

Δείκτες Φθοράς Οδοστρώματων από Εμπορικά Οχήματα. Μετρήσεις σε Δύο Θέσεις του Νέου Εθνικού Δικτύου

Σ. ΚΟΛΙΑΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΒΛΑΧΟΣ

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Κ. ΑΜΠΑΚΟΥΜΚΙΝ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο υπολογισμός των δεικτών φθοράς οδοστρώματος ανά τύπο εμπορικού οχήματος, όπως προέκυψε εφαρμόζοντας αναλυτική μέθοδο υπολογισμού χωρίς τη χρήση συντελεστών με εμπειρική προέλευση. Διερευνάται η επίδραση του είδους των αξόνων, του αριθμού των τροχών, του φορτίου του τυπικού άξονα και εξετάζεται η συμβολή του κριτηρίου αστοχίας του οδοστρώματος και του είδους του οδοστρώματος στην τιμή του δείκτη φθοράς. Ο υπολογισμός βασίζεται σε μετρήσεις που έγιναν σε δύο θέσεις του εθνικού οδικού δικτύου με συστήματα μέτρησης φορτίων αξόνων εν κινήσει. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι τιμές των δεικτών φθοράς εξαρτώνται από τις παραπάνω παραμέτρους, γεγονός που δεν λαμβάνεται πλήρως υπόψη, όταν ο υπολογισμός γίνεται με συντελεστές ισοδυναμίας AASHTO ή το νόμο της 4ης δύναμης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τον υπολογισμό του πάχους ενός οδοστρώματος και για τον ορθολογικό προγραμματισμό της συντήρησής του, είναι απαραίτητη η γνώση του αριθμού, του μεγέθους και του είδους των φορτίων των αξόνων των Εμπορικών Οχημάτων (ΕΟ) που διέρχονται από το συγκεκριμένο οδόστρωμα. Ως Εμπορικό Όχημα (ΕΟ) στην παρούσα εργασία ορίζεται κάθε όχημα με ωφέλιμο φορτίο που δεν είναι μικρότερο από 5t. Η χρησιμότητα των παραμέτρων αυτών δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητή στη χώρα μας παρ' όλο το εκτενέστατο οδοποιητικό πρόγραμμα που εκτελείται τα τελευταία χρόνια. Για το λόγο αυτό οι σχετικές μετρήσεις δεν είναι πυκνές και τακτικές, αλλά αντίθετα είναι περιορισμένες και αφορούν σε ορισμένες ερευνητικές προσπάθειες του Ε.Μ.Π. και του Α.Π.Θ. που χρηματοδοτήθηκαν από το ΤΕΟ. [1-5]. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε άλλες χώρες δεν περιορίζονται στην απλή μέτρηση του αριθμού και του είδους των οχημάτων που κυκλοφορούν στο οδικό δίκτυο (όπως γίνεται στη χώρα μας), αλλά έχουν εγκαταστήσει σε κατάλληλες θέσεις ειδικά συστήματα μέτρησης του βάρους και του είδους των αξόνων των οχημάτων “εν κινήσει”.

Υποβλήθηκε: 18.12.1998 Έγινε δεκτή: 24.4.1999

Στην εργασία αυτή, σε αντίθεση με προηγούμενες, ο υπολογισμός των δεικτών φθοράς οδοστρώματος ανά εμπορικό όχημα γίνεται με αναλυτικό υπολογισμό, χωρίς τη χρήση συντελεστών με εμπειρική προέλευση. Διερευνάται η επίδραση του είδους των αξόνων, του αριθμού των τροχών, του φορτίου του τυπικού άξονα, και εξετάζεται η συμβολή του κριτηρίου αστοχίας του οδοστρώματος και του είδους του οδοστρώματος στην τιμή του δείκτη φθοράς. Ο υπολογισμός βασίζεται σε μετρήσεις που έγιναν από το Εργαστήριο Οδοποιίας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Ε.Μ.Π. σε δύο σημεία της Νέας Εθνικής Οδού Πατρών - Θεσσαλονίκης στο Δερβένι και στο Μπογιάτι. Μετρήσεις του βάρους των αξόνων των ΕΟ για τη Β. Ελλάδα έχουν παρουσιαστεί από το Α.Π.Θ. [3-7].

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

ΣΙ : Συντελεστής Ισοδυναμίας.
ΣΙΔ : Συνολικές Ισοδύναμες Διελεύσεις.
ΔΦ_{εο} : Δείκτης Φθοράς εμπορικού οχήματος.
ΜΔΦ : Μέσος Δείκτης Φθοράς.

3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ

Δεδομένου ότι οι άξονες των ΕΟ παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ως προς το φορτίο τους, τη διάταξή τους και το είδος των τροχών τους, είναι πρακτικά δύσκολο τα αποτελέσματα των μετρήσεων να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό ως έχουν. Για το λόγο αυτό τα διάφορα είδη αξόνων χωρίζονται σε ομάδες που προκαλούν την ίδια εντατική κατάσταση στο οδόστρωμα και οι διελεύσεις των ομάδων αυτών εκφράζονται σε ισοδύναμες διελεύσεις ενός “τυπικού άξονα”, οι οποίες προκαλούν την ίδια φθορά με την πραγματική κυκλοφορία. Η μετατροπή αυτή γίνεται με τη βοήθεια των Συντελεστών Ισοδυναμίας (ΣΙ).

Ο υπολογισμός των ΣΙ μπορεί να γίνει με τη βοήθεια των αλγορίθμων του Οδικού Πειράματος AASHO [8] ή με την απλοποιημένη σχέση που είναι γνωστή και ως “νόμος της τετάρτης δύναμης”, σύμφωνα με την οποία ο ΣΙ του φορτίου P_i ως προς το φορτίο αναφοράς (τυπικό φορτίο) δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma I_i = \left(\frac{P_i}{P_o} \right)^4 \quad (3.1)$$

Στην εργασία “Κριτική Θεώρηση των Μεθόδων Υπολογισμού των Συντελεστών Ισοδυναμίας Φορτίων Εμπορικών Οχημάτων” [9] παρουσιάζεται, εκτός της μεθόδου του Οδικού Πειράματος AASHO, και η μέθοδος υπολογισμού των ΣΙ σύμφωνα με τις αρχές του αναλυτικού υπολογισμού των οδοστρώματων που βασίζεται στα μηχανικά χαρακτηριστικά των στρώσεων του οδοστρώματος (μέτρα ελαστικότητας, αντοχή σε κόπωση, μόνιμη παραμόρφωση). Οι ΣΙ αυτοί δεν έχουν τους περιορισμούς των ΣΙ του Οδικού Πειράματος AASHO ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών των οδοστρώματων και ως προς τα είδη των τροχών [9] και χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των μετρήσεων αυτής της εργασίας. Όταν ο υπολογισμός του πάχους των οδοστρώματων γίνεται με αναλυτικές μεθόδους, είναι θεωρητικά ορθότερο και συνεπέστερο οι ΣΙ που χρησιμοποιούνται να υπολογίζονται και αυτοί με αναλυτική μέθοδο. Οι εργασίες, που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, βασίζονται κυρίως σε προσεγγιστικές σχέσεις της μορφής 3.1 ή στους συντελεστές ισοδυναμίας του Οδικού Πειράματος AASHO.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο υπολογισμού των Συντελεστών Ισοδυναμίας (ΣI_i), οι “Ισοδύναμες Διελεύσεις” (ΙΔ) ενός άξονα φορτίου P_i ή μιας ομάδας φορτίων υπολογίζονται με πολλαπλασιασμό των πραγματικών διελεύσεων n_i με τον ΣI_i , δηλαδή:

$$I\Delta = n_i \times (\Sigma I)_i \quad (3.2)$$

Οι Συνολικές Ισοδύναμες Διελεύσεις ($\Sigma I\Delta$) της πραγματικής κυκλοφορίας, η οποία συντίθεται από ξ ομάδες αξόνων, θα δίνεται από:

$$\Sigma I\Delta = \sum_{i=1}^{\xi} (\Sigma I)_i \times n_i \quad (3.3)$$

Αντί του αριθμού των αξόνων, είναι πρακτικά πιο εύκολο και ακριβέστερο να εκτιμηθούν για την περίοδο υπολογισμού του οδοστρώματος οι διελεύσεις των εμπορικών οχημάτων ανά ομάδες οχημάτων ή ως σύνολο.

Έτσι ανάλογα με τη σύνθεση κάθε συγκεκριμένης κυκλοφορίας, είναι δυνατό να γίνει κατάταξη των εμπορικών οχημάτων, με σκοπό την εξαγωγή δεικτών φθοράς για κάθε κατηγορία. Αυτός ο δείκτης φθοράς δείχνει τον ισοδύναμο

αριθμό των τυπικών αξόνων ανά κατηγορία εμπορικού οχήματος και είναι σημαντική παράμετρος για μελλοντικές εκτιμήσεις των Συνολικών Ισοδύναμων Διελεύσεων τυπικού άξονα.

Γενικά, τα εμπορικά οχήματα είναι δυνατό να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

1. Χρήση του οχήματος.
 - Φορτηγά οχήματα.
 - Λεωφορεία.
2. Αριθμός των αξόνων του φορτηγού οχήματος ή του λεωφορείου.
 - 2-αξονικό όχημα.
 - 3-αξονικό όχημα.
 - 4-αξονικό όχημα.
 - 5-αξονικό όχημα.
 - 6-αξονικό όχημα και άνω.
3. Αρθρωτά ή άκαμπτα φορτηγά οχήματα.
4. Φορτηγά οχήματα με ή χωρίς ρυμουλκούμενο.

3.1. Μέσος δείκτης φθοράς ανά τύπο εμπορικού οχήματος

Έστω ότι σε μια χρονική περίοδο μετρήσεων παρατηρήθηκαν v διελεύσεις ενός τύπου εμπορικών οχημάτων, που αντιστοιχούν σε p διελεύσεις αξόνων, και y_i είναι ο συντελεστής ισοδυναμίας κάθε άξονα. Τότε ο μέσος δείκτης φθοράς της κατηγορίας του εμπορικού οχήματος είναι:

$$\Delta\Phi_{\epsilon o} = \frac{\sum_{i=1}^{i=p} (\Sigma I)_i}{v} \quad (3.4)$$

Έτσι, αν η κυκλοφορία των εμπορικών οχημάτων έχει χωριστεί σε “κ” τύπους, ο δείκτης φθοράς του ΕΟ τύπου j είναι $\Delta\Phi_j$ και για την περίοδο υπολογισμού έχουν προβλεφθεί K_j διελεύσεις, τότε οι Συνολικές Ισοδύναμες Διελεύσεις του τυπικού άξονα, για την περίοδο υπολογισμού του οδοστρώματος, είναι:

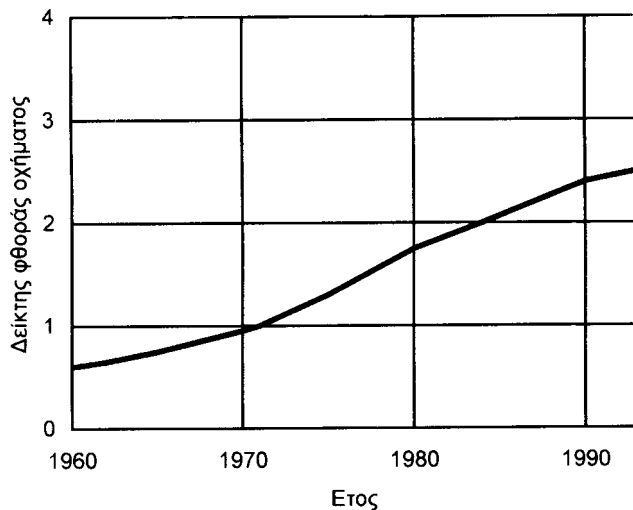
$$\Sigma I.\Delta. = \sum_{j=1}^{j=\kappa} K_j \times \Delta\Phi_j \quad (3.5)$$

Ανάλογα ορίζεται και ο Μέσος Δείκτης Φθοράς ($M\Delta\Phi$) του συνόλου των εμπορικών οχημάτων:

$$M\Delta\Phi = \frac{\Sigma I\Delta}{\Sigma K_j} \quad (3.6)$$

όπου ΣK_j είναι ο συνολικός αριθμός διελεύσεων ΕΟ.

Στις διάφορες χώρες εκτελούνται σε τακτικά χρονικά διαστήματα μετρήσεις του βάρους και του είδους των αξόνων των ΕΟ και δημοσιεύονται οι σχετικές αναλύσεις. Στο σχήμα 1 δίνεται η αύξηση του $M\Delta\Phi$ σε αυτοκινητόδρομο στην



Σχήμα 1: Αύξηση του Μέσου Δείκτη Φθοράς με το χρόνο στη Μ. Βρετανία (1960-1990) [10].

Figure 1: Increase in vehicle Damaging Factor with time in the U.K. (1960-1990) [10].

Πίνακας 1: ΜΔΦ για μέση και βαριά κυκλοφορία στη Γαλλία [11].

Table 1: Average vehicle Damaging Factor for medium and heavy traffic in France [11].

Είδος οδοστρώματος	Εύκαμπτο		Δύσκαμπτο ή Ημιάκαμπτο
	Πάχος Α.Σ. < 20 cm	Πάχος Α.Σ. > 20cm	
Μ.Δ.Φ	0.8	1.0	1.3

Αγγλία [10] με την παρέλευση των ετών, γεγονός που οφείλεται αφ' ενός στην αύξηση του μέσου μεταφερόμενου φορτίου ανά ΕΟ και αφ' ετέρου στην αύξηση του μέσου αριθμού αξόνων ανά ΕΟ (τυπικός άξονας 8.2 t).

Στον πίνακα 1 δίνονται οι ΜΔΦ που συνιστώνται από τις γαλλικές οδηγίες υπολογισμού πάχους οδοστρωμάτων [11] για μέση και βαριά κυκλοφορία για διάφορα είδη οδοστρωμάτων. Ο ΜΔΦ αναφέρεται σε τυπικό άξονα 13t με δίδυμους τροχούς.

Με τον τρόπο αυτό ο υπολογισμός της επίδρασης της κυκλοφορίας στον υπολογισμό του πάχους ενός οδοστρώματος, για το οποίο δεν υπάρχουν πραγματικές μετρήσεις του βάρους των φορτίων των αξόνων των ΕΟ, μπορεί να γίνει από τις προβλεπόμενες συνολικές διελεύσεις ΕΟ με απλό πολλαπλασιασμό με τον ΜΔΦ, υπό την προϋπόθεση ότι η σύνθεση της κυκλοφορίας των ΕΟ στο δρόμο αυτό δεν είναι διαφορετική από τη σύνθεση της κυκλοφορίας από την οποία προέκυψαν οι ΜΔΦ.

4. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΚΑΙ ΗΜΙΑΚΑΜΠΤΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του αναλυτικού υπολογισμού των δεικτών φθοράς των εμπορικών οχημάτων για εύκαμπτα και ημιάκαμπτα οδοστρώματα, όπως προέκυψαν από επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν σε δύο θέσεις του εθνικού οδικού δικτύου, με Συστήματα Μέτρησης Αξονικών φορτίων εν Κινήσει (ΣΜΑΚ). Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε “φορητά”, τα οποία μπορούν να μετακινούνται σε διάφορες θέσεις, και στα “μόνιμα” που τοποθετούνται σε κατάλληλα εκλεγμένες θέσεις και μετρούν τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας σε συνεχή βάση. Τα φορητά συστήματα δεν καλύπτουν όλο το πλάτος του οδοστρώματος, γεγονός το οποίο είναι μειονέκτημα που γίνεται σημαντικό, όταν η οδός αποτελείται από περισσότερες από μία λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που έγιναν με φορητά συστήματα, ενώ αναφορά θα γίνει και σε μόνιμο σύστημα που εγκαταστάθηκε στον ΠΑΘΕ στην περιοχή Σχηματαρίου σε όλο το πλάτος των τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας.

Τα ΣΜΑΚ και οι αντίστοιχες θέσεις του οδικού δικτύου που τοποθετήθηκαν είναι:

1. Το ΣΜΑΚ που χρησιμοποιεί το ΤΕΟ:

Πρόκειται για ένα φορητό ΣΜΑΚ, που χρησιμοποιεί αισθητήρες υπό μορφή ταπήτων (πυκνωτές), σε συνδυασμό με δύο επαγωγικούς βρόχους. Τόσο ο τάπητας όσο και οι δύο επαγωγικοί βρόχοι στερεώνονται στην επιφάνεια κύλισης του οδοστρώματος με ειδικές αυτοκόλλητες ταινίες.

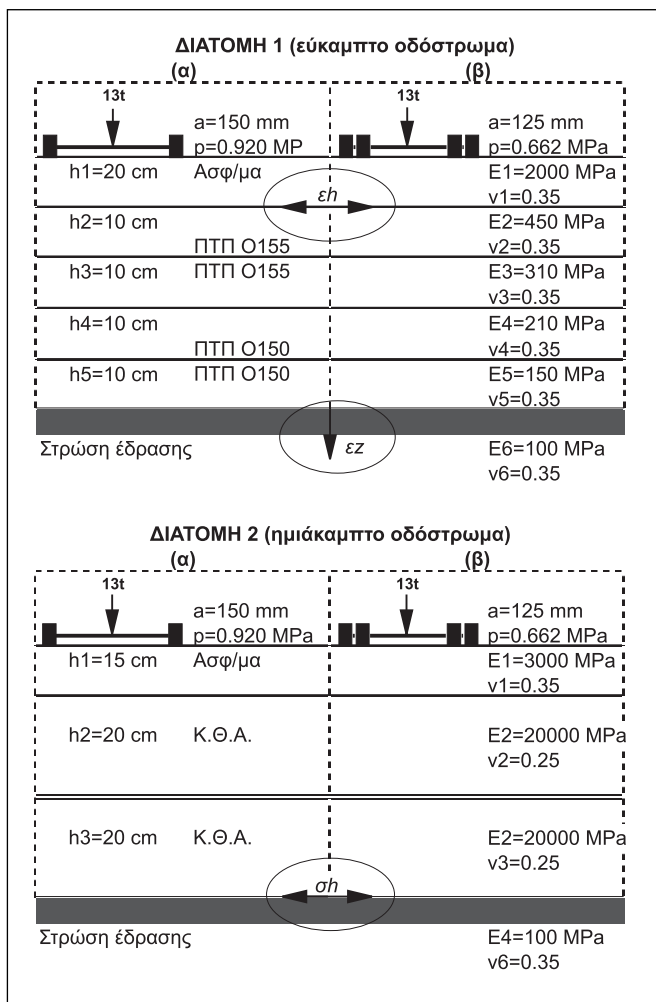
Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις του συστήματος για την περίοδο από 14/4/92 έως 20/4/92 στο 132ο χλμ. της Εθνικής Οδού Αθήνας - Πάτρας στο Δερβένι και για την περίοδο από 18/6/93 έως 25/6/93 στο 32ο χλμ. της Εθνικής Οδού Αθήνας - Λαμίας στο Μπογιάτι. Οι μετρήσεις έγιναν στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος του ΤΕΟ που εκπόνησε το Ε.Μ.Π.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τύποι των εμπορικών οχημάτων, στους οποίους διαχωρίζει τα οχήματα το φορητό ΣΜΑΚ του ΤΕΟ και για τους οποίους υπολογίστηκαν οι δείκτες φθοράς.

2. Το ΣΜΑΚ HESTIA που εγκαταστάθηκε από το Ε.Μ.Π. [12]:

Το ΣΜΑΚ “HESTIA” είναι ένας μόνιμος σταθμός, ο οποίος χρησιμοποιεί ως αισθητήρια όργανα δύο πιεζοηλεκτρικά καλώδια και έναν επαγωγικό βρόχο για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας.

Ο σταθμός “HESTIA” εγκαταστάθηκε το 1994 στο 62ο χλμ. της Εθνικής Οδού Αθήνας - Λαμίας στο Σχηματάρι και



Σχήμα 2: Διατομές οδοστρωμάτων που λήφθηκαν υπόψη για τον υπολογισμό των δεικτών φθοράς.

Figure 2: Pavement structures and material properties.

στις 4 λωρίδες κυκλοφορίας για τους σκοπούς του ερευνητικού προγράμματος του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., που εκπόνησε το Ε.Μ.Π. [12].

Ένα γενικό μειονέκτημα των Συστημάτων Μέτρησης Αξονικών φορτίων εν Κινήσει είναι η αδυναμία καταγραφής του είδους των τροχών (απλών, δίδυμων, με ευρύ πέλμα). Γενικά, όμως, είναι διαπιστωμένο ότι οι διευθυντήριοι άξονες (απλά και διπλά συστήματα αξόνων) διαθέτουν απλούς τροχούς, ενώ οι υπόλοιποι διαθέτουν δίδυμους και ένα μικρότερο ποσοστό τροχούς “ευρέος πέλματος”. (Η τελευταία αυτή περίπτωση θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο ειδικής έρευνας). Με κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων των δύο ΣΜΑΚ βρέθηκαν οι απλοί διευθυντήριοι άξονες, τα διπλά συστήματα διευθυντηρίων, οι απλοί άξονες καθώς και τα διπλά και τριπλά συστήματα αξόνων. Έτσι θεωρήθηκε ότι οι διευθυντήριοι άξονες διαθέτουν απλούς τροχούς, ενώ οι υπόλοιποι προσεγγιστικά δίδυμους, με “κανονικά” μεγέθη πέλματος.

Πίνακας 2: Τύποι εμπορικών οχημάτων σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση Νο 3 της Golden River.

Table 2: Vehicle classification according to the Golden River scheme 3.

ΚΛΑΣΗ No	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	ΚΛΑΣΗ No	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ
1	ΙΧ, ταξί, ημι-φορτηγό	5	Διαζωνικό ΒΕΟ + Διαζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα
1	Ελαφρύ Εμπορικό Όχημα (ΒΕΟ)	6	Τριζωνικό ΒΕΟ + Διαζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα με ελακυστική δοκό
1	ΙΧ ή ΒΕΟ + μονοζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα	6	Τριζωνικό ΒΕΟ + Τριζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα με ελακυστική δοκό
1	ΙΧ ή ΒΕΟ + Διαζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα	7	Διαζωνικό ρυμουλκ + μονοζωνικό ημι-ρυμουλκούμενο όχημα με άδραση
2	Διαζωνικό βαρύ Εμπορικό Όχημα (ΒΕΟ)	8	Διαζωνικό ρυμουλκ + Διαζωνικό ημι-ρυμουλκούμενο όχημα με άδραση
3	Τριζωνικό ΒΕΟ	9	Διαζωνικό ρυμουλκ + Τριζωνικό ημι-ρυμουλκούμενο όχημα με άδραση
3	Τριζωνικό ΒΕΟ	10	Τριζωνικό ρυμουλκ + μονοζωνικό ημι-ρυμουλκούμενο όχημα με άδραση
4	Τετραζωνικό ΒΕΟ	10	Τριζωνικό ρυμουλκ + Διαζωνικό ημι-ρυμουλκούμενο όχημα με άδραση
4	Τετραζωνικό ΒΕΟ	11	Τριζωνικό ρυμουλκ + Τριζωνικό ημι-ρυμουλκούμενο όχημα με άδραση
5	Διαζωνικό ΒΕΟ + Διαζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα με ελακυστική δοκό	12	Διαζωνικό λεωφορείο - παύλιον
5	Διαζωνικό ΒΕΟ + Τριζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα με ελακυστική δοκό	12	Τριζωνικό λεωφορείο - παύλιον
5	Διαζωνικό ΒΕΟ + μονοζωνικό ρυμουλκούμενο όχημα	13	Όχημα με επτά και πλέον άξονες

Ο αναλυτικός υπολογισμός των δεικτών φθοράς των εμπορικών οχημάτων έγινε για τις προαναφερθείσες θέσεις του εθνικού οδικού δικτύου και για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

⇒ **Τυπικοί άξονες:**

1. Απλός άξονας με απλούς τροχούς με συνολικό φορτίο 13t.
2. Απλός άξονας με απλούς τροχούς με συνολικό φορτίο 8t.
3. Απλός άξονας με δίδυμους τροχούς με συνολικό φορτίο 13t.
4. Απλός άξονας με δίδυμους τροχούς με συνολικό φορτίο 8t.

⇒ **Κριτήρια αστοχίας:**

1. Κόπωση της ασφαλτικής στρώσης, για το εύκαμπτο οδόστρωμα της διατομής 1 (βλ. σχήμα 2).
2. Αστοχία της στρώσης έδρασης από παραμόρφωση λόγω επαναλαμβανόμενης φόρτισης, για το εύκαμπτο οδόστρωμα της διατομής 1 (βλ. σχήμα 2).
3. Κόπωση του Κ.Θ.Α., για το ημιάκαμπτο οδόστρωμα της διατομής 2 (βλ. σχήμα 2).

Στους πίνακες 3 και 4 δίνεται από ένα παράδειγμα υπολογισμού του δείκτη φθοράς για την ασφαλτική στρώση και τη στρώση του Κ.Θ.Α. αντίστοιχα, του τύπου ΕΟ 6, από τις μετρήσεις στο Μπογιάτι στην κατεύθυνση προς Αθήνα. Όπως φαίνεται, οι Ισοδύναμες Διελεύσεις κάθε είδους άξονα υπολογίζονται σύμφωνα με τις κατάλληλες αναλυτικές σχέσεις που έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενη εργασία [9], ανάλογα με τον τύπο του οδοστρώματος και το κριτήριο

αστοχίας. Ο δείκτης φθοράς του ΕΟ προκύπτει από τη διαίρεση του συνόλου των ΙΔ προς τις διελεύσεις του τύπου ΕΟ.

Ανάλογοι πίνακες με τους 3 και 4 συντάχθηκαν για όλες τις κατηγορίες των ΕΟ και οι Δείκτες Φθοράς ανά ΕΟ καθώς και οι συνολικοί Μέσοι Δείκτες Φθοράς παρουσιάζονται στους πίνακες 5, 6 για το Μπογιάτι και 7, 8 για τις μετρήσεις στο Δερβένι, ανάλογα με τον τύπο του οδοστρώματος, το κριτήριο αστοχίας, το φορτίο και το είδος των τροχών του τυπικού άξονα. Επισημαίνεται ότι δείκτες φθοράς βασίζονται σε επεξεργασία μετρήσεων από ένα μήνα του έτους (Απρίλιο ή Ιούνιο) και για περιορισμένο χρονικό διάστημα (επτά ή δέκα ημέρες). Οι τιμές των δεικτών φθοράς θα ήταν πιο αξιόπιστες και αντιπροσωπευτικές του έτους, αν προέρχονταν από ανάλυση μετρήσεων αρκετών μηνών και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (τουλάχιστο δύο εβδομάδες).

Για λόγους σύγκρισης στο 32ο χλμ. της Εθνικής Οδού Αθήνας - Λαμίας, έγινε επίσης υπολογισμός των δεικτών φθοράς για τυπικό άξονα 13t με δίδυμους τροχούς, υποθέτοντας ότι το φορτίο των αξόνων δεν υπερβαίνει τους 13t, δηλαδή τα φορτία, που υπερέβαιναν τους 13t, θεωρήθηκαν ίσα με 13t (βλ. πίνακα 9 και σχήμα 3). Υπενθυμίζεται ότι το νομοθετημένο όριο για τους απλούς άξονες είναι 13t και για τα πολλαπλά συστήματα αξόνων 10t ανά άξονα [13]. Ο απλοποιητικός αυτός υπολογισμός έγινε για να παρουσιασθεί παραστατικότερα η επιρροή των φορτίων που υπερβαίνουν τα νομοθετημένα όρια στη φθορά των οδοστρωμάτων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Συγκρίνοντας τους δείκτες φθοράς των Εμπορικών Οχημάτων (ΕΟ) - είτε μέσους είτε ανά τύπο οχήματος - που υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις στο Μπογιάτι (πίνακες 5 και 6), με αυτούς που υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις στο Δερβένι (πίνακες 7 και 8), προκύπτει ότι η διαφορά τους δεν είναι σημαντική. Αυτό οφείλεται στο ότι παρά το διαφορετικό φόρτο των ΕΟ (περίπου 2000 ΕΟ/ημέρα στο Μπογιάτι και 600 ΕΟ/ημέρα στο Δερβένι) η σύνθεση της κυκλοφορίας, σε ποσοστό τύπων οχημάτων και φορτίων αξόνων, είναι παρόμοια (βλ. πίνακες 5 έως 8). Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, αν δε επιβεβαιωθεί και με μετρήσεις σε άλλες θέσεις του Νέου Εθνικού Οδικού Δικτύου, τότε θα είναι δυνατόν να καταρτιστούν πίνακες ΔΦ ανά τύπο οδοστρώματος, ανά κατηγορία οδού και πιθανόν ανά γεωγραφική θέση, όπως ο πίνακας 1 [11], που θα διευκολύνουν σημαντικά τον υπολογισμό νέων και τη συντήρηση παλαιών οδοστρωμάτων.
- Εξετάζοντας το ίδιο οδόστρωμα με το ίδιο κριτήριο αστοχίας, οι δείκτες φθοράς των εμπορικών οχημάτων, εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό όχι μόνο από το φορτίο του τυπικού άξονα, αλλά και από το είδος των τροχών του

(βλ. πίνακες 5, 6, 7, 8). Για παράδειγμα, ο μέσος δείκτης φθοράς της ασφατικής στρώσης της διατομής 1 (βλ. πίνακα 5), που προκύπτει για τυπικό άξονα 13t με δίδυμους τροχούς, είναι 1.24, ενώ για τυπικό άξονα 13t με απλούς τροχούς είναι 0.26. Αυτό σημαίνει ότι 1.24 διελεύσεις άξονα 13t με δίδυμους τροχούς προκαλούν την ίδια φθορά με 0.24 διελεύσεις άξονα 13t με απλούς τροχούς. Επομένως, μία διέλευση άξονα 13t με απλούς τροχούς προκαλεί στην ασφατική στρώση περίπου 5 φορές (1.24/0.26) μεγαλύτερη φθορά από μία διέλευση άξονα 13t με δίδυμους τροχούς.

Για το λόγο αυτό ο υπολογισμός της ισοδύναμης κυκλοφορίας με εφαρμογή της σχέσης της τέταρτης δύναμης (σχ. 3.1) πρέπει να γίνεται με προσοχή, δεδομένου ότι δεν γίνεται διάκριση μεταξύ απλών και δίδυμων τροχών και επομένως οι συνολικές ΙΔ θα προκύπτουν οι ίδιες και για δίδυμους και για απλούς. Αν, όμως, το πραγματικό ποσοστό των απλών τροχών είναι σημαντικό, τότε οι "ορθά" υπολογισμένες ΙΔ θα είναι περισσότερες από εκείνες που προκύπτουν από την εφαρμογή της σχ. 3.1 για δίδυμους τροχούς, δεδομένου ότι ο απλός τροχός είναι δυσμενέστερος και επομένως επιφέρει μεγαλύτερη φθορά από τον αντίστοιχο δίδυμο τροχό (με ίδιο συνολικό φορτίο κατανεμημένο σε δύο τροχούς). Για το λόγο αυτό, σε περίπτωση που οι ΣΙΔ έχουν υπολογιστεί με τη σχέση της τέταρτης δύναμης (σχ. 3.1), συνιστάται ο καθορισμός των επιτρεπόμενων διελεύσεων να γίνεται με τον υπολογισμό των παραμορφωσιακών μεγεθών που αναπτύσσονται στο συγκεκριμένο οδόστρωμα με χρήση επί το δυσμενέστερον απλού τροχού αντί δίδυμου.

Θα πρέπει, επίσης, να ληφθεί υπόψη και το γεγονός της αλματώδους αντικατάστασης των δίδυμων τροχών με τροχούς με ευρύ πέλμα, οι οποίοι, παρά τη μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής που διαθέτουν, προκαλούν καταπόνηση στο οδόστρωμα που πλησιάζει εκείνη των συνήθων απλών τροχών και επομένως απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

- Από τον υπολογισμό των υποθετικών δεικτών φθοράς χωρίς υπέρβαση του νόμιμου φορτίου προέκυψε ότι: Αν οι άξονες των εμπορικών οχημάτων είχαν όριο φορτίου τους 13t, θα προκαλούσαν στη διατομή 1 του εύκαμπτου οδοστρώματος $(1.24-0.95)/1.24=23\%$ μικρότερη φθορά, ενώ στη διατομή 2 του ημιάκαμπτου οδοστρώματος $(8.04-0.97)/8.04=88\%$ (βλ. πίνακα 9 και σχήμα 3).
- Οι Μέσοι Δείκτες Φθοράς, που προκύπτουν από τους αναλυτικούς υπολογισμούς για τα εύκαμπτα οδοστρώματα (βλ. πίνακες 5, 6, 7, 8), είναι λίγο υψηλότεροι από αυτούς που συνιστώνται από τις γαλλικές οδηγίες υπολογισμού πάχους οδοστρωμάτων (βλ. πίνακα 1), για τυπικό άξονα 13t με δίδυμους τροχούς. Υπάρχει, όμως, σημαντική διαφορά συγκρίνοντας τους ΜΔΦ των ημιάκαμπτων

οδοστρωμάτων. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται κατά κύριο λόγο στους υπέρβαρους άξονες, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 9. Για παράδειγμα, για τον τύπο ΕΟ 6 το 48% των διπλών αξόνων με δίδυμους τροχούς υπερβαίνει το νομοθετημένο όριο των 10t/άξονα, ενώ το 11% των απλών αξόνων με δίδυμους τροχούς υπερβαίνει το όριο των 13t. Για τον τύπο ΕΟ 8, οι υπερβάσεις είναι 42% και 33% αντίστοιχα.

Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι στα ημιάκαμπα οδοστρώματα τα αξονικά φορτία, που είναι πέραν του επιτρεπόμενου ορίου, συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη φθορά του οδοστρώματος. Η κατάσταση αυτή εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους πρόωρης καταστροφής των οδοστρωμάτων και δεν πρέπει να αφεθεί χωρίς άμεσες ενέργειες. Τα ΣΜΑΚ είναι δυνατό να συμβάλλουν σε τέτοιες ενέργειες, όπως στον εντοπισμό των οχημάτων που φέρουν υπέρβαρους άξονες με ταυτόχρονη επιβολή προστίμου και στην ανάπτυξη κατάλληλου τιμολογιακού συστήματος διοδίων στο οδικό δίκτυο, ανάλογα με τη φθορά που τα εμπορικά οχήματα προκαλούν.

Είναι απολύτως απαραίτητο να εγκατασταθούν σε στρατηγικά σημεία των νέων εθνικών οδών (ΠΑΘΕ, ΕΓΝΑΤΙΑ) αλλά και του άλλου εθνικού δικτύου σταθμοί μέτρησης του βάρους των αξόνων των οχημάτων έτσι, ώστε ο υπολογισμός των νέων οδοστρωμάτων και η εκτίμηση των αναγκών σε συντήρηση των εν λειτουργία οδοστρωμάτων να γίνονται με βάση αξιόπιστα στοιχεία φόρτισης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τριανταφυλλίδου Μ., Δέλλης Δ., Κόλιας Στ., “Μέτρηση φορτίων εμπορικών οχημάτων και υπολογισμός δεικτών φθοράς στο Εθνικό δίκτυο”, διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1987.
2. Κόλιας Στ., Τριανταφυλλίδου Μ., Δέλλης Δ., “Καταγραφή και ανάλυση της βαρείας κυκλοφορίας στις Ν.Ε.Ο. Αθήνας - Πάτρας και Αθήνας - Λάρισσας”. Ερευνητικό Πρόγραμμα Τ.Ε.Ο. - Ε.Μ.Π., 1989.

3. Μίντσης Γ., Νικολαΐδης Α., Τσώχος Γ., Δαλαβέρας Α., “Καταγραφή και ανάλυση των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας των βαρέων οχημάτων σε τμήματα των Ε.Ο. Κατερίνης - Ευζώνων και Θεσσαλονίκης - Καβάλας. Συγκριτική θεώρηση με δεδομένα από τους γαλλικούς αυτοκινητόδρομους”, **1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτοσκυροδέματος και Ευκάμπτων Οδοστρωμάτων**, Θεσσαλονίκη, 1992.
4. Μίντσης Γ., Τσώχος Γ., Νικολαΐδης Α., Ταξιλτάρης Χ., “Καταγραφή και ανάλυση της βαρείας κυκλοφορίας στις Ν.Ε.Ο. Κατερίνης - Ευζώνων, Κήπων - Κρυσταλλοπηγής και Θεσσαλονίκης - Καβάλας”. Ερευνητικό Πρόγραμμα Τ.Ε.Ο. - Τ.Α.Τ.Μ. - Α.Π.Θ., 1992.
5. Μίντσης Γ., Ταξιλτάρης Χ., “Καταγραφή και ανάλυση της βαρείας κυκλοφορίας στις Ν.Ε.Ο. Λάρισας - Κατερίνης, Καβάλας - Ξάνθης, Θεσσαλονίκης - Γιαννιτσών και Θεσσαλονίκης - Σερρών”. Ερευνητικό Πρόγραμμα Τ.Ε.Ο., Τ.Α.Τ.Μ. - Α.Π.Θ., 1995.
6. Νικολαΐδης Α., Μίντσης Γ., “Μετατροπή κυκλοφοριακού φόρτου οδικού δικτύου Ελλάδος σε ισοδύναμους τυπικούς άξονες”, **2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων**, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 1996.
7. Μίντσης Γ., Ταξιλτάρης Χ., Νικολαΐδης Ν., “Διαχρονική-Συγκριτική Μελέτη των δυναμικών χαρακτηριστικών των βαρέων οχημάτων στο εθνικό δίκτυο”, **2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων**, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 1996.
8. AASHTO, “AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures”, August 1986.
9. Κόλιας Σ., Βλάχος Κ., “Κριτική Θεώρηση των Μεθόδων Υπολογισμού των Συντελεστών Ισοδυναμίας Φορτίων των Εμπορικών Οχημάτων”, **Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση Τ.Ε.Ε., Σειρά Ι**, 2000, τ. 20, τεύχ. 2, υπό δημοσίευση.
10. Croney P., Croney D., “The Design and Performance of Road Pavements”, McGraw-Hill, 3^d Edition, 1997.
11. SETRA, LCPC, “Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée”, Guide technique, Dec. 1994.
12. Κόλιας Σ., “Καταγραφή και ανάλυση της βαρείας κυκλοφορίας στο Εθνικό Δίκτυο. Εγκατάσταση μόνιμων σταθμών μέτρησης βάρους αξονικών φορτίων”, Ερευνητικό Πρόγραμμα Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.-Ε.Μ.Π., Τελική Έκθεση, 1994.
13. Προεδρικό Διάταγμα 1161 “Περί των μεγίστων ορίων διαστάσεων και βαρών των αυτοκινήτων οχημάτων, ρυμουλκούμενων υπό αυτοκινήτων και συρμών”. Εφημερίδα της Κυβερνήσης, Αθήνα, 1977, ΦΕΚ 380/Α.

Σ. Κόλιας,

Αναπληρωτής καθηγητής Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 73 Ζωγράφου, Αθήνα.

Κ. Βλάχος,

Πολιτικός μηχανικός Ε.Μ.Π., Δαγκλή 12, 151 21 Πεύκη, Αθήνα.

Κ. Αμπακούμκιν,

Καθηγητής Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 73 Ζωγράφου, Αθήνα.

Table 3: Calculation of vehicle Damaging Factor for the bituminus layer of pavement structure 1 for the commercial vehicle class 6.

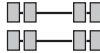
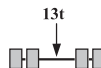
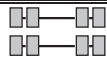
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΦΘΩΡΑΣ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ Ε Ο 6									
Τοποθεσία: Μπογιάτι, Κατεύθυνση: προς Αθήνα, 18-25/6/93							Τυπικός άξονας : 		
Φορτίο P _i / Άξονα (t)	 (ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΡΙΟΙ)								
	Πλήθος αξόνων "n _i "	$y_i = 4.81 \left(\frac{P_i}{13} \right)^4$	$I\Delta = n_i^{0.75} y_i$	Πλήθος αξόνων "n _{ii} "	$y_i = \left(\frac{P_i}{13} \right)^4$	$I\Delta = n_i^{0.75} y_i$	Πλήθος αξόνων "n _{iii} "	$y_i = 0.76 \left(\frac{P_i}{13} \right)^4$	$I\Delta = n_i^{0.75} y_i$
0,508	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	3	0,00	0,00
1,016	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,032	1	0,00	0,00	5	0,00	0,00	4	0,00	0,00
4,064	7	0,05	0,32	70	0,01	0,67	52	0,01	0,38
6,096	42	0,23	9,77	84	0,05	4,06	54	0,04	1,98
7,112	59	0,43	25,42	63	0,09	5,64	36	0,07	2,45
8,128	126	0,74	92,61	103	0,15	15,74	80	0,12	9,29
9,144	110	1,18	129,51	115	0,24	28,15	74	0,19	13,77
10,16	38	1,79	68,19	128	0,37	47,75	80	0,28	22,68
12,193	14	3,72	52,11	192	0,77	148,58	153	0,59	89,99
15,241	0	9,09	0,00	85	1,89	160,58	171	1,44	245,52
16	0	11,04	0,00	6	2,29	13,77	17	1,74	29,65
17	0	14,07	0,00	4	2,92	11,70	8	2,22	17,78
18	0	17,68	0,00	2	3,68	7,35	6	2,79	16,76
19	0	21,95	0,00	0	4,56	0,00	2	3,47	6,94
ΣΥΝΟΛΑ	397		377,94			444,00			457,18
$M\Delta\Phi = \frac{(377.94 + 444.00 + 457.18)}{397} = 3.22$									

Table 4: Calculation of vehicle Damaging Factor for CBGM layers of pavement structure 2 for the commercial vehicle class 6.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΦΘΩΡΑΣ ΤΟΥ Κ.Θ.Α. ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΥΠΟ Ε.Ο. 6									
Τοποθεσία: Μπoγιάτι, Κατεύθυνση: προς Αθήνα, 18-25/6/93						Τυπικός άξονας: 			
Φορτίο P _i / Άξονα (t)	 (ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΡΙΟΙ)								
	Πλήθος αξόνων "n _i "	$y_i = 5.52 \left(\frac{P_i}{13} \right)^E$	$I\Delta = n_i^{0.75} y_i$	Πλήθος αξόνων "n _i "	$y_i = \left(\frac{P_i}{13} \right)^{12}$	$I\Delta = n_i^{0.75} y_i$	Πλήθος αξόνων "n _i "	$y_i = 3.00 \left(\frac{P_i}{13} \right)^{12}$	$I\Delta = n_i^{0.75} y_i$
0,508	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	3	0,00	0,00
1,016	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2,032	1	0,00	0,00	5	0,00	0,00	4	0,00	0,00
4,064	7	0,00	0,00	70	0,00	0,00	52	0,00	0,00
6,096	42	0,00	0,03	84	0,00	0,01	54	0,00	0,02
7,112	59	0,00	0,23	63	0,00	0,05	36	0,00	0,08
8,128	126	0,02	2,48	103	0,00	0,37	80	0,01	0,86
9,144	110	0,08	8,91	115	0,01	1,69	74	0,04	3,26
10,16	38	0,29	10,89	128	0,05	6,65	80	0,16	12,46
12,193	14	2,56	35,82	192	0,46	88,98	153	1,39	212,73
15,241	0	37,22	0,00	85	6,74	573,14	171	20,23	3459,06
16	0	66,69	0,00	6	12,08	72,49	17	36,24	616,15
17	0	138,04	0,00	4	25,01	100,03	8	75,02	600,18
18	0	274,09	0,00	2	49,65	99,31	6	148,96	893,76
19	0	524,40	0,00	0	95,00	0,00	2	285,00	570,00
ΣΥΝΟΛΑ	397		58,36	857,00		942,70	740		6368,55

$$ΜΛΦ = \frac{(58.36 + 942.70 + 6368.55)}{397} = 18.56$$

Πίνακας 5: Δείκτες Φθοράς εμπορικών οχημάτων υπολογισμένοι για 4 διαφορετικούς τυπικούς άξονες.
Table 5: Vehicle Damaging Factors calculated for 4 different standard axles.

ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ													
Τοποθεσία : Μπογιάτι Κατεύθυνση : "από Αθήνα" 18 έως 25/6/93													
Εξεταζόμενη φθορά :		Κόπωση της ασφαλτικής στρώσης				Αστοχία της στρώσης έδρασης				Κόπωση Κ.Θ.Α.			
Τύποι εμπορικών οχημάτων (Διελεύσεις)	Τυπικός άξονας												
	2 (2948)	0,03	0,21	0,14	0,99	0,07	0,36	0,13	0,67	0,03	8,70	0,14	48,03
	3 (1390)	0,38	2,62	1,81	12,58	1,00	4,98	1,87	9,27	3,18	1077,52	17,54	5947,89
	4 (120)	1,24	8,62	5,95	41,44	1,85	9,16	3,43	17,03	43,66	14802,69	241,01	81710,87
	5 (1184)	0,47	3,26	2,25	15,66	1,12	5,55	2,08	10,33	2,03	689,24	11,22	3804,63
	6 (357)	0,63	4,42	3,05	21,24	1,72	8,51	3,19	15,83	2,52	855,86	13,93	4724,36
	7 (98)	0,05	0,35	0,24	1,66	0,13	0,64	0,24	1,18	0,03	11,60	0,19	64,04
	8 (515)	0,61	4,27	2,95	20,54	1,60	7,92	2,97	14,74	4,14	1403,98	22,86	7749,99
	9 (656)	0,35	2,42	1,67	11,64	0,96	4,78	1,79	8,89	0,60	202,10	3,29	1115,58
	10 (152)	0,26	1,81	1,25	8,69	0,76	3,77	1,41	7,01	0,61	205,58	3,35	1134,83
	11 (15)	0,35	2,47	1,70	11,88	1,29	6,40	2,40	11,91	1,32	449,03	7,31	2478,64
	12 (3606)	0,20	1,37	0,95	6,60	0,44	2,18	0,82	4,05	0,40	135,05	2,20	745,47
	13 (1712)	0,26	1,82	1,26	8,75	0,62	3,08	1,15	5,72	0,86	290,19	4,72	1601,86
	Μέσος δείκτης φθοράς (σε 12753 ε.ο.)	0,26	1,80	1,24	8,64	0,63	3,12	1,17	5,80	1,46	494,00	8,04	2726,84

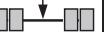
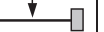
Πίνακας 6: Δείκτες Φθοράς εμπορικών οχημάτων υπολογισμένοι για 4 διαφορετικούς τυπικούς άξονες.
Table 6: Vehicle Damaging Factors calculated for 4 different standard axles.

ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ													
Τοποθεσία : Μπογιάτι Κατεύθυνση : "προς Αθήνα" 18 έως 25/6/93													
Εξεταζόμενη φθορά :		Κόπωση της ασφαλτικής στρώσης				Αστοχία της στρώσης έδρασης				Κόπωση Κ.Θ.Α.			
Τύποι εμπορικών οχημάτων (Διελεύσεις)	Τυπικός άξονας												
	2 (3303)	0,03	0,20	0,14	0,98	0,07	0,35	0,13	0,64	0,03	10,26	0,17	56,65
	3 (1652)	0,33	2,32	1,60	11,16	0,88	4,38	1,64	8,15	2,36	801,08	13,04	4421,97
	4 (107)	0,77	5,37	3,70	25,81	1,28	6,33	2,37	11,77	25,36	8596,74	139,97	47454,03
	5 (1338)	0,45	3,12	2,15	15,00	1,07	5,31	1,99	9,88	1,71	580,83	9,46	3206,21
	6 (397)	0,74	5,19	3,22	22,44	2,00	9,91	3,34	16,57	3,74	1267,86	18,56	6292,40
	7 (117)	0,02	0,12	0,09	0,60	0,05	0,24	0,09	0,44	0,00	1,11	0,02	6,10
	8 (517)	0,57	3,98	2,75	19,13	1,46	7,26	2,72	13,51	3,35	1137,16	18,52	6277,14
	9 (759)	0,35	2,41	1,67	11,62	0,97	4,84	1,81	8,99	0,58	196,78	3,20	1086,25
	10 (151)	0,29	2,03	1,40	9,79	0,85	4,20	1,58	7,82	1,25	424,89	6,92	2345,41
	11 (16)	0,15	1,05	0,72	5,03	0,48	2,39	0,90	4,44	0,03	9,70	0,16	53,57
	12 (4196)	0,19	1,30	0,89	6,24	0,42	2,08	0,78	3,87	0,37	127,01	2,07	701,11
	13 (2035)	0,25	1,77	1,22	8,54	0,61	3,03	1,13	5,63	0,81	273,13	4,45	1507,67
Μέσος δείκτης φθοράς (σε 14588 ε.ο.)		0,24	1,69	1,15	8,04	0,60	2,95	1,10	5,45	1,02	373,47	6,02	2042,31

Πίνακας 7: Δείκτες Φθοράς εμπορικών οχημάτων υπολογισμένοι για 4 διαφορετικούς τυπικούς άξονες.
Table 7: Vehicle Damaging Factors calculated for 4 different standard axles.

ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ													
Τοποθεσία : Δερβένι Κατεύθυνση : "από Αθήνα" 10 έως 20/4/92													
Εξεταζόμενη φθορά :		Κόπωση της ασφαλτικής στρώσης				Αστοχία της στρώσης έδρασης				Κόπωση Κ.Θ.Α.			
Τύποι εμπορικών οχημάτων (Διελεύσεις)	Τυπικός άξονας												
	2 (1128)	0,03	0,23	0,16	1,12	0,08	0,42	0,16	0,78	0,07	23,64	0,38	130,50
	3 (539)	0,36	2,53	1,74	12,16	1,05	5,22	1,96	9,71	2,75	933,91	15,21	5155,16
	4 (42)	0,86	6,02	4,15	28,93	1,46	7,23	2,71	13,45	25,89	8778,28	142,93	48456,10
	5 (424)	0,30	2,09	1,44	10,05	0,69	3,45	1,29	6,41	0,71	241,03	3,92	1330,49
	6 (189)	0,54	3,78	2,61	18,17	1,58	7,84	2,94	14,58	2,58	875,63	14,26	4833,45
	7 (79)	0,09	0,66	0,46	3,18	0,22	1,09	0,41	2,03	0,09	30,30	0,49	167,26
	8 (473)	0,53	3,67	2,53	17,64	1,33	6,59	2,47	12,26	2,14	724,30	11,79	3998,15
	9 (759)	0,35	2,44	1,68	11,72	0,95	4,72	1,77	8,79	0,69	232,44	3,78	1283,04
	10 (69)	0,28	1,96	1,35	9,42	0,80	3,95	1,48	7,34	0,87	294,32	4,79	1624,62
	11 (10)	0,10	0,69	0,48	3,32	0,31	1,55	0,58	2,88	0,01	1,97	0,03	10,90
	12 (1455)	0,18	1,25	0,86	6,00	0,41	2,02	0,76	3,76	0,43	146,40	2,38	808,11
13 (426)	0,18	1,27	0,88	6,12	0,43	2,12	0,79	3,94	0,48	162,68	2,65	897,97	
Μέσος δείκτης φθοράς (σε 5593 ε.ο.)		0,25	1,72	1,19	8,27	0,63	1,17	3,12	5,80	1,04	355,88	5,79	1964,48

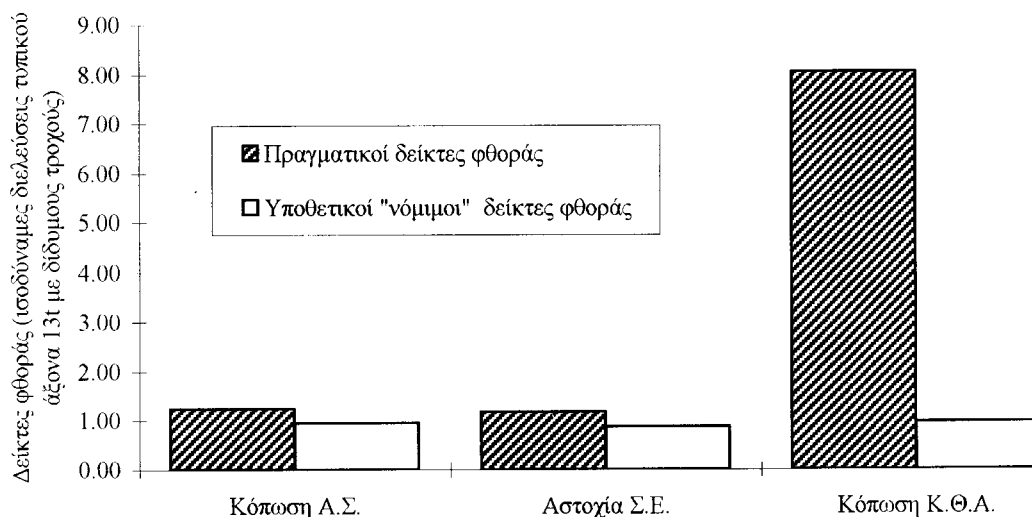
Πίνακας 8: Δείκτες Φθοράς εμπορικών οχημάτων υπολογισμένοι για 4 διαφορετικούς τυπικούς άξονες.
Table 8: Vehicle Damaging Factors calculated for 4 different standard axles.

ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ													
Τοποθεσία : Δερβένι Κατεύθυνση : "προς Αθήνα" 10 έως 20/4/92													
Εξεταζόμενη φθορά :		Κόπωση της ασφαλτικής στρώσης				Αστοχία της στρώσης έδρασης				Κόπωση Κ.Θ.Α.			
Τύποι εμπορικών οχημάτων (Διελύσεις)	Τυπικός άξονας												
	2 (1401)	0,04	0,26	0,18	1,24	0,09	0,43	0,16	0,80	0,05	16,84	0,27	92,98
	3 (764)	0,31	2,18	1,50	10,48	0,94	4,68	1,75	8,70	2,28	774,18	12,61	4273,47
	4 (72)	0,93	6,51	4,49	31,33	1,50	7,44	2,79	13,83	22,43	7604,96	123,82	41979,37
	5 (494)	0,28	1,94	1,34	9,32	0,67	3,33	1,25	6,19	0,62	210,30	3,42	1160,84
	6 (244)	0,47	3,25	2,25	15,65	1,40	6,97	2,61	12,96	2,25	764,05	12,44	4217,53
	7 (56)	0,21	1,44	0,99	6,93	0,43	2,14	0,80	3,99	0,59	198,96	3,24	1098,24
	8 (593)	0,53	3,66	2,53	17,62	1,33	6,61	2,48	12,30	2,25	762,08	12,41	4206,68
	9 (461)	0,28	1,97	1,36	9,48	0,80	3,97	1,49	7,38	0,45	152,40	2,48	841,25
	10 (114)	0,30	2,06	1,42	9,93	0,94	4,67	1,75	8,68	1,31	443,32	7,22	2447,12
	11 (12)	0,35	2,41	1,66	11,58	1,26	6,25	2,34	11,63	10,39	3521,67	57,34	19439,64
	12 (1800)	0,16	1,12	0,77	5,37	0,37	1,85	0,69	3,44	0,31	103,43	1,68	570,93
	13 (613)	0,21	1,48	1,02	7,11	0,52	2,59	0,97	4,82	0,62	210,17	3,42	1160,16
Μέσος δείκτης φθοράς (σε 6624 ε.ο.)		0,22	1,60	1,10	7,69	0,59	2,94	1,10	5,46	1,07	361,42	5,88	1995,05

Πίνακας 9: Σύγκριση μεταξύ πραγματικών και υποθετικών "νόμιμων"* Δεικτών Φθοράς.

Table 9: Comparison between real and hypothetical "legal" Damaging Factors.

ΔΕΙΚΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ						
Τυπικός άξονας:  13t						
Τοποθεσία: Μπογιάτι Κατεύθυνση: "από Αθήνα," 18 έως 25/6/93						
Τύποι εμπορικών οχημάτων (Διελύσεις)	Διατομή 1 (εύκαμπτο οδόστρωμα)				Διατομή 2 (ημιάκαμπτο οδόστρωμα)	
	Κόπωση Α.Σ.		Αστοχία Σ.Ε.		Κόπωση Κ.Θ.Α.	
	Πραγματικοί δείκτες φθοράς	Υποθετικοί "νόμιμοι"* δείκτες φθοράς	Πραγματικοί δείκτες φθοράς	Υποθετικοί "νόμιμοι"* δείκτες φθοράς	Πραγματικοί δείκτες φθοράς	Υποθετικοί "νόμιμοι"* δείκτες φθοράς
2 (2948)	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14	0,05
3 (1390)	1,81	1,15	1,87	1,03	17,54	0,37
4 (120)	5,95	1,78	3,43	1,32	241,01	1,40
5 (1184)	2,25	1,57	2,08	1,47	11,22	0,88
6 (357)	3,05	2,25	3,19	2,23	13,93	1,04
7 (98)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,19	0,13
8 (515)	2,95	1,73	2,97	1,74	22,86	1,01
9 (656)	1,67	1,28	1,79	1,41	3,29	0,46
10 (152)	1,25	1,00	1,41	1,10	3,35	0,22
11 (15)	1,70	1,25	2,40	1,76	7,31	0,87
12 (3606)	0,95	1,00	0,82	0,87	2,20	2,32
13 (1712)	1,26	0,98	1,15	0,89	4,72	0,49
Μέσος δείκτης φθοράς (σε 12753 ε.ο.)	1,24	0,95	1,17	0,87	8,04	0,97
* Δείκτες φθοράς υπολογισμένοι με όριο φορτίου τους 13t.						



Σχήμα 4: Σύγκριση μεταξύ πραγματικών και υποθετικών "νόμιμων"* Δεικτών Φθοράς.

Figure 4: Comparison between real and hypothetical "legal" Damaging Factors.

Extended summary

Vehicle Damaging Factors Measurements at Two Sites on the New National Network

S. KOLIAS

Associate Professor N.T.U.A.

C. VLACHOS

Civil Engineer N.T.U.A.

K. ABAKOUMLIN

Professor N.T.U.A.

Abstract

In this work the vehicle damaging factors calculated from weigh-in-motion axle load measurements on two places of the national road network are presented and discussed. The calculation was based on analytical/mechanistic pavement design principles. Damaging factors were calculated for different types of standard axles in terms of load magnitude (130, 80 kN), tyre configuration (single, dual tyres), and pavement type (One "typical" highway flexible pavement and one "typical" semi-rigid highway pavement). From the values presented it can be seen that the damaging factors are strongly influenced by the above parameters.

In this work the results of weigh-in-motion axle load measurements in two locations of the national network were analysed in order to calculate the vehicle damaging factors. The calculation of the damaging factors was based on analytical/mechanistic design methods, as presented in a previous work [9]. The analytical/mechanistic design principles allow, apart from the load magnitude, the tyre type, the axle configuration, the pavement type and the thickness of the pavement layers to be taken into consideration in the calculation of the relevant equivalent axle load factors and finally in the calculation of the damaging factors.

This method was applied for the calculation of the damaging factors in two locations on the national road (132 km Patras - Athens near Derveni and 32 km Athens - Lamia near Bogiati).

Two pavement types, one flexible and one semi-rigid, of thicknesses which could be considered as typical for highway pavements in our country were used for the calculation of the damaging factors (see figure 2). Two types of pavement failures were considered in the case of flexible pavement (fatigue of asphalt layer and deformation of subgrade). For the semi-rigid pavement one type of failure was considered, this of the fatigue failure of the cemented layers. The influence of the standard axle in terms of magnitude of load

(80kN, 130kN) and of the tyre configuration (single, dual) was also examined.

The weigh-in-motion equipment which was used for the measurements registered the vehicle types in 13 categories as shown in table 2. The damaging factor for each vehicle category had first to be calculated for each location, on the basis of the axle load measured and the relevant number of passes. Load equivalent factors calculated in a previous work [9] for each pavement type and load configuration were used to find the total equivalent number of passes and the average damaging factor. An example of such a calculation is given in table 3 for vehicle category 6 (see table 2), for the failure of the asphalt layer of a flexible pavement (figure 2), and in table 4 for a cemented layer (cement bound granular material) of a semi-rigid pavement (figure 2).

The damaging factors for each vehicle category are shown in tables 5 to 8 for each location and each traffic direction. The calculation was made for the flexible and semi-rigid pavement shown in figure 2. As standard axle load a 80kN or 130kN axle load was considered on single or on dual tyres configuration. In the last row of the tables 5 to 8 the total average damaging factor is calculated based on the number of passes of each vehicle type.

It should be stressed out that the values reported are based on measurements made for one period of the year (April or June) and for a limited time only (one week or ten days) and therefore serious reservations should be expressed as to the accuracy of the figures reported. The measurements should be extended for several periods of the year for at least two weeks in order to ensure that the sample of the commercial vehicles measured was representative of the annual traffic. However, with these reservations in mind, the following points could be made:

The damaging factors are in agreement with those reported in France (see table 1). France has a maximum legal

axle load for single axle with dual tires of 130 kN, as in our country, and the comparison is straightforward. However, the level of industrialisation in France is different to that of Greece and from that point of view the values for Greece seem rather high.

These high values could be attributed to the relatively large number of overloaded axles recorded in the measurements. For instance, for commercial vehicle class 6, 48% of the dual-tire tandem axles had a load exceeding the legal limit of 100kN per axle and 11% of the dual-tire single axles had a load exceeding the legal limit of 130kN. Although it is not shown in this paper, the axle load measurements for the other classes of commercial vehicles showed the same or even higher percentages of loads exceeding the legal limit (for commercial vehicle class 8, 33% of the single axles and 42% of the tandem axles exceed the corresponding legal limit).

In order to further illustrate the highly increased damaging effect of overloaded axles table 9 and figure 4 are presented, in which two types of calculations of the damaging factors were performed.

The first took into consideration the real axle load values as measured. The second was performed with the same number of vehicle passes, but the load of each axle was considered as though it did not exceed the legal limit. It can be

seen that, for the case of flexible pavements, the damaging effect of overloaded axles is equivalent to that if the traffic were approximately 1.3 times greater, and for the case of semi-rigid pavements 8 times greater. The need for urgent measures to be taken, especially for the case of semi-rigid pavements, in order to reduce the number of overloaded vehicles is emphasised

By comparing tables 5 and 6 with tables 7 and 8 concerning measurements, the first two in Bogiati, 32 km north of Athens in the main route connecting Athens to northern Greece, and the second two in Derveni, 132 km south-east of Athens in the Patras Korinth national road, it can be seen that there is no significant difference in the value of the damage factor. This means that, in spite of the fact that the number of commercial vehicles is significantly different (about 2000 cvs/day in Bogiati as opposed to about 600 cvs/day in Derveni), the composition of the cv traffic is the same, leading to almost the same value of damaging factor. Systematic measurements should be carried out in various parts of the highway system and of the primary and secondary road system in order to establish reliable damaging factors for pavement design and pavement maintenance purposes.

In the places of measurement the damage factor was the same in both directions (towards Athens, or from Athens).

S. Koliás,

Associate professor N.T.U.A., Faculty of Civil Engineering, Dept. of Transportation Planning and Engineering, 5 Iroon Polytechniou str., 157 73 Zografou, Athens.

C. Vlachos,

Civil engineer N.T.U.A., 12 Dagli str., 151 21 Pefki, Athens.

K. Abakoumkin,

Professor N.T.U.A., Faculty of Civil Engineering, Dept. of Transportation Planning and Engineering, 5 Iroon Polytechniou str., 157 73 Zografou, Athens.