

Ο ρόλος της λειτουργικής ταχύτητας στην σύγχρονη οδοποιία και οι προοπτικές της

Operating speed in modern highway engineering and its perspective

Βασίλειος Ψαριανός, Τοπογράφος Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ
Κωνσταντίνος Αντωνίου, Πολιτικός Μηχανικός, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στην θεωρητική προσέγγιση της σημασίας της ταχύτητας στην οδοποιία η λειτουργική ταχύτητα κατέχει πρωταρχική θέση. Ενώ, όμως, οι μελετητές οδοποιίας αναγνωρίζουν την σημασία της στον σωστό σχεδιασμό μιας οδού, ταυτόχρονα αδυνατούν να την εφαρμόσουν στις περισσότερες περιπτώσεις. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, η οποία συνδέει τη λειτουργική ταχύτητα με τις παραμέτρους της οδού, όπως η οριζόντια ακτίνα των καμπυλών, η κατακόρυφη κλίση, τα διάφορα λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, καθώς και μια κριτική θεώρηση των υφισταμένων προτύπων με στόχο την ανάδειξη των προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση της λειτουργικής ταχύτητας σήμερα. Τέλος, παρουσιάζεται μια σύνθεση και συμπεράσματα για τις προοπτικές και τον τρόπο ενδεχόμενης χρήσης της ταχύτητας αυτής.

ABSTRACT:

From a theoretical perspective, operating speed holds a key role in highway engineering. However, while highway engineers recognize its role in road design, at the same time they face difficulties in applying it in most cases. In this research, a critical review of the literature is presented, which links operating speed with road parameters, such as the horizontal radius of the curves and the vertical grade of the roads, as well as the various operating and geometric characteristics. Furthermore, the available models are assessed in order to identify the key issues related with the use of operating speed today. Finally, a synthesis is presented, along with conclusions about the perspective and the possible use of operating speed in the future.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ταχύτητα αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες αξιολόγησης και επιλογής εναλλακτικών διαδρομών από τους χρήστες. Επίσης, η ταχύτητα είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που χρησιμοποιούν οι μελετητές οδοποιίας για τον έλεγχο της συνέχειας της χάραξης μιας οδού διασφαλίζοντας την ενσωματωμένη στην οδό οδική ασφάλεια (built-in safety). Στους κανονισμούς οδοποιίας γίνεται η βασική υπόθεση ότι η ταχύτητα μελέτης πρέπει να αντιστοιχεί στην αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα, την ταχύτητα δηλαδή, με την οποία κυκλοφορούν γενικά τα οχήματα στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα. Σημειώνεται ότι η έννοια της ταχύτητας μελέτης επιδέχεται

διαφορετικούς ορισμούς (γεγονός που την καθιστά και προβληματική στη χρήση της). Π.χ. η AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) αναθέωρησε το 2001 τον ορισμό της για την ταχύτητα μελέτης (από "the highest overall speed at which a driver can travel on a given highway under favorable weather conditions and under prevailing traffic conditions without at any time exceeding the safe speed as determined by the design speed on a section-by-section basis" σε "the speed at which drivers are observed operating their vehicles during free-flow conditions"). Την ταυτίζουν δηλαδή με τη λειτουργική ταχύτητα στην περίπτωση του γεωμετρικού σχεδιασμού οδών. Σήμερα, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στις ΗΠΑ, ο πιο συχνός ορισμός της

λειτουργικής ταχύτητας είναι η ταχύτητα που δεν υπερβαίνει το 85% των οδηγών επιβατηγών οχημάτων μόνο (αθροιστική καμπύλη κατανομής ταχυτήτων). Το αν το οδόστρωμα είναι υγρό ή στεγνό δεν παίζει πλέον ουσιαστικό ρόλο.

Εν γένει, η ταχύτητα μελέτης επιλέγεται σε σχέση με την κατηγορία της οδού, την τοπογραφία και τις χρήσεις γης. Οι μελετητές ενθαρρύνονται να διατηρούν μια σταθερή ταχύτητα μελέτης για εκτεταμένα μήκη της οδού, με στόχο της εξασφάλιση της συνέχειας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού. Η εφαρμογή της έννοιας της ταχύτητας μελέτης, όμως, έχει αποδειχθεί στην πράξη ανεπαρκής για τη μείωση των διακυμάνσεων της πραγματικής ταχύτητας των οχημάτων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες, π.χ. διαστάσεις στοιχείων διατομής, οι οποίοι -αν και δεν σχετίζονται άμεσα και μονοσήμαντα με την ταχύτητα μελέτης- έχουν στην πράξη σημαντική επίπτωση στη λειτουργική ταχύτητα που επιλέγεται από τους χρήστες της οδού.

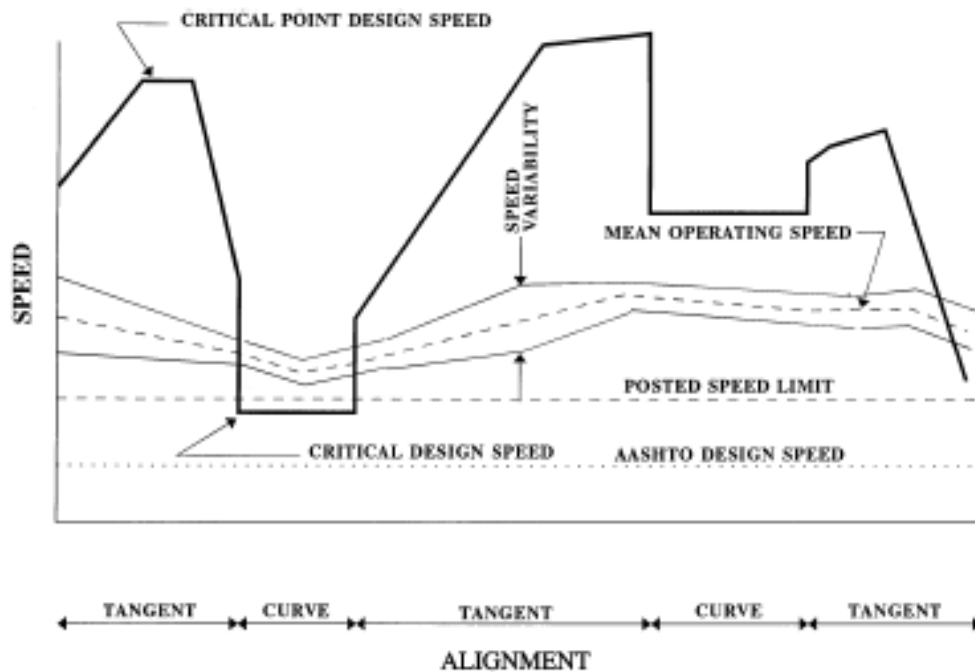
Η ενσωμάτωση ενός τρόπου πρόβλεψης της λειτουργικής ταχύτητας στη φάση της μελέτης μιας οδού βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια. Η χρήση της έννοιας της λειτουργικής ταχύτητας επιτρέπει την εκτίμηση αναμενόμενων αλλαγών ταχύτητας μεμονωμένων οχημάτων, τα οποία διασχίζουν διαδοχικά τμήματα της οδού. Η μείωση των διακυμάνσεων αυτών μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση στην οδική ασφάλεια αλλά και πέρα από αυτή και στην κυκλοφοριακή απόδοση της οδού. Παρά τις όποιες όμως σχετικές προσπάθειες δεν έχει επιτευχθεί ακόμη η διατύπωση ενός τρόπου ή μιας μεθόδου που θα επέτρεπε έναν επαρκή και αξιόπιστο προσδιορισμό της λειτουργικής ταχύτητας που θα αναπτύσσεται κατά μήκος μιας οδού για όλες τις περιπτώσεις και συνθήκες χρήσης της οδού.

Οι Tarris et al. (2000) διατυπώνουν την άποψη ότι η έννοια της ταχύτητας μελέτης μπορεί να οδηγήσει σε ασυνεπή γεωμετρικό σχεδιασμό,

καθώς δεν υπάρχει κάποια διαδικασία ανατροφοδότησης κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού για την εκτίμηση λειτουργικών ταχυτήτων. Στο σχήμα 1 περιγράφεται η γενική σχέση των χαρακτηριστικών της ταχύτητας που ανέπτυξαν οι Tarris et al. (2000). Στο σχήμα αυτό φαίνεται ότι η (α) ταχύτητα μελέτης κρίσιμης θέσης (critical point design speed) μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα μελέτης σε δευτερεύουσες αστικές οδούς, (β) η λειτουργική ταχύτητα ξεπερνάει την ταχύτητα μελέτης, (γ) η ταχύτητα μελέτης κρίσιμης θέσης μεταβάλλεται κατά μήκος της χάραξης, (δ) οι λειτουργικές ταχύτητες παρουσιάζουν ιδιαίτερη διακύμανση κατά μήκος της χάραξης, και (ε) το όριο ταχύτητας μπορεί να ξεπερνάει την ταχύτητα μελέτης.

Σύμφωνα με τους Tarris et al. (2000) ο σχεδιασμός πρέπει να στοχεύει σε μια αρμονική σχέση μεταξύ της επιθυμητής λειτουργικής ταχύτητας (ταχύτητα στόχου), της πραγματικής λειτουργικής ταχύτητας και του ορίου ταχύτητας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού προτάθηκε μια διαδικασία που περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Η λειτουργία της οδού καθοδηγεί τη διαδικασία επιλογής λειτουργικής ταχύτητας κατά τη φάση προκαταρκτικού σχεδιασμού (planning).
- Η επιθυμητή λειτουργική ταχύτητα συνδέεται με τη λειτουργική ταχύτητα κατά AASHTO στη φάση γεωμετρικού σχεδιασμού και έχει άμεση επίπτωση στην κατανόησή της από τους οδηγούς ικανοποιώντας την προσδοκία τους για τον σωστό και αναμενόμενο τρόπο κίνησης επί της οδού καθώς και τη συνέχεια της χάραξης.
- Η ανάγκη χρήσης της σήμανσης αποκτά συμπληρωματικό ρόλο στη φάση προμελέτης και οριστικής μελέτης της οδού.
- Η πραγματική λειτουργική ταχύτητα είναι σε αντιστοιχία με τη λειτουργία της οδού και την επιθυμητή λειτουργική ταχύτητα κατά τη φάση λειτουργίας.



Σχήμα 1: Απεικόνιση των σχέσεων ταχύτητας κατά μήκος μιας οδικής χάραξης (Tarris et al. 2000).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, η οποία συνδέει τη λειτουργική ταχύτητα με τις παραμέτρους της οδού, όπως η οριζόντια ακτίνα των καμπυλών, η κατακόρυφη κλίση, τα διάφορα λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Στην ενότητα 2 παρουσιάζονται στοιχεία από μελέτες που έχουν διεξαχθεί στις ΗΠΑ, τη Γερμανία και την Ελλάδα, ενώ στην ενότητα 3 παρουσιάζεται μια κριτική θεώρηση των υφιστάμενων προτύπων με στόχο την ανάδειξη των προβλημάτων που σχετίζονται με τη χρήση της λειτουργικής ταχύτητας σήμερα. Η ενότητα 4 παρουσιάζει την σύνθεση και συμπεράσματα για τις προοπτικές και τον τρόπο ενδεχόμενης χρήσης της ταχύτητας αυτής.

2. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μια επισκόπηση των μοντέλων ταχύτητας που χρησιμοποιούνται επιλεκτικά σε ορισμένες χώρες (συγκεκριμένα τις ΗΠΑ, τη Γερμανία και την Ελλάδα). Για λόγους οικονομίας χώρου δεν είναι δυνατή η παρουσίαση των προσεγγίσεων και άλλων περιοχών. Μια εις βάθος ανάλυση του αντικείμενου μπορεί να βρεθεί στην υπό έκδοση σχετική μελέτη του Transportation Research Board TRB (2011).

2.1 Ηνωμένες Πολιτείες

Στις ΗΠΑ υπάρχουν αρκετές έρευνες στο αντικείμενο της πρόβλεψης της ταχύτητας. Αρκετές από αυτές έχουν επικεντρωθεί στην πρόβλεψη της ταχύτητας V85. Παραδείγματος χάριν, οι Lamm et al. (1987; 1988; and 1990) ανέπτυξαν ένα μοντέλο για την πρόβλεψη της ταχύτητας V85 σε οριζόντιες καμπύλες, χρησιμοποιώντας στοιχεία από οδικά τμήματα με εύρος διαφόρων οδικών χαρακτηριστικών όπως η πυκνότητα διασταυρώσεων και η κατακόρυφη κλίση και ΕΜΗΚ μεταξύ 400 και 5000 οχ/ω.

Μια άλλη μελέτη για την εκτίμηση της λειτουργικής ταχύτητας πραγματοποιήθηκε από τους Islam and Seneviratne (1994), οι οποίοι χρησιμοποίησαν στοιχεία από μια οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση με βαθμό καμπυλότητας μεταξύ 4 και 28 βαθμών καμπύλης ($DC=5729.6/R$, όπου R η ακτίνα της καμπύλης [DC: μοίρες ανά 100 πόδια]). Χρησιμοποιώντας ένα δείγμα 125 μετρήσεων τοπικής ταχύτητας για κάθε καμπύλη σε τρία σημεία κατά μήκος της καμπύλης, οι Islam and Seneviratne (1994) κατέληξαν ότι η ακτίνα της καμπύλης είναι η πιο σημαντική παράμετρος στην πρόβλεψη της λειτουργικής ταχύτητας σε οριζόντιες καμπύλες. Επίσης, επισημαίνεται ότι, για την ίδια καμπύλη, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων σε

τρία καθοριστικά σημεία μέτρησης (Gibreel et al. 1999). Καθώς οι διαφορές αυτές αυξάνουν ανάλογα με τον βαθμό καμπυλότητας, οι Gibreel et al. (1999) αναφέρουν ότι προβλήματα συνέχειας της ταχύτητας μπορεί να εμφανίζονται κατά μήκος απότομων οριζόντιων καμπύλων.

Οι Fitzpatrick et al. (2000) ανέλυσαν σημαντικό αριθμό καμπυλών και κατέληξαν σε διάφορα γενικά συμπεράσματα, τα οποία περιλαμβάνουν τα εξής: (i) Για επιβατικά οχήματα, η καμπυλότητα της καμπύλης ήταν η μόνη στατιστικά σημαντική ανεξάρτητη μεταβλητή ($1/R$) για την πρόβλεψη της ταχύτητας V85, (ii) Οι λειτουργικές ταχύτητες σε οριζόντιες καμπύλες είναι αντίστοιχες με τις ταχύτητες σε μεγάλες ευθυγραμμίες, όταν η ακτίνα υπερβαίνει τα 800μ, (iii) Οι λειτουργικές ταχύτητες σε οριζόντιες καμπύλες μειώνονται σημαντικά όταν η ακτίνα είναι μικρότερη από 250μ.

Αναφορικά με υπεραστικές οδούς με περισσότερες από 2 λωρίδες κυκλοφορίας, το Highway Capacity Manual (HCM, 2000) επιτρέπει διάφορες υποθέσεις για τη σχέση μεταξύ του ορίου ταχύτητας και της λειτουργικής ταχύτητας. Παραδείγματος χάριν, όταν το όριο ταχύτητας είναι 40 ή 45 μίλια ανά ώρα (mph), δηλαδή περίπου 65-72 km/h, γίνεται η υπόθεση ότι η βασική ταχύτητα ελεύθερης ροής υπό ιδανικές συνθήκες υπερβαίνει το όριο ταχύτητας κατά 11 km/h, ενώ όταν το όριο ταχύτητας είναι 50-55 mph, δηλαδή 80-88 km/h, τότε η βασική ταχύτητα ελεύθερης ροής υπερβαίνει το όριο ταχύτητας κατά 8 km/h. Αυτή η υπόθεση μπορεί να χρησιμοποιείται όταν δεν είναι δυνατή μια μελέτη πεδίου, όπου θα γίνουν μετρήσεις της λειτουργικής ταχύτητας.

Ως συμπέρασμα της πλούσιας σχετικής βιβλιογραφίας, φαίνεται ότι υπάρχουν διάφορες παράμετροι γεωμετρικού σχεδιασμού που σχετίζονται με την τιμή της λειτουργικής ταχύτητας σε αστικές και υπεραστικές οδούς στη Βόρεια Αμερική, όπως:

- Η παρουσία διαχωριστικής νησίδας σχετίζεται με **αύξηση** της λειτουργικής ταχύτητας.
- Η λειτουργική ταχύτητα **μειώνεται** όταν αυξάνει η καμπυλότητα της οριζόντιας καμπύλης, όταν περιορίζεται η απόσταση των πλευρικών εμποδίων, όταν η κατά

μήκος κλίση αυξάνει και όταν η πυκνότητα των προσβάσεων αυξάνει.

- Η παρουσία χώρων στάθμευσης και πεζοδρομίων συσχετίζεται με μείωση της λειτουργικής ταχύτητας.

Στη βιβλιογραφία που μελετάει τη σχέση μεταξύ γεωμετρικών χαρακτηριστικών και λειτουργικής ταχύτητας σε υπεραστικές οδούς με περισσότερες από δύο λωρίδες κυκλοφορίας αναφέρονται οι εξής σχέσεις:

- Η λειτουργική ταχύτητα **μειώνεται** όταν αυξάνει η πυκνότητα των προσβάσεων,
- Η παρουσία ασφαλτοστρωμένου ερείσματος συσχετίζεται με **μεγαλύτερες** λειτουργικές ταχύτητες,
- Αύξηση της κατά μήκος κλίσης συσχετίζεται με **χαμηλότερες** λειτουργικές ταχύτητες, και
- Αύξηση του μήκους ή της ακτίνας μιας οριζόντιας καμπύλης οδηγεί σε **μεγαλύτερες** λειτουργικές ταχύτητες.

Αντίστοιχα, από τις μελέτες σχετικά με περιαστικές οδούς προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

- Οι λειτουργικές ταχύτητες **αυξάνουν** όταν αυξάνει η απόσταση ορατότητας, ενώ μειώνονται όταν αυξάνει η πυκνότητα των προσβάσεων και μειώνεται η απόσταση από τα πλευρικά εμπόδια,
- Η παρουσία ασφαλτοστρωμένου ερείσματος συσχετίζεται με **μεγαλύτερες** λειτουργικές ταχύτητες,
- Η αύξηση της ακτίνας της οριζόντιας καμπύλης σχετίζεται με **υψηλότερες** λειτουργικές ταχύτητες,
- Η αύξηση της μεταβολής της γωνίας διεύθυνσης της οριζόντιας καμπύλης (γωνία εκτροπής) και η αύξηση του ρυθμού αλλαγής της καμπυλότητας ή του λόγου διαδοχικών οριζόντιων καμπυλών σχετίζεται με **μειωμένες** λειτουργικές ταχύτητες.

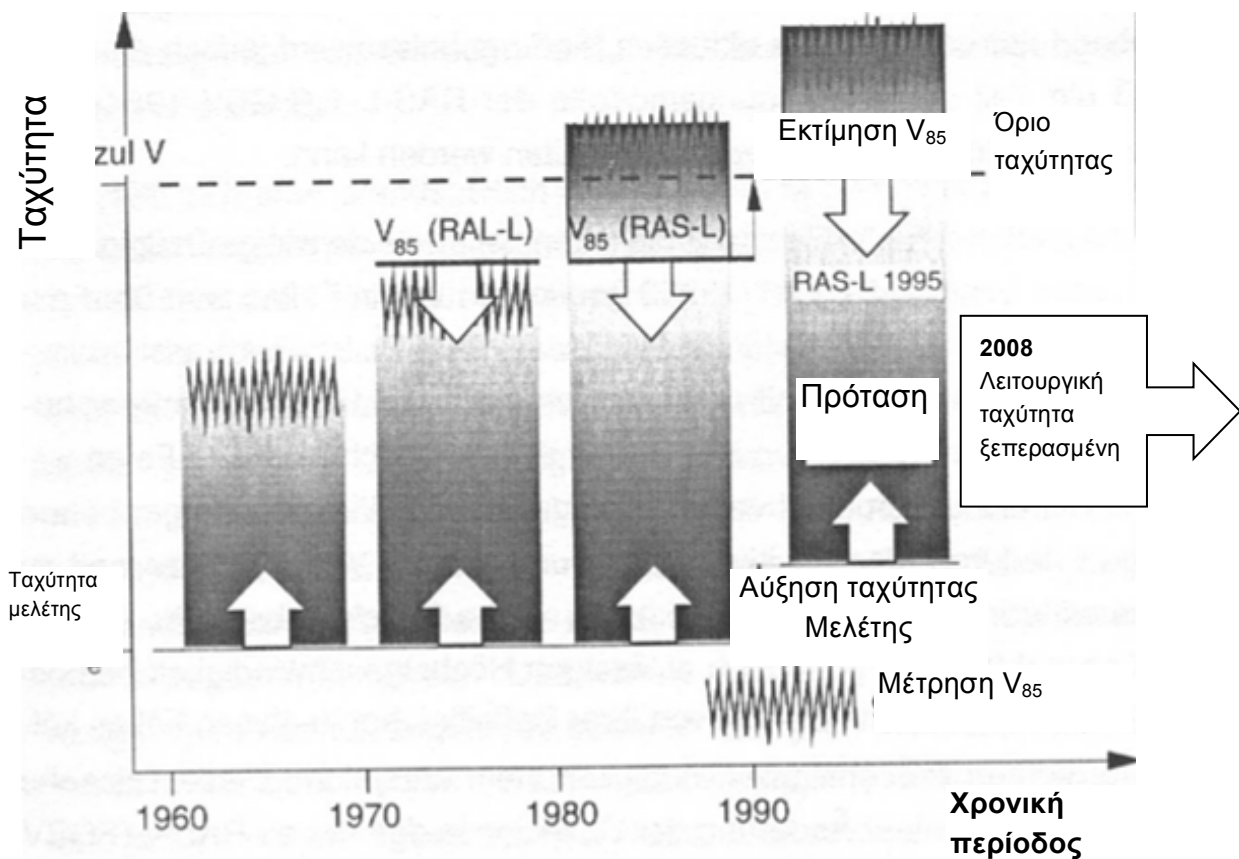
2.2 Γερμανία

Η λειτουργική ταχύτητα στη Γερμανία ορίζεται επίσημα ως η ταχύτητα που δεν υπερβαίνει το 85% των ανεμπόδιστα κινουμένων οδηγών (V85). Η λειτουργική ταχύτητα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1973 για το σχεδιασμό υπεραστικών οδών με δύο

λωρίδες κυκλοφορίας στην έκδοση του Γερμανικού Κανονισμού Οδοποιίας RAL-L-1 (1973). Αυτή ήταν και η πρώτη φορά που η λειτουργική ταχύτητα χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο σχεδιασμού για υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας, σε μια προσπάθεια ένταξης της πραγματικής ταχύτητας των οδηγών και της σύνδεσής της με την ταχύτητα μελέτης και το όριο ταχύτητας. Έκτοτε, η λειτουργική ταχύτητα χρησιμοποιείται σε όλες τις εκδόσεις των Γερμανικών Κανονισμών Οδοποιίας.

Ο νέος Γερμανικός Κανονισμός Υπεραστικών Οδών εκτός αυτοκινητοδρόμων (German Guide for the Design of Rural Roads, 2011) προτείνει μια διαφορετική προσέγγιση στο θέμα της ταχύτητας, αφού οι κατηγορίες οδών

δεν σχετίζονται πλέον με τη λειτουργική ταχύτητα. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται μια επισκόπηση της εξέλιξης της έννοιας της ταχύτητας για υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας στη Γερμανία (Lippold, 1997). Από το 2008 η έννοια της λειτουργικής ταχύτητας θεωρείται πλέον ξεπερασμένη στους κανονισμούς οδοποιίας στη Γερμανία για όλες τις κατηγορίες οδών. Η πιο πρόσφατη εξέλιξη εν προκειμένω είναι η χρήση λειτουργικών κατηγοριών οδών χωρίς να γίνεται αναφορά στην έννοια της λειτουργικής ταχύτητας. Καθοριστική ταχύτητα είναι πλέον το γενικό όριο ταχύτητας μιας κατηγορίας οδού. Ένα μέγεθος και τύπος ταχύτητας που κατανοούν όλοι οι εμπλεκόμενοι με τη λειτουργία μιας οδού χωρίς παρανοήσεις (οδηγοί, διοικητικές υπηρεσίες, τροχαία).



Σχήμα 2. Εξέλιξη της έννοιας της ταχύτητας για υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας στη Γερμανία (Lippold, 1997)

2.3 Ελλάδα

Στους Ελληνικούς Κανονισμούς (ΟΜΟΕ-Χ) του 2001 γίνεται διαχωρισμός μεταξύ οδών με

κλίση μικρότερη ή ίση με 5% και μεγαλύτερη από 5%. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της λειτουργικής ταχύτητας (V85):

V_{85}

$$= \left[10^6 / (10150.10 + 8.529 \times CCR) \right] + [(b - 3.5) \times 20]$$

όπου CCR είναι ο ρυθμός αλλαγής της καμπυλότητας της καμπύλης (gon/km) και b είναι το πλάτος της λωρίδας (3.25/3.50/3.75 m). Για οδούς με κλίση μεγαλύτερη του 5% και μικρότερη ή ίση με 7% χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$V_{85} = 73.260 - 0.015 \times CCR$$

ενώ για κλίσεις μεταξύ 7% και 10% ισχύει η σχέση:

$$V_{85} = 79.456 - 0.014 \times CCR$$

Για τις δυο τελευταίες εξισώσεις γίνεται η υπόθεση ότι ισχύουν σε μια απόσταση μεγαλύτερη από 250m από την αρχή της συγκεκριμένης κλίσης. Το μοντέλο λειτουργικής ταχύτητας χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι η διακύμανση της λειτουργικής ταχύτητας μεταξύ διαδοχικών στοιχείων χάραξης δεν υπερβαίνει τα 10 km/h ή 20 km/h για νέες ή υφιστάμενες υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας αντίστοιχα.

Διάφορες έρευνες στην Ελλάδα έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων προτύπων υπολογισμού της λειτουργικής ταχύτητας. Οι Kanellaidis et al. (1990) π.χ. εξέτασαν τη σχέση μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας σε καμπύλες και διάφορες παραμέτρους γεωμετρικού σχεδιασμού χρησιμοποιώντας δεδομένα από 58 καμπύλες και κατέληξαν στο ακόλουθο πρότυπο λειτουργικής ταχύτητας V_{85} :

$$V_{85} = 129.88 - (623.1 / \sqrt{R})$$

όπου R είναι η ακτίνα της καμπύλης (m).

Μια άλλη πρόσφατη μελέτη σε νέα δεδομένα οδήγησε στην ακόλουθη σχέση για τη λειτουργική ταχύτητα σε υπεραστικές οδούς με δύο λωρίδες κυκλοφορίας και κλίση μικρότερη ή ίση του 5% (Xenakis, 2008):

$$V_{85} = 128400.977 / (CCR + 1284.010)$$

για πλάτη λωρίδας 3.25 και 3.50m (μεταξύ των οποίων δεν εμφανίζεται σημαντική διαφορά ταχύτητας) και

$$V_{85} = 111222.738 / (CCR + 994.957)$$

για πλάτος λωρίδας ίσο με 3.75 m.

Η σύγκριση των λειτουργικών ταχυτήτων που μετρήθηκαν το 2008 με τις ταχύτητες της περιόδου 1991-1992 έδειξε μια αύξηση της ταχύτητας της τάξης των 9 km/h (δηλαδή αύξηση της τάξης του 0.5 km/h/έτος) στην εφαπτομένη (δηλαδή όταν CCR=0 gon/km), ενώ η διαφορά αυτή σταδιακά μειώνεται μέχρι την τιμή CCR = 500 gon/km (περίπου 127 m), πέρα από την οποία οι λειτουργικές ταχύτητες που μετρήθηκαν τις δύο χρονικές περιόδους συμπίπτουν.

3. ΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Στην ενότητα αυτή συζητούνται ορισμένοι περιορισμοί των προτύπων πρόβλεψης ταχύτητας που χρησιμοποιούνται συχνά σε όλο τον κόσμο

3.1 Συλλογή δεδομένων

Ένας βασικός περιορισμός σε έρευνες πεδίου σχετίζεται με την κάλυψη των συνθηκών που καλύπτει το δείγμα μετρήσεων ταχυτήτων. Αναλύοντας υφιστάμενα πρότυπα ταχύτητας ο Hassan (2004) και οι Nie and Hassan (2007) σημειώνουν ότι τα κριτήρια επιλογής των καμπυλών για τις οποίες συλλέγονται δεδομένα περιορίζουν την εφαρμοσιμότητα των προτύπων σε οριζόντιες καμπύλες εκτός περιοχών κόμβων ή αλλαγή στον αριθμό των λωρίδων. Επίσης, οι περισσότερες μελέτες δεν περιλαμβάνουν κλωθοειδείς καμπύλες και κανιστροειδείς καμπύλες. Σημειώνεται επίσης ότι, ενώ είναι πιθανά εύκολη η συσχέτιση της λειτουργικής ταχύτητας με ένα μικρό αριθμό παραμέτρων, η ανάλυση δεδομένων από δείγματα με σύνθετες γεωμετρίες και επικρατούσες συνθήκες δυσκολεύουν την ανάλυση των επιπτώσεων κάθε μίας παραμέτρου στην επιλεγόμενη από τους οδηγούς ταχύτητα.

Ένα άλλο πρόβλημα αφορά στο μικρό δείγμα παρατηρήσεων. Οι Misaghi and Hassan (2005) επισημαίνουν ότι σε πολλές μελέτες ο αριθμός των παρατηρήσεων που χρησιμοποιείται ανά καμπύλη κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100 και αναρωτιούνται αν είναι επαρκές δείγμα για την εκτίμηση λειτουργικών ταχυτήτων. Το πρόβλημα αυτό επιδεινώνεται αν ληφθεί υπόψη η φύση των δεδομένων (π.χ.

μετρήσεις ταχύτητας με χρήση radar), τα οποία πιθανά υπόκεινται σε συστηματικά σφάλματα του χρήστη.

Η επιλογή του αριθμού των θέσεων στις οποίες μετρείται η ταχύτητα αποτελεί επίσης μία παράμετρο προβληματισμού (McFadden and Elefteriadou, 2000). Αντίστοιχα, ενώ τα περισσότερα μοντέλα εστιάζουν σε ταχύτητες επιβατικών αυτοκινήτων, αναγνωρίζεται ότι άλλοι τύποι οχημάτων μπορεί να επηρεάζονται διαφορετικά από συνδυασμούς οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης (Fitzpatrick et al. 2000, Misaghi and Hassan, 2005). Το βασικό εμπόδιο στον υπολογισμό μοντέλων ειδικά για βαρέα οχήματα είναι η έλλειψη σχετικών δεδομένων, ενώ οι ελάχιστες τιμές ταχυτήτων των βαρέων οχημάτων είναι πιθανό να μην παρατηρούνται στα ίδια σημεία με τις ελάχιστες ταχύτητες των ΙΧ (Adolini-Minnicino and Elefteriadou, 2004). Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, οι McFadden and Elefteriadou (2000) προτείνουν την πρόβλεψη της ταχύτητας σε 13 θέσεις επί της καμπύλης.

3.2 Μη-ρεαλιστικές υποθέσεις οδηγικής συμπεριφοράς

Πολλά μοντέλα (π.χ. Leisch and Leisch, 1977, Ottesen and Krammes, 2000, και Fitzpatrick and Collins, 2000) υποθέτουν ότι η επιτάχυνση (και επιβράδυνση) λαμβάνουν χώρα μόνο στις ευθυγραμμίες που προηγούνται των καμπυλών (δηλαδή η λειτουργική ταχύτητα παραμένει σταθερή κατά μήκος της καμπύλης), κάτι που δεν συμβαδίζει με την πραγματικότητα. Παραδείγματος χάριν, οι Figueroa and Tarko (2005), παρατήρησαν ότι μόνο 65.5% της επιβράδυνσης και 71.6% της επιτάχυνσης έλαβε χώρα πριν και μετά από μια καμπύλη.

Επίσης, συχνά γίνεται η υπόθεση ότι η επιτάχυνση (ή επιβράδυνση) σε κατακόρυφες καμπύλες (ή συνδυασμό κατακόρυφων και οριζόντιων καμπυλών) είναι η ίδια αυτή που παρατηρείται σε οριζόντια χάραξη. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αποδοθεί και σε έλλειψη δεδομένων, καθώς συχνά το δείγμα επικεντρώνεται σε οριζόντιες καμπύλες (Fitzpatrick and Collins, 2000).

3.3 Εκτίμηση ταχύτητας σε σημεία αλλαγής γεωμετρικών στοιχείων

Μία συνήθης πρακτική για την εκτίμηση της συνέχειας της χάραξης της οδού είναι ο υπολογισμός της διακύμανσης της ταχύτητας από την προηγούμενη της καμπύλης ευθυγραμμία προς την οριζόντια καμπύλη. Η μεθοδολογία αυτή όμως βασίζεται ουσιαστικά στην υπόθεση ότι η κατανομή της ταχύτητας στα διαδοχικά οδικά τμήματα είναι η ίδια, κάτι που δεν είναι υποχρεωτικά ακριβές (Hirsh 1987; McFadden and Elefteriadou 2000).

3.4 Περιορισμοί μεθόδου στατιστικής ανάλυσης

Η πλειονότητα των προτύπων λειτουργικής ταχύτητας χρησιμοποιεί πρότυπα γραμμικής παλινδρόμησης, τα οποία μπορεί να έχουν διάφορους περιορισμούς. Παραδείγματος χάριν, η υπόθεση της ανεξαρτησίας των παρατηρήσεων παραβιάζεται συχνά από το συνδυασμό μετρήσεων ταχύτητας σε διαδοχικά οδικά τμήματα, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση της διαφοράς ταχύτητας (Park and Saccomanno, 2006, Park et al. 2010).

Τα διατυπούμενα πρότυπα έχουν ισχύ και πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο στο εύρος τιμών για το οποίο υπάρχουν παρατηρήσεις στο δείγμα. Προβλέψεις για συνθήκες εκτός των ορίων αυτών μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά σφάλματα. Επίσης, είναι άγνωστος ο τρόπος με τον οποίο διαφοροποιημένα πρότυπα μπορεί να αλληλεπιδρούν. Παραδείγματος χάριν, έστω ότι διατυπώνεται ένα πρότυπο με ανεξάρτητη μεταβλητή την ακτίνα καμπυλότητας και ένα άλλο με την κατά μήκος κλίση και το πλάτος της οδού. Δεν είναι καθόλου βέβαιο ότι οι τάσεις που έχουν εκτιμηθεί για τις διάφορες παραμέτρους θα διατηρηθούν και για την περίπτωση που και οι τρεις μεταβλητές χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα (Fitzpatrick and Collins 2000).

3.5 Περιορισμοί εφαρμογής

Τα περισσότερα πρότυπα δεν λαμβάνουν υπόψη τους συνδυασμούς οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης, ενώ έχει βρεθεί ότι η χρήση τρισδιάστατης έναντι δισδιάστατης χάραξης μπορεί να οδηγήσει σε δραματική υπέρ- ή υπό-εκτίμηση των πραγματικών τιμών ταχύτητας (Hassan et al., 2000). Οι Fitzpatrick et al. (2000) (οι οποίοι ανέπτυξαν πρότυπα που λαμβάνουν υπόψη τους συνδυασμό οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης)

επισήμαναν επίσης το κενό προτύπων για την μέτρηση της συνέχειας της χάραξης σε συνδυασμένες χαράξεις (οριζόντιες και κατακόρυφες καμπύλες).

Επίσης, τα περισσότερα πρότυπα είτε δεν περιλαμβάνουν τις ταχύτητες στις ευθυγραμμίες, είτε εκτιμούν μια «επιθυμητή ταχύτητα» (π.χ. Krammes et al. 1995, Fitzpatrick et al. 2000). Αυτό έχει σε κάποιο βαθμό αντιμετωπιστεί με πιο πρόσφατες μελέτες (π.χ. Polus et al., 2000, Donnell et al. 2001, Gibreel et al. 2001, Schurr et al. 2002, Adolini-Minnicino and Elefteriadou 2004, Figueroa Medina and Tarko 2005, Nie and Hassan 2007), αλλά παραμένουν ακόμη πολλά και κρίσιμα γνωστικά κενά.

Ένα άλλο παράδειγμα άγνοιας τρόπου διαχείρισης της λειτουργικής ταχύτητας αφορά στις διαφορές μεταξύ της λειτουργικής ταχύτητας την ημέρα έναντι της νύχτας, π.χ. Guzman (1996) (ενώ αντίθετα υπάρχει σημαντικότερος αριθμός ερευνών που εξετάζουν τις επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών στην ταχύτητα).

Όσον αφορά στο ανάγλυφο, η πλειοψηφία των υφιστάμενων προτύπων αφορούν σε σχετικά επίπεδες περιοχές, με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικό πεδίο έρευνας σε περιοχές με λιγότερο επίπεδα ανάγλυφα.

Τέλος, καθώς τα περισσότερα πρότυπα υπολογίζουν μόνο την ταχύτητα V85 (και όχι άλλα ποσοστά), γεννάται το ερώτημα του τρόπου που διαφοροποιείται ένας δρόμος με σχετικά υψηλή μέση ταχύτητα και μικρή διακύμανση της με ένα δρόμο με σημαντικά μικρότερη μέση ταχύτητα αλλά μεγαλύτερη διακύμανση της. Μια πιθανή αντιμετώπιση του προβλήματος θα μπορούσε να είναι η εκτίμηση της πλήρους κατανομής της ταχύτητας (Tarris et al. 1996, Fitzpatrick et al. 2003).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην θεωρητική προσέγγιση της σημασίας της ταχύτητας στην οδοποιία η λειτουργική ταχύτητα κατέχει πρωταρχική θέση. Από τις αρχές της δεκαετίας του '70 που βρήκε επίσημα εφαρμογή στους κανονισμούς οδοποιίας για πρώτη φορά η χρήση και η κατάλληλη αξιοποίησή της οδήγησε στη διατύπωση πολλών κριτηρίων και δεσμεύσεων

σχεδιασμού, που οδήγησαν σε καλύτερες και ασφαλέστερες οδούς. Τα πολλά εκατομμύρια Ευρώ που δαπανήθηκαν σε έρευνες και μελέτες με αντικείμενο την λειτουργική ταχύτητα τα τελευταία 40 χρόνια παγκοσμίως άλλωστε τεκμηριώνουν το γεγονός αυτό. Παράλληλα όμως οι ίδιες μελέτες και έρευνες σε συνδυασμό και με την εμπειρία που αποκτήθηκε εν τω μεταξύ με την εφαρμογή της έδειξαν τις αδυναμίες και τα όρια της πρακτικής εφαρμογής της. Ενώ όλοι οι μελετητές οδοποιίας αναγνωρίζουν την σημασία της στον σωστό σχεδιασμό μιας οδού, ταυτόχρονα αδυνατούν να την εφαρμόσουν στις περισσότερες περιπτώσεις. Η αδυναμία αυτή πρέπει πλέον να θεωρηθεί ως ένα αδιέξοδο που επιβάλλει την παραίτηση των μελετητών από το μέγεθος αυτό και την πλήρη διαγραφή του από τον κατάλογο των κριτηρίων σχεδιασμού; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δεν μπορεί να είναι κατηγορηματική ακόμη. Το σίγουρο είναι ότι θα πρέπει να ευρεθούν τρόποι και μέθοδοι έξυπνης παράκαμψης μιας αυστηρά μαθηματικής αναφοράς στο μέγεθος αυτό για τις περισσότερες περιπτώσεις λήψης σχεδιαστικών αποφάσεων σε μια οδό. Ιδίως όταν αναφερόμαστε σε νέες οδούς. Προς αυτή την κατεύθυνση κινούνται τελευταία και οι προσπάθειες αντιμετώπισης του σχεδιασμού και λειτουργίας μιας οδού, όπως η αυτό-εξηγούμενη/αυτό-επιβαλλόμενη οδός (self-explaining/self-enforcing road) ή ο προσαρμοσμένος στο παρόδιο περιβάλλον σχεδιασμός (context sensitive design) κ.ο.κ. Και σίγουρα η υποκατάσταση της λειτουργικής ταχύτητας με το όριο ταχύτητας (γενικό ή συστηνόμενο) είναι ένας πρακτικός και αποτελεσματικός τρόπος κάλυψης των κενών και ελλείψεων με τα οποία είναι συνυφασμένη η λειτουργική ταχύτητα σήμερα.

Οι έρευνες, οι μελέτες και οι προτάσεις δεν είναι απόλυτα αποσαφηνισμένες ακόμα για το πως ακριβώς θα ποσοτικοποιηθούν τα κριτήρια της συνέχειας και της ομοιόμορφης οδηγικής συμπεριφοράς που θα ικανοποιούν την προσδοκία των οδηγών και τα οποία αποδεδειγμένα διασφαλίζουν την ασφάλεια των μετακινούμενων. Έστω και στις λίγες εκείνες περιπτώσεις που η συμβατική χρήση της έννοιας της λειτουργικής ταχύτητας έδινε μέχρι τώρα ικανοποιητικές απαντήσεις. Βρισκόμαστε σε ένα μεταβατικό στάδιο υλοποίησης ενός νέου πλαισίου σχεδιασμού οδών. Ενδεχομένως η ανάπτυξη των νέων ιδεών ομοιόμορφων και λίγων κατηγοριών

οδών με διακριτά και οπτικά εύκολα αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά από τους οδηγούς σε συνδυασμό την εφαρμογή νέων τεχνολογιών εντός και εκτός του οχήματος (ITS) να παρακάμψει το αδιέξοδο που ανέκυψε στην μαθηματική προτυποποίηση της λειτουργικής ταχύτητας και να οδηγήσει στον σχεδιασμό οδών με υψηλά επίπεδα οδικής ασφάλειας χωρίς την χρήση της λειτουργικής ταχύτητας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adolini-Minnicino, M. and L. Elefteriadou. 2004. Speed Prediction Models for Trucks on Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Board 2004 Annual Meeting CD-ROM, Transportation Research Board.
- Donnell, E. T., Y. Ni, M. Adolini, and L. Elefteriadou. 2001. Speed Prediction Models for Trucks on Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record 1751, Transportation Research Board.
- Figueroa, A. and A. Tarko. 2004. Reconciling Speed Limits with Design Speeds. Report No. FHWA/IN/JTRP-2004/26, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Figueroa Medina, A.M., and A.P. Tarko. 2005. Speed Factors on Two-Lane Rural Highways in Free-Flow Conditions. Transportation Research Record 1912, Transportation Research Board.
- Fitzpatrick, K., and J.M. Collins. 2000. Speed-Profile Model for Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record 1737, Transportation Research Board.
- Fitzpatrick, K., P. J. Carlson, M. D. Wooldridge, and M. A. Brewer. 2000. Design Factors that Affect Driver Speed on Suburban Arterials. FHWA/TX-00/1769-3. Texas Transportation Institute.
- Fitzpatrick, K., S.P. Miaou, M. A. Brewer, P. J. Carlson, and M. D. Wooldridge. 2003. Exploration of the Relationships between Operating Speed and Roadway Features. Transportation Research Board 2003 Annual Meeting CD-ROM, Transportation Research Board.
- Gibreel, G.M., S.M. Easa, Y. Hassan, and I.A. El-Dimeery. 1999. State of the Art of Highway Geometric Design Consistency. Journal of Transportation Engineering, Volume 125, pp. 305-313.
- Gibreel, G. M., S. M. Easa, and I. A. El-Dimeery. 2001. Prediction of Operating Speed on Three-Dimensional Highway Alignments. Journal of Transportation Engineering, Volume 127, No. 1, pp. 21-30.
- Guzman, J. 1996. Comparison of Day and Night Vehicular Speeds on Horizontal Curves on Rural, Two-Lane Highways. TTI-04690-5. Texas Transportation Institute.
- Hassan, Y., G. M. Gibreel, and S. M. Easa. 2000. Evaluation of Highway Consistency and Safety: Practical Application. Journal of Transportation Engineering, Volume 126, No. 3, pp. 193-201.
- Hassan, Y. 2004. Highway Design Consistency – Refining the State of Knowledge and Practice. Transportation Research Record 1881, Transportation Research Board.
- HCM (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Hirsh, M. 1987. Probabilistic Approach to Consistency in Geometric Design. Journal of Transportation Engineering, Vol. 113, No. 3.
- Islam, M. N. and P. N. Seneviratne. 1994. Evaluation of Design Consistency of Two-Lane Rural Highways. ITE Journal, Vol. 64, No. 2, Washington, D.C., pp. 28-31.
- Kanellaidis, G., J. Golias, and Efstathiadis, S. 1990. Driver's Speed behavior on Rural Road Curves. Traffic Engineering and Control, vol. 31, No. 7/8, United Kingdom.
- Krammes, R. A., Q. Brackett, M. A. Shafer, J. L. Ottesen, I. B. Anderson, K. L. Fink, K. M. Collins, O. J. Pendleton, and C. J. Messer. 1995. Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways. Report No. FHWA-RD-94-034, Federal Highway Administration.
- Lamm, R. and E. M. Choueiri. 1987. Recommendations for Evaluating Horizontal Alignment Design Consistency Based on Investigations in the State of New York. Transportation Research Record 1122, Transportation Research Board.
- Lamm, R., E. M. Choueiri, J. C. Hayward, and A. Paluri. 1988. Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Roads. Transportation Research Record 1195, Transportation Research Board.
- Lamm, R., E. M. Choueiri, and T. Mailaender. 1990. Comparison of Operating Speeds on Dry and Wet Pavements of Two-Lane Rural

- Highways. Transportation Research Record 1280, Transportation Research Board.
- Leisch, J.E., and J.P. Leisch. 1977. New Concepts in Design-Speed Application. Transportation Research Record 631, Transportation Research Board.
- Lippold, C. 1997. Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstrassen. Ph.D. Dissertation, Technical University of Darmstadt, Germany.
- McFadden, J. and L. Elefteriadou. 2000. Evaluating Horizontal Alignment Design Consistency of Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record 1737, Transportation Research Board.
- Misaghi, P. and Y. Hassan. 2005. Modeling Operating Speed and Speed Differential on Two-Lane Rural Roads. Journal of Transportation Engineering, Volume 131, pp. 408-417.
- Nie, B. and Y. Hassan. 2007. Modeling Driver Speed Behavior on Horizontal Curves of Different Road Classifications. Proceedings of the Transportation Research Board's 86th Annual Meeting, Paper No. 07-0782, CD-ROM.
- OMOE-X 2001. Guidelines for the Design of Roadways-Part Geometric Design. Ministry of Infrastructure, Transport and Networks, Athens, Greece.
- Ottesen, J.L. and R.A. Krammes. 2000. Speed-Profile Model for a Design Consistency Evaluation Procedure in the U.S. Transportation Research Record 1701, Transportation Research Board.
- Park, P.Y., L.F. Miranda-Moreno, and F. F. Saccomanno. 2010. Estimation of Speed Differentials on Rural Highways Using Hierarchical Linear Regression Models. Canadian Journal of Civil Engineering 37(4), pp.624-637.
- Park, Y. J., and F. F. Saccomanno. 2006. Evaluating Speed Consistency Between Successive Elements of a Two-Lane Rural Highway. Transportation Research-Part A: Policy and Practice 40(5), pp. 375-385.
- Polus, A., K. Fitzpatrick, and D.B. Fambro. 2000. Predicting Operating Speeds on Tangent Sections of Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record 1737, Transportation Research Board.
- RAL-L-1. 1973. Richtlinien fuer die Anlage von Landstrassen, Teil II: Linienfuehrung, Abschnitt 1: Elemente der Linienfuehrung, Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen, Cologne, Germany.
- Schurr, K. S., P. T. McCoy, G. Pesti, and R. Huff. 2002. Relationship of Design, Operating, and Posted Speeds on Horizontal Curves of Rural Two-Lane Highways in Nebraska. Transportation Research Record 1796, Transportation Research Board.
- Tarris, J., C. Poe, J. M. Mason, and K. Goulias. 1996. Predicting Operating Speeds on Low-Speed Urban Streets: Regression and Panel Analysis Approaches. Transportation Research Record 1523, TRB, National research Council, Washington, D.C., pp. 46-54.
- Tarris, J., J. M. Mason and N. D. Antonucci. 2000. Geometric Design of Low-speed Urban Streets. Transportation Research Record 1701, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp. 95-103.
- TRB (2010). Modeling Operating Speed Synthesis Report, TRB E-Circular, Transportation Research Board, Operational Effects of Geometrics Committee, May 2010 (to be published as a TRANSPORTATION RESEARCH E-CIRCULAR).
- Xenakis. N. 2008. Update of Operating Speeds V85 on Two-Lane Rural Highways, M.Sc. Thesis, National Technical University of Athens, Faculty of Rural and Surveying Engineering, Athens, Greece.