθετα, οι

αντίστοιχες τιμές στις αμερικανικές οδηγίες είναι είτε αυξημένες, είτε οι ίδιες σε σχέση με τα επίπεδα του 1965. Φαίνεται δηλαδή, ότι η πρόοδος στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών ήταν μεγαλύτερη στην Γερμανία, όπου η προσπάθεια επαναπροσδιορισμού των τιμών των καμπύλων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής ήταν συνεχής. Η εξέλιξη των αμερικανικών οδηγιών αντίθετα ήταν αρκετά συντηρητικότερη, ενώ όπως έχει αναφερθεί, οι σημαντικότερες αλλαγές έγιναν μία μόνο φορά, μετά την έκδοση του 2001 (4) στην οποία ενσωματώθηκαν τα αποτελέσματα του προγράμματος NCHRP (10).

Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο η ανάλυση η οποία πραγματοποιήθηκε στην παρούσα Δ.Ε. να γίνει και σε άλλες οδηγίες για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. (π.χ. Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Καναδάς). Προτείνεται επίσης η περαιτέρω διερεύνηση της επίπτωσης που έχει η ποσοστιαία μεταβολή των τιμών του συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής στην ποσοστιαία μεταβολή των τιμών των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση. Η άποψη του γράφοντος είναι ότι με τα αποτελέσματα των ερευνών σε αυτόν τον τομέα μπορεί να βρεθεί ένα είδος “χρυσής τομής” στον καθορισμό τιμών για τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. AASHTO (1965), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
2. AASHTO (1984), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
3. AASHTO (1994), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
4. AASHTO (2001), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
5. AASHTO (2004), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
6. AUSTROADS (2003), *Rural Road Design : A Guide to the Geometric Design of Rural Roads*, AUSTROADS, Sydney, NSW
7. AUSTROADS (2009), *Guide to Road Design – Part 3 : Geometric Design*, AUSTROADS, Sydney, NSW
8. Brilon, W, Lippold, C (2005), 'A New Concept for Highway Design Guidelines in Germany', 3rd international symposium on highway geometric design, Chicago, IL
9. Dunker, L, Gleue, A (1975), 'Straßenverkehrsanlagen, Entwurf – Bemessung – Betrieb', Dr. Lüdecke – Verlagsgesellschaft m.b.H., Heidelberg
10. TRB (1997), *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Report 400 - Determination of Stopping Sight Distance*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
11. RAL (1973), *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – Teil: Linienführung*, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Bonn

12. RAS (1984), *Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Linienführung*, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Bonn
13. RAS (1995), *Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Linienführung*, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Bonn
14. RAA (2008), *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen*, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln
15. Κανελλαΐδης, Γ, Μαλέρδος, Γ, Γλαρός, Γ (2005), ‘Σημειώσεις για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών’, Αθήνα
16. Κανελλαΐδης, Γ, Δραγομάνοβιτς, Α (2010), ‘Σημειώσεις Οδοποιίας II – Γ. Χάραξη της οδού στον χώρο’, Αθήνα
17. ΟΜΟΕ (2001), *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Τεύχος 3: Χαράξεις*, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, Αθήνα