

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
ΟΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

Εργαστήριο Συγκοινωνιακών Έργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Πατρών

2009

1 Η μέθοδος του κόστους κύκλου ζωής

Η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής (Life-cycle cost analysis – LCCA) είναι μία μέθοδος αξιολόγησης που μπορεί να εφαρμοστεί για τη στήριξη αποφάσεων για επενδύσεις έργων μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, όταν εξετάζεται η κατασκευή ενός τεχνικού έργου μεταφορών (ή, γενικότερα, μια επένδυση στις μεταφορές), η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει για να καθοριστεί ο βέλτιστος (οικονομικότερος) τρόπος υλοποίησης του έργου (της επένδυσης).

Η προσέγγιση της ανάλυσης αυτής επιτρέπει τη σύγκριση ολικού κόστους εναλλακτικών σχεδιασμών ενός συγκοινωνιακού έργου. Στην ανάλυση αυτή συνυπολογίζονται όχι μόνο οι αρχικές δαπάνες αλλά όλα τα κόστη κατά τον κύκλο ζωής των εναλλακτικών, καθώς και η επίδραση των εναλλακτικών αυτών λύσεων στους χρήστες (κόστη χρηστών).

Περίληπτικά, η διαδικασία της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής ξεκινά με την ανάπτυξη των εναλλακτικών τρόπων επίτευξης των κατασκευαστικών και λειτουργικών στόχων ενός τεχνικού έργου. Στη συνέχεια, καθορίζεται το χρονοδιάγραμμα των αρχικών και μελλοντικών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την εκτέλεση κάθε μίας από τις εναλλακτικές και εκτιμώνται τα αντίστοιχα κόστη των δραστηριοτήτων. Η ανάλυση δεν περιλαμβάνει μόνο τα άμεσα κόστη από τις δαπάνες υλοποίησης των εναλλακτικών (κόστος κατασκευής ή συντήρησης) αλλά και τα λειτουργικά κόστη των χρηστών που σχετίζονται με κάθε μία από τις εναλλακτικές. Αφού ολοκληρωθούν οι εκτιμήσεις και οι υπολογισμοί για όλα τα κόστη, εφαρμόζονται τεχνικές οικονομικών (αναγωγή σε παρούσα αξία) που επιτρέπει τη σύγκριση ανάμεσα στα διάφορα επιμέρους κόστη. Τα ανηγμένα κόστη αθροίζονται για κάθε μία εναλλακτική επιτρέποντας έτσι την εύρεση της πιο οικονομικής λύσης.

Πρέπει να τονιστεί ότι η οικονομικότερη λύση που δίνει η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής δεν είναι απαραίτητα η λύση που θα επιλεγεί, καθώς υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν μια τέτοια απόφαση, όπως είναι για παράδειγμα οι κίνδυνοι πάσης φύσεως που σχετίζονται με κάθε λύση, οι διαθέσιμοι πόροι, πολιτικοί ή περιβαλλοντικοί παράγοντες, κλπ. Η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής, όμως, παρέχει σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να υποστηρίξουν τη διαδικασία λήψης αποτελεσματικών αποφάσεων.

Τα κόστη που εμπλέκονται στην ανάλυση κόστους στον κύκλο ζωής ενός οδικού έργου περιλαμβάνουν:

- Κόστη φορέα (agency costs – AC)
- Κόστη χρήστη (user costs – UC)
- Λοιπά κόστη (other costs – OC)
- “Αρνητικά” κόστη (negative costs – NC)

Τα κόστη φορέα διακρίνονται σε:

- Κόστη σχεδιασμού οδού
- Κόστη κατασκευής οδού
- Κόστη συντήρησης οδού (προληπτική ή κανονική συντήρηση, αποκατάσταση)
- Κόστη λειτουργίας οδού

Τα κόστη χρήστη περιλαμβάνουν:

- Λειτουργικά κόστη οχήματος (κατανάλωση καυσίμων και λιπαντικών, συντήρηση οχήματος, υποτίμηση, πλήρωμα)
- Κόστη καθυστέρησης (λόγω μήκους διαδρομής ή/και κυκλοφοριακής συμφόρησης)
- Κόστη ατυχημάτων (ζημιές, τραυματισμοί, θάνατοι)

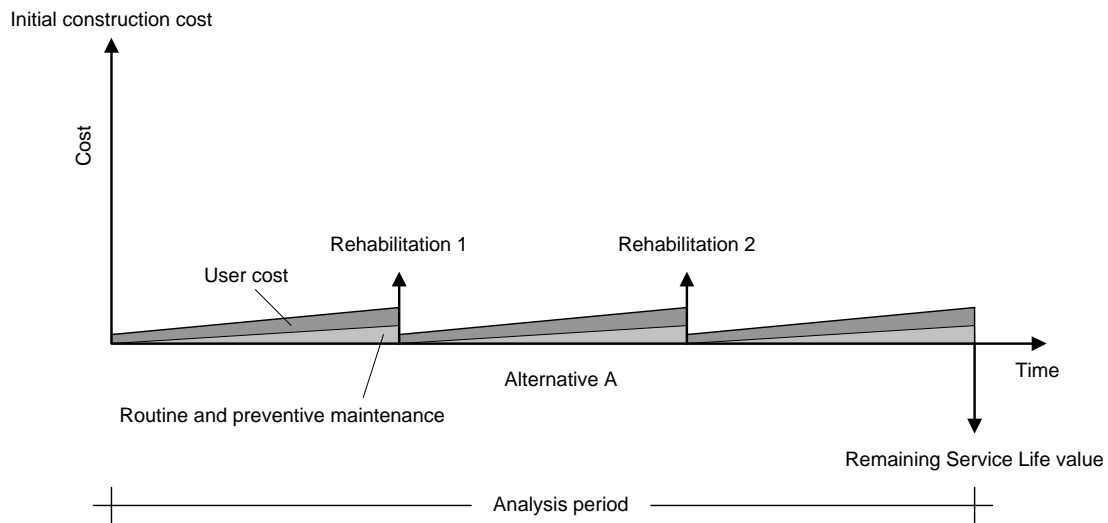
Τα λοιπά κόστη σχετίζονται εν γένει με:

- Εκπομπές ρύπων
- Θόρυβο
- Απώλεια εκτάσεων γης
- Ανάλωση φυσικών πόρων / χρήση ανακυκλωμένων υλικών
- Κατάτμηση φυσικού περιβάλλοντος

Ως «αρνητικά» κόστη χαρακτηρίζονται τα:

- Υπολειμματική αξία οδού στο τέλος της οικονομικής ζωής της
- Απομένουσα περίοδος εξυπηρέτησης

Το Σχήμα 1 παρουσιάζει μια ενδεικτική κατανομή στο χρόνο των παραπάνω συνιστωσών κόστους στον κύκλο ζωής ενός οδικού έργου.



Σχήμα 1 Σχηματική αναπαράσταση συνιστωσών κόστους κύκλου ζωής οδού

Κόστη:

AC (Κόστη φορέα)

AC_{design}

$AC_{construction}$

$AC_{rehabilitation/restoration}$

$AC_{maintenance}$

$AC_{operational}$

UC (Κόστη χρηστών)

UC_{voc}

UC_{travel}

$UC_{accident}$

OC (Λοιπά κόστη)

$OC_{environmental}$

NC (Αρνητικά κόστη)

$NC_{salvage}$

NC_{RSL}

Το κόστος κύκλου ζωής αποτελείται, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, από επιμέρους συνιστώσες οι οποίες εμφανίζονται εν γένει σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Για να μπορούν αυτά να αθροιστούν θα πρέπει να γίνει αναφορά τους σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο κι ως τέτοιο λαμβάνεται συνήθως ο χρόνος 0 (έναρξη εκτέλεσης του έργου) οδηγώντας έτσι σε μια παράμετρο που είναι γνωστή ως η **παρούσα αξία** της χρηματοροής. Σημειώνεται ότι η αναφορά σε κοινό χρονικό σημείο εξυπηρετεί επίσης τη συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών έργων ή σχεδιασμών που έχουν διαφορετικές

χρηματοροές. Η ισοδύναμη μετατροπή των συνιστωσών κόστους σε χρόνο ο γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$\begin{aligned}
 LCC = & \frac{1}{(1+r)^{ndesign}} AC_{design} + \frac{1}{(1+r)^{nconstruction}} AC_{construction} + \sum_{m=1}^n \left[\frac{1}{(1+r)^{nrehabilitation(m)}} AC_{rehabilitation(m)} \right] + \\
 & \sum_{m=1}^n \left[\frac{1}{(1+r)^{nmaintenance(m)}} \int_{t1(m)}^{t2(m)} AC_{maintenance}(t) \cdot dt \right] + \sum_{m=1}^n \left[\frac{1}{(1+r)^{nVOC(m)}} \int_{t1(m)}^{t2(m)} UC_{VOC}(t) \cdot dt \right] + \\
 & \sum_{m=1}^n \left[\frac{1}{(1+r)^{ntravel(m)}} \int_{t1(m)}^{t2(m)} UC_{travel}(t) \cdot dt \right] + \sum_{m=1}^n \left[\frac{1}{(1+r)^{naccident(m)}} \int_{t1(m)}^{t2(m)} UC_{accident}(t) \cdot dt \right] + \\
 & \sum_{m=1}^n \left[\frac{1}{(1+r)^{nenvironmental(m)}} \int_{t1(m)}^{t2(m)} OC_{environmental}(t) \cdot dt \right] - \frac{1}{(1+r)^{nRSL}} NC_{RSL} - \frac{1}{(1+r)^{nsalvage}} NC_{salvage}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

όπου:

r = ο ρυθμός (επιτόκιο) προεξόφλησης (επικαιροποίησης),

m = το έτος στο οποίο εμφανίζεται κάθε κόστος,

$n=n_{RSL} = n_{salvage}$ = περίοδος ανάλυσης – κύκλος ζωής έργου,

AC = κόστος φορέα,

UC = κόστος χρηστών,

OC = λοιπά κόστους,

NC = «αρνητικά» κόστη,

i = είδη κόστους [design, construction, rehabilitation, maintenance, VOC, travel, accident, environment, RSL, salvage],

$t1(m)$ και $t2(m)$ = η αρχή και το τέλος του έτους m .

Γενικά γίνεται η παραδοχή, χωρίς ουσιαστική επίπτωση στην ακρίβεια των υπολογισμών, ότι τα διάφορα κόστη εντός του έτους θεωρούνται συνολικά στο τέλος του αντίστοιχου έτους.

2 Επιλογή του ρυθμού (επιτοκίου) προεξόφλησης (επικαιροποίησης)

Μια κρίσιμη παράμετρος στην αξιολόγηση επενδύσεων είναι η τιμή του ρυθμού (επιτοκίου) προεξόφλησης ή επικαιροποίησης. Στην περίπτωση των δημοσίων έργων, ο ρυθμός προεξόφλησης πρέπει να συνεκτιμά, πέραν του οικονομικού, το κοινωνικό αποτέλεσμα της επένδυσης και, για το λόγο αυτό, καλείται συχνά *κοινωνικός ρυθμός προεξόφλησης* (social discount rate).

Ο ρυθμός προεξόφλησης για την ανάλυση δημοσίων έργων είναι ένα επίμαχο θέμα μεταξύ των ειδικών. Τα δημόσια έργα έχουν συνήθως μεγάλο αρχικό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής, με αποτέλεσμα οι ωφέλειες να λαμβάνουν χώρα στο απώτερο μέλλον. Υψηλοί ρυθμοί προεξόφλησης μειώνουν τη σχετική αναλογία ωφελειών προς κόστος. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνει ο επιθυμητός ρυθμός προεξόφλησης, τόσο μειώνεται η ισοδύναμη παρούσα αξία των ωφελειών του έργου. Σύμφωνα με μερικούς ειδικούς πρέπει να υιοθετούνται σχετικά μικροί ρυθμοί προεξόφλησης για τα δημόσια έργα, ώστε, για λόγους κοινωνικής πολιτικής, να χρηματοδοτούνται και έργα που δεν αποδίδουν ωφέλειες συγκρίσιμες με αυτές του ιδιωτικού τομέα. Ένα αντίθετο επιχείρημα είναι ότι η μεταφορά οικονομικών πόρων από ιδιωτικές χρήσεις, όπου οι αποδόσεις είναι υψηλές, σε δημόσιες επενδύσεις επιφέρει μια χαμηλότερη αξιοποίηση των πόρων αυτών. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, η παρακράτηση φόρων από τους πολίτες και η χρησιμοποίησή τους σε δημόσιες επενδύσεις είναι δικαιολογημένη μόνο εάν οι τελευταίες αποδίδουν με ρυθμό τουλάχιστον ίσο με αυτόν που θα απέδιδαν στους φορολογούμενους αν επενδύονταν στον ιδιωτικό τομέα. Υπάρχει πάντως σχετική ομοφωνία ότι ως ελάχιστη τιμή του ρυθμού προεξόφλησης για δημόσια έργα πρέπει να λαμβάνεται το σταθμισμένο κόστος δανεισμού του κράτους.

Ενδεικτικά, οι Adler (1987) και Προφυλλίδης (2001) αναφέρουν ότι από σειρά αναλύσεων της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων και της Διεθνούς Τράπεζας και λαμβάνοντας υπόψη το ευκαιριακό κόστος κεφαλαίου στις αναπτυγμένες χώρες της Ευρώπης και της Βόρ. Αμερικής (με μέση τιμή πληθωρισμού 2÷4%) προέκυψε ότι οι πιθανότητες χρηματοδότησης ενός συγκοινωνιακού έργου εξαρτώνται από τον ρυθμό εσωτερικής απόδοσης (IRR: Internal Rate of Return) και συγκεκριμένα:

- αν $IRR < 8\%$, το έργο έχει πολύ μικρές πιθανότητες χρηματοδότησης,
- αν $IRR > 12\%$, το έργο έχει πολύ μεγάλες πιθανότητες χρηματοδότησης,

- αν $8\% < IRR < 12\%$, το έργο έχει πιθανότητες χρηματοδότησης, απαιτείται όμως αναλυτικότερη προσέγγιση των διαφόρων παραμέτρων.

3 Μεταφορική ζήτηση

Μια σημαντική παράμετρος στη διαδικασία εκτίμησης και αποτίμησης των επιπτώσεων ενός συγκοινωνιακού έργου είναι η *ζήτηση* (demand) για μεταφορικό έργο και συγκεκριμένα ο αριθμός επιβατών και ο όγκος των μεταφερόμενων προϊόντων που αναμένεται να διακινηθεί μέσω του νέου έργου στην περίοδο ζωής του. Η ζήτηση, η οποία σε συγκοινωνιακά έργα καλείται εναλλακτικά κυκλοφοριακός φόρτος ή κυκλοφορία (traffic), διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες :

- *κανονική* (normal traffic): είναι η ζήτηση που υφίσταται σήμερα και χρησιμοποιεί έναν παρεμφερή τρόπο μετακίνησης, θα χρησιμοποιήσει όμως τον καινούριο όταν αυτός υλοποιηθεί (παράδειγμα υπάρχων και νέος δρόμος),
- *εκτρεπόμενη* (diverted traffic): είναι η ζήτηση που εκτρέπεται από άλλα συγκοινωνιακά μέσα (π.χ., από το σιδηρόδρομο στο οδικό δίκτυο),
- *παραγόμενη* (generated traffic): είναι η ζήτηση που γεννάται ως αποτέλεσμα της υλοποίησης ενός βελτιωμένου τρόπου μετακίνησης (π.χ. νέες μετακινήσεις στο κέντρο της πόλης για αγορές ως συνέπεια της υλοποίησης νέων γραμμών μετρό).

Οι αναλύσεις θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όλες τις κατηγορίες ζήτησης (τουλάχιστον αυτές που είναι ποσοτικά σημαντικές). Κάθε κατηγορία ζήτησης (προφανώς και η συνολική ζήτηση) είναι δυναμικά μεγέθη δηλαδή μεταβάλλονται (αυξάνονται συνήθως) με την πάροδο του χρόνου. Επειδή η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής συνεκτιμά δαπάνες σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός έργου οι οποίες εξαρτώνται και από τη ζήτηση, η παράμετρος αυτή (θα πρέπει να) έχει εξέχοντα ρόλο στην ανάλυση και τα αποτελέσματα της ανάλυσης επηρεάζονται καθοριστικά από αυτήν. Είναι επομένως σημαντικό να υπάρχει ικανοποιητική πρόβλεψη της εξέλιξης της ζήτησης. Αυτό είναι γενικά δύσκολο τόσο επειδή η ζήτηση εξαρτάται από έναν αριθμό παραμέτρων και αστάθμητων παραγόντων όσο και λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής των συγκοινωνιακών έργων (που είναι μερικές δεκαετίες) η οποία, εκ των πραγμάτων, δυσκολεύει οποιαδήποτε προσπάθεια

πρόβλεψης. Σε κάθε περίπτωση πάντως, απαιτείται αναλυτική και ουσιαστική προσέγγιση στο θέμα αυτό με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων μεθοδολογιών και τεχνικών πρόβλεψης. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής μέθοδοι πρόβλεψης της ζήτησης, ποιοτικές μέθοδοι (γνωματεύσεις ειδικών, Δελφική μέθοδος, έρευνες αγοράς μεταφορών), στατιστικές αναλύσεις και προβολές καθώς και οικονομετρικές μέθοδοι (Προφυλλίδης 2001).

4 Μοντέλο εκτίμησης κόστους κύκλου ζωής οδού

Οι επιπτώσεις που συμπεριλαμβάνονται στο γενικευμένο κόστος κύκλου ζωής ενός οδικού έργου είναι οι εξής:

- Κόστος κυρίου (φορέα) έργου
- Κόστος χρήστη
- Χρόνος μετακίνησης
- Κατανάλωση καυσίμου
- Ατυχήματα
- Εκπομπές ρύπων
- Θόρυβος
- Προσπελασιμότητα
- Κατανάλωση μη ανανεώσιμων πόρων - χρήση ανακυκλωμένων υλικών
- Οικολογικές επιπτώσεις (έκταση υγροβιότοπων /δασών/ αγροτικών εκτάσεων/ βοσκότοπων που καταλαμβάνονται από την οδό).

Οι παραπάνω επιπτώσεις επηρεάζονται από πληθώρα παραμέτρων, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι παρακάτω:

- Η κατηγορία της οδού και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά μεγέθη της
- Η μεταφορική ζήτηση
- Η διέλευση της χάραξης της οδού
- Τα δομικά στοιχεία και η λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος
- Τα λοιπά στοιχεία της οδού

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει συνοπτικά το βαθμό επιρροής των παραπάνω παραγόντων στις διάφορες επιπτώσεις των οδικών έργων.

Πίνακας 1 Παράγοντες επιρροής επιπτώσεων οδικών έργων

Επιπτώσεις → Παράγοντες επιρροής	Κόστος κυρίου έργου	Κόστος χρήστη	Χρόνος μετακίνησης	Κατανάλωση καυσίμων	Ατυχήματα	Εκπομπές ρύπων	Θόρυβος	Προσπελασιμότητα	Ανάλογη φυσικών πόρων	Οικολογικές επιπτώσεις
Κυκλοφοριακός φόρτος	●	●	●	●	●	●	●	●	○	-
Γεωμετρικά στοιχεία οδού	●	-	○	○	○	○	-	-	●	○
Λοιπά στοιχεία σχεδιασμού οδού	●	-	○	○	●	○	○	-	-	-
Οδικοί κόμβοι	●	-	●	○	●	○	○	○	○	○
Διέλευση χάραξης οδού	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●
Δομικά στοιχεία / κατάσταση οδοστρώματος	●	○	○	○	●	○	○	-	●	-
Λοιπά στοιχεία οδού	●	-	-	-	●	-	○	-	○	-

- δηλώνει σημαντική επιρροή
- δηλώνει σχετική επιρροή
- δηλώνει αμελητέα επιρροή

Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των μοντέλων υπολογισμού των επιμέρους επιπτώσεων των (κύριων) παραμέτρων επιρροής αυτών καθώς και ενδεικτικών τιμών των παραμέτρων.

4.1 Κόστος κυρίου του έργου (agency cost)

Γενικά το κόστος του κυρίου του έργου στην περίπτωση κατασκευής μιας νέας οδού αποτελείται εν γένει από τις εξής συνιστώσες:

1. Κόστος απαλλοτριώσεων των εκτάσεων (right of way cost).
2. Κόστος κατασκευής / αποκατάστασης (construction / rehabilitaion cost) συμπεριλαμβανομένων του κόστους του οδοστρώματος και του κόστους χωματουργικών εργασιών.
3. Κόστος λειτουργίας (operational cost).
4. Κόστος συντήρησης (maintenance cost).

Το κόστος κατασκευής μιας οδού ποικίλει κυρίως σε συνάρτηση με τις δαπάνες για τεχνικά έργα και απαλλοτριώσεις. Με βάση στοιχεία από τη Δυτική Ευρώπη (Προφυλλίδης (2001)), το μέσο κόστος κατασκευής αναλύεται ως εξής:

- μελέτες 4÷6%
- απαλλοτριώσεις 25%
- χωματουργικά 15÷20%
- τεχνικά (γέφυρες, σήραγγες, κλπ) 30÷35%
- αποστραγγίσεις, εξυγιάνσεις 5%
- οδόστρωμα 10%
- σήμανση, φωτισμός, κλπ 10%

Για την Ελλάδα, με βάση στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές κόστους (κόστος προϋπολογισμού Υπηρεσίας, τιμές 2001) (Προφυλλίδης (2001)):

- αυτοκινητόδρομος με δύο ανεξάρτητους κλάδους και δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση με μεσαία διαχωριστική νησίδα 3,5÷4,5 εκατομ. €,
- εθνική οδός με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση χωρίς ενδιάμεση νησίδα 2,5÷3,0 εκατομ. €,
- επαρχιακή οδός με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση 0,7÷1,2 εκατομ. €.
- Το κόστος κατασκευής σηράγγων εξαρτάται από το μήκος τους, την ποιότητα του εδάφους και τη μέθοδο διάνοιξης. Για τη χώρα μας, το κόστος οδικής σήραγγας με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση είναι (σε τιμές 2001) 14,5÷17,5 εκατομ. € (Προφυλλίδης (2001)).

Λόγω του μεγάλου εύρους διακύμανσης του κόστους του κυρίου του έργου ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες σε κάθε περίπτωση αλλά και της σημαντικής συμμετοχής του στο κόστος κύκλου ζωής, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται κατά το δυνατόν ακριβείς εκτιμήσεις

που προέρχονται, για παράδειγμα, από τη σύνταξη του αναλυτικού προϋπολογισμού μελέτης του έργου.

4.2 Κόστος χρήστη

Το κόστος χρήστη γενικά περιλαμβάνει τις εξής συνιστώσες κόστους:

- Λειτουργικό κόστος οχήματος.
 - Κόστος κατανάλωσης καυσίμου.
 - Κόστος υποτίμησης της αξίας των οχημάτων.
 - Κόστος συντήρησης οχημάτων (ανταλλακτικά, ελαστικά).
 - Κόστος εκπομπών ρύπων.
- Κόστος χρόνου μετακίνησης.
- Κόστος ατυχημάτων.

Το κόστος χρήστη εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από την κατάσταση του οδοστρώματος.

Επειδή στην παρούσα ανάλυση ο χρόνος μετακίνησης, η κατανάλωση καυσίμου, οι εκπομπές ρύπων και τα ατυχήματα εξετάζονται ως ξεχωριστοί δείκτες, οι συνιστώσες αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο υπολογισμού του κόστους χρήστη για να μην συνυπολογιστούν στο συνολικό κόστος δύο φορές.

Ενδεικτικές τιμές των διαφόρων συστατικών του κόστους χρήστη για διάφορους τύπους οχημάτων δίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2 (Γρεβενιώτη, 2006). Οι τιμές που καταγράφονται στον Πίνακα αντικατοπτρίζουν τις δαπάνες που αντιλαμβάνεται ο χρήστης κι όχι απαραίτητα το γενικευμένο κόστος για την κοινωνία. Για παράδειγμα, η τιμή του καυσίμου που πληρώνει ο χρήστης περιλαμβάνει φόρους οι οποίοι δεν μπορούν να θεωρηθούν ως κόστος για την εθνική οικονομία. Τέτοιου είδους χρεώσεις δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις τεχνικοοικονομικές αναλύσεις σκοπιμότητας (Adler (1987)). Οι Barnes et al. (2004) προτείνουν τιμές κόστους 14,3 €/1000 οχηματο-χιλιόμετρα και 4,2€/1000 οχηματο-χιλιόμετρα για τη συντήρηση οχημάτων και ελαστικών αντίστοιχα.

Πίνακας 2 Λειτουργικό κόστος οχήματος [Γρεβενιώτη (2006)]

Τύπος οχήματος	Κόστος κατανάλωσης καυσίμων (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος κατανάλωσης λιπαντικών (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος κατανάλωσης ελαστικών (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος κατανάλωσης ανταλλακτικών (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος εργασίας συντήρησης (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος υποτίμησης (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος τόκου (ευρώ/1000 veh-km)	Κόστος ωρών εργασίας πληρώματος (ευρώ/1000 veh-km)	Πάγια έξοδα (ευρώ/1000 veh-km)	Λειτουργικό κόστος οχήματος (ευρώ/1000 veh-km)
Επιβατικό αυτοκίνητο	94,35	4,98	4,32	20,22	12,02	62,14	1,56	7,48	2,33	209,40
Ελαφρύ φορτηγό	131,90	13,74	17,17	44,02	37,70	186,85	2,13	61,99	10,22	505,72
Βαρύ φορτηγό	424,00	29,93	34,87	190,07	70,01	73,43	2,63	75,51	14,21	914,65
Νταλικά	573,95	32,29	74,96	408,01	72,63	145,96	5,59	80,16	22,34	1.415,87
Λεωφορείο	301,14	23,49	37,75	240,92	44,20	321,18	9,25	75,53	40,08	1.093,55

4.3 Χρόνος μετακίνησης

Είναι γνωστό ότι η εξοικονόμηση χρόνων διαδρομής αποτελεί, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, τη βασική θετική επίπτωση (ωφέλεια) των συγκοινωνιακών έργων και, για τις χώρες της Ευρώπης, αποτελεί περισσότερο από το 50% των συνολικών ωφελειών [Adler (1987), Προφυλλίδης (2001)].

Ο χρόνος μετακίνησης αποτελείται εν γένει από τέσσερις συνιστώσες και συγκεκριμένα:

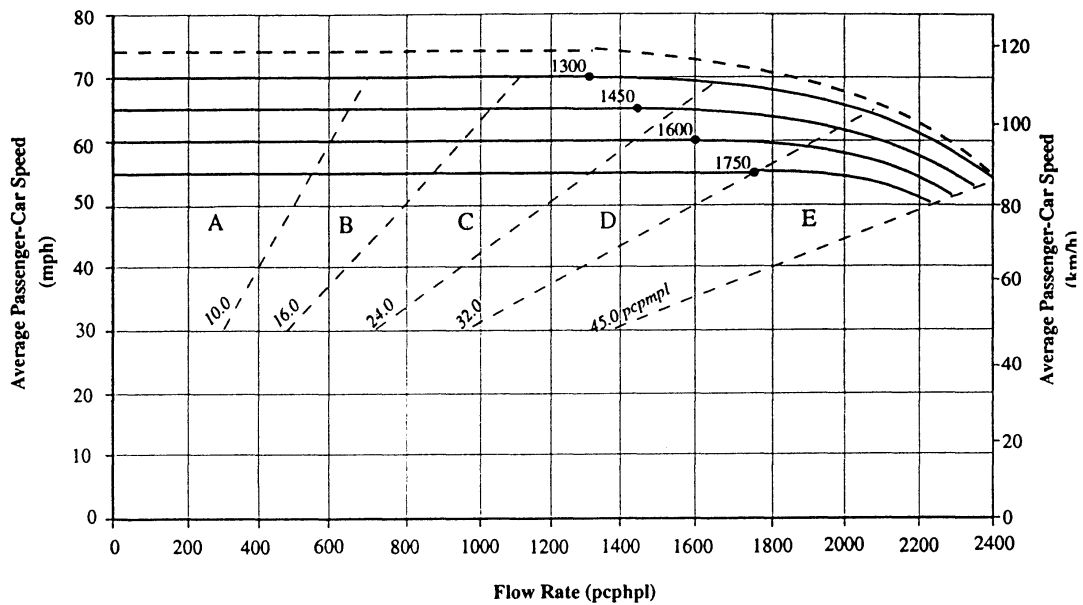
1. Χρόνος διαδρομής υπό ιδανικές συνθήκες (ελεύθερη ροή οχημάτων και άριστη κατάσταση οδοστρώματος από άποψη επιπεδότητας).
2. Καθυστέρηση που οφείλεται στη μειωμένη ταχύτητα λόγω της μέτριας ή κακής κατάστασης οδοστρώματος.
3. Καθυστέρηση λόγω αυξημένης κυκλοφορίας ή και κυκλοφοριακής συμφόρησης.
4. Καθυστέρηση λόγω ύπαρξης κόμβων.

Από τις παραπάνω συνιστώσες η πρώτη εξαρτάται από το μήκος του τμήματος και την ταχύτητα ελεύθερης ροής των οχημάτων που συνδέεται στενά με την ταχύτητα σχεδιασμού και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Η δεύτερη συνιστώσα εξαρτάται από το επίπεδο της κατάστασης της οδού (ποιότητα κύλισης) και την εκτιμωμένη μείωση της ταχύτητας ανά μονάδα υποβάθμισης της επιφανειακής κατάστασης του οδοστρώματος. Η τρίτη συνιστώσα εξαρτάται από το βαθμό συμφόρησης (που προκύπτει από το λόγο του κυκλοφοριακού φόρτου προς την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού) αλλά και από τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας (Σχήματα 2 και 3) καθώς σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας είναι γενικά πιο δύσκολο το προσπέρασμα. Τέλος, η καθυστέρηση λόγω κόμβων εξαρτάται από τον αριθμό και το είδος των κόμβων (σηματοδοτούμενοι ή μη) σε συνδυασμό βέβαια και με το βαθμό συμφόρησης.

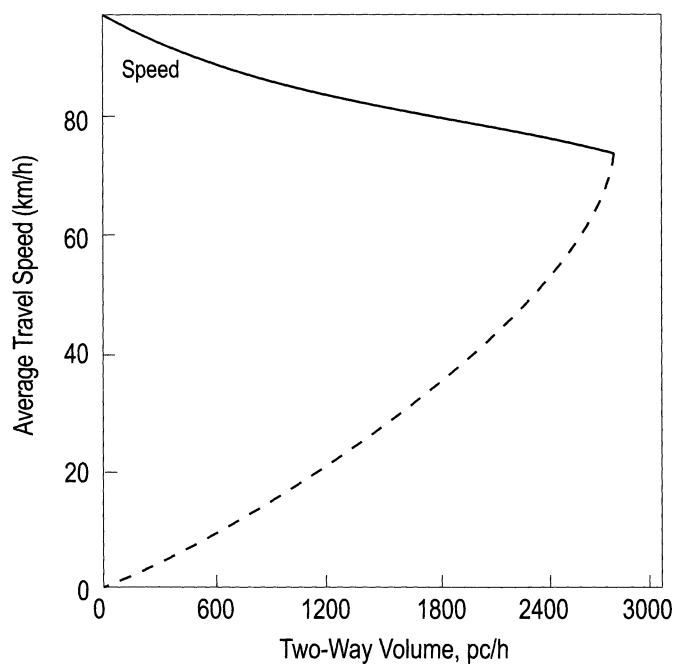
Σημειώνεται ότι τόσο η κυκλοφοριακή ροή (flow rate) όσο και η ταχύτητα ελεύθερης ροής (free-flow speed) προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη έναν αριθμό παραγόντων, όπως αναλυτικά φαίνονται στο Highway Capacity Manual (1998). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η κυκλοφοριακή ροή (εκφρασμένη σε επιβατικά οχήματα ανά ώρα και λωρίδα κυκλοφορίας) εξαρτάται από το είδος και το ποσοστό των μη επιβατικών οχημάτων, τη μορφολογία του εδάφους, τα χαρακτηριστικά των οδηγών, τη μεταβλητότητα της κυκλοφοριακής ροής, κλπ. (στο Highway Capacity Manual περιγράφονται η διαδικασία και οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές προσαρμογής για καθέναν από τους παραπάνω παράγοντες). Η πραγματική ταχύτητα ελεύθερης ροής διαφοροποιείται από την αντίστοιχη

ιδεατή ταχύτητα ανάλογα με τον αριθμό και το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας, την ύπαρξη ερείσματος και γενικά πλευρικού ελεύθερου χώρου, την πυκνότητα των διασταυρώσεων.

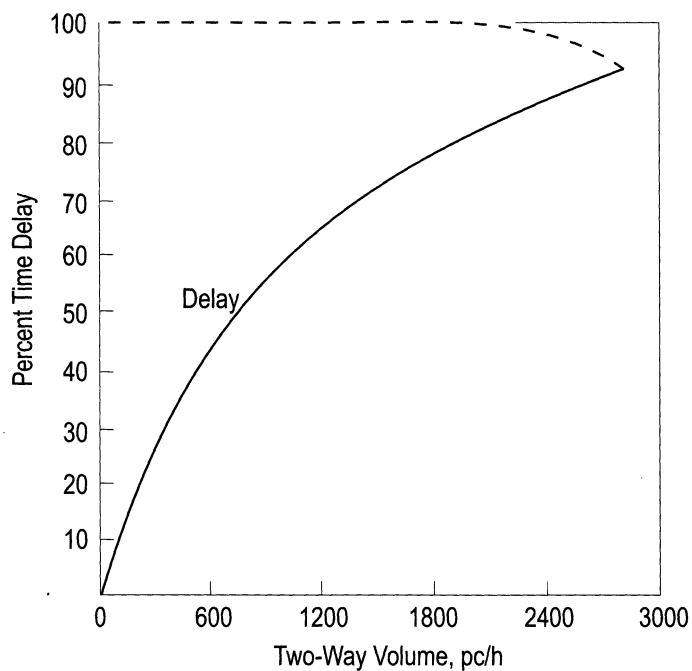
Σημειώνεται επίσης ότι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 (κι αναφέρθηκε και παραπάνω), η καθυστέρηση που προκύπτει από την αύξηση της κυκλοφοριακής ροής σε οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας είναι αναλογικά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί στη μείωση της ταχύτητας κυκλοφορίας λόγω συμφόρησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε τέτοιου είδους οδούς μειώνεται σημαντικά η δυνατότητα προσπέρασης όσο αυξάνει ο κυκλοφοριακός φόρτος.



Σχήμα 2 Σχέσεις ταχύτητας – κυκλοφοριακής ροής σε αυτοκινητόδρομους [TRB (1998) “Highway Capacity Manual”]



a. Relationship between average speed and flow on two-lane highways.



b. Relationship between percent time delay and flow on two-lane highways.

Σχήμα 3 Σχέσεις ταχύτητας – φόρτου & καθυστέρησης-φόρτου σε οδούς δύο λωρίδων (υπό ιδανικές συνθήκες) [TRB (1998) “Highway Capacity Manual”]

Όσον αφορά την οικονομική αποτίμηση του χρόνου διαδρομής, ελλείπει αναλυτικότερης προσέγγισης, η μέση τιμή της αξίας ανθρωποώρας μπορεί να προσεγγιστεί από τη μέση τιμή του ωριαίου κόστους εργασίας που για την Ελλάδα καταγράφεται σε περίπου 6 € σε τιμές 2001 (Προφυλλίδης, 2001). Σύμφωνα με τον Lomax (1999) η αξία του χρόνου μετακίνησης εκτιμάται σε 9,31€/h. Η Federal Highway Administration (1998) δίνει τιμές αξίας του χρόνου για διάφορους τύπους οχημάτων όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Η αξία του χρόνου υπό συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αυξημένη (σε σχέση με το χρόνο μετακίνησης υπό συνθήκες ελεύθερης ροής).

Πίνακας 3 Αξία χρόνου [FHWA, 1998]

value of time	1996 value	escalation factor	2000 value
passenger cars	\$ 11.78	1.098	\$ 12.84
single unit trucks	\$ 19.64	1.098	\$ 21.41
combination trucks	\$ 19.64	1.098	\$ 21.41

4.4 Κατανάλωση καυσίμου

Ο δείκτης της κατανάλωσης καυσίμου εκφράζει την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται από όλα τα οχήματα σε μια συγκεκριμένη οδική σύνδεση και μετριέται σε μονάδες μάζας (gr). Η κατανάλωση καυσίμου είναι συνάρτηση των παρακάτω παραμέτρων (Τσώχος 1997):

- του μήκους των διαδρομών,
- της ταχύτητας,
- του τύπου και της κατάστασης του κινητήρα,
- της κυκλοφορίας,
- των συνθηκών οδήγησης,
- της γεωμετρίας της οδού.

Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιείται ένα απλοποιημένο μοντέλο του HDM-4 για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Συγκοινωνιακών Έργων του Πανεπιστημίου Πατρών (Γρεβενιώτη 2006). Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου είναι η κλίση

της οδού, η καμπυλότητα της οδού, ο τύπος οδοστρώματος και ο τύπος και το φορτίο του οχήματος. Ενδεικτικές τιμές κατανάλωσης καυσίμων για διάφορους τύπους οχημάτων φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 4.

Πίνακας 4 Κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο οχήματος (Γρεβενιώτη 2006)

Τύπος οχήματος	Κατανάλωση καυσίμου (lt/1000 οχηματο-χιλιόμετρα)
Επιβατικό όχημα	94
Ελαφρύ φορτηγό	132
Βαρύ φορτηγό	424
Νταλικά	574
Λεωφορείο	301

Όσον αφορά την οικονομική αποτίμηση του κόστους καυσίμου σημειώνεται ότι θα πρέπει γίνεται σε αναφορά όχι με βάση το τι πληρώνουν οι χρήστες των οχημάτων αλλά ποια είναι η επίπτωση στην εθνική οικονομία. Το πραγματικό κόστος για την εθνική οικονομία περιλαμβάνει μόνο το τμήμα εκείνο του κόστους που αποτελεί απώλεια για την κοινωνία (π.χ., κόστος εξόρυξης ή αγοράς, επεξεργασίας, μεταφοράς και διάθεσης του καυσίμου) κι όχι τους διάφορους φόρους που συνοδεύουν την εμπορία καυσίμου (οι φόροι αυτοί αντιπροσωπεύουν δαπάνες που απλώς «κυκλοφορούν» μέσα στην οικονομία της χώρας χωρίς να «ξοδεύονται» πραγματικά).

4.5 Ατυχήματα

Τα ατυχήματα αποτελούν μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της λειτουργίας των οδών. Κάθε χρόνο καταγράφονται δεκάδες χιλιάδες θάνατοι, εκατομμύρια τραυματισμοί και υπέρογκα ποσά υλικών ζημιών λόγω τροχαίων ατυχημάτων. Οι επιπτώσεις γίνονται ακόμα μεγαλύτερες εάν ληφθούν υπόψη επιπτώσεις όπως ο πόνος, η θλίψη, η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής, η απώλεια παραγωγικότητας κ.ά.

Μεταξύ των πολλών μοντέλων που έχουν προταθεί για την πρόβλεψη ατυχημάτων χρησιμοποιούνται τα τρία μοντέλα που αναπτύχθηκαν από τους Vogt et al. (1998) για οδούς δύο λωρίδων (two-lane rural roads) και αφορούν τμήματα υπεραστικής οδού χωρίς

διασταύρωση, διασταυρώσεις με τρεις κλάδους και διασταυρώσεις με τέσσερις κλάδους καθώς και το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Wang et al. (1997) για οδούς πολλών λωρίδων (multi-lane rural roads). Τα μοντέλα αυτά επιλέχθηκαν γιατί λαμβάνουν υπόψη μια σειρά κρίσιμων παραμέτρων της οδού για την εκτίμηση των ατυχημάτων. Αναλυτική περιγραφή τους παρατίθεται στο Παραδοτέο 4 του παρόντος έργου «Έκθεση επί του Σχεδιασμού Προτύπων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Οδών». Εν συντομία, σύμφωνα με τα παραπάνω μοντέλα η εμφάνιση ατυχημάτων σχετίζεται με παραμέτρους όπως:

- Η κυκλοφοριακή φόρτιση της οδού.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού (πλάτος λωρίδων κυκλοφορίας και ερεισμάτων, ακτίνα καμπυλών οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, η κλίση της οδού, κλπ).
- Οι παρόδιες συνθήκες και συγκεκριμένα ο βαθμός κινδύνου περιοχής παραπλεύρως της οδού (Roadside Hazard Rating) ο οποίος εξαρτάται από το πλάτος της ζώνης κατάληψης, την κλίση των πρανών και το περιβάλλον της οδού, η πυκνότητα εισόδων επιχειρήσεων που προσεγγίζουν την οδό και γενικότερα ο βαθμός ελέγχου πρόσβασης σε αυτή, η πυκνότητα και ο τύπος των κόμβων (ισόπεδοι-ανισόπεδοι, σηματοδοτούμενοι ή μη, με ξεχωριστή λωρίδα στροφής ή όχι, κλπ).
- Η λειτουργική κατάσταση της οδού και, κυρίως, του οδοστρώματος (επιπεδότητα, ολισθηρότητα, κλπ).

Ενδεικτικά αναφέρεται το μοντέλο πρόβλεψης ατυχημάτων για οδούς πολλών λωρίδων κυκλοφορίας των Wang et al. (1997), σύμφωνα με το οποίο ο αριθμός των ατυχημάτων για οδούς πολλών λωρίδων εκτιμάται από τη σχέση:

$$Y = 0.0002(DVMT)^{1.073} \times e^{(0.131 X_1 - 0.151 X_2 + 0.034 X_3 + 0.163 X_4 + 0.052 X_5 - 0.572 X_6 - 0.094 X_7 - 0.003 X_8 + 0.429 X_9)} \quad (2.22)$$

όπου:

Y: εκτιμώμενος ετήσιος αριθμός ατυχημάτων

DVMT: ημερήσιος αριθμός οχηματο-μιλίων

X1: μέσος βαθμός κινδύνου περιοχής παραπλεύρως της οδού (average roadside hazard rating)

X2: έλεγχος προσπέλασης (μερικός έλεγχος προσπέλασης= 1, ελεύθερη προσπέλαση=0)

X3: αριθμός εισόδων επιχειρήσεων ανά μίλι (driveways/mile)

X4: αριθμός διασταυρώσεων ανά μίλι με λωρίδα στροφής (intersection with turn lanes/mile)

X5: αριθμός διασταυρώσεων ανά μίλι χωρίς λωρίδα στροφής (intersection without turn lanes/mile)

X6: κατηγορία οδού (υπεραστική κύρια οδός =1, υπεραστική δευτερεύουσα οδός=0)

X7: πλάτος ερείσματος (ft)

X8: πλάτος νησίδας (ft)

X9: τύπος περιοχής (κατοικημένη=1, μη κατοικημένη=0)

Για την οικονομική αποτίμηση της επίπτωσης απαιτούνται, εκτός του αριθμού των ατυχημάτων που προκύπτουν από τη χρήση των μοντέλων να υπάρξουν εκτιμήσεις για τον μέσο αριθμό νεκρών και τραυματιών ανά ατύχημα καθώς και εκτιμήσεις τιμών κόστους για ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς και υλικές ζημιές. Για την κατανομή των ατυχημάτων ανάλογα με τη σοβαρότητα των χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά στοιχεία πραγματικών ατυχημάτων που έλαβαν χώρα στην Εθνική Οδό Αντιρρίου-Ιωαννίνων (συγκεκριμένα στο τμήμα της οδού που βρίσκεται στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας και υπάγεται, ως προς την ευθύνη συντήρησης, στη δικαιοδοσία της ΔΕΣΣΕ Δυτικής Ελλάδας) κατά το διάστημα 1995-2002 (Πίνακας 2.7) Το τμήμα που εξετάστηκε περιλαμβάνει υποτμήματα αντιπροσωπευτικά των συνηθισμένων τύπων διέλευσης (υπεραστικό, αστικό, κόμβοι) ώστε να είναι εφικτή η διαφοροποίηση στον αριθμό και στη σοβαρότητα των ατυχημάτων.

Τα στοιχεία αυτά, παρότι δεν μπορούν να χαρακτηριστούν αντιπροσωπευτικά όλων των τύπων οδών, παρέχουν μια βάση αναφοράς για τον αριθμό και τη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 5, προκύπτουν τα ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία ατυχημάτων που φαίνονται στον Πίνακα 6 (τα οποία είναι μάλλον υψηλότερα του μέσου όρου του οδικού δικτύου με δεδομένο ότι η εν λόγω οδός είναι από αυτές με αυξημένη συχνότητα ατυχημάτων – ίσως λόγω και της αυξημένης μεταφορικής ζήτησης που εξυπηρετεί σε σχέση με την ικανότητα της). Οι τιμές που αναφέρονται προκύπτουν από τα συγκεντρωτικά στοιχεία για όλο το τμήμα, αντίστοιχα μπορούν να προκύψουν στοιχεία για κάθε είδος τμήματος (υπεραστικό, αστικό, κόμβοι) αν και τα επιμέρους τμήματα είναι αρκετά μικρά ώστε τα στοιχεία να είναι αρκετά αντιπροσωπευτικά.

Πίνακας 5 Στατιστικά ατυχημάτων της εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων για τη χρονική περίοδο 1995 ως 2002 (Παναγολιά, 2003)

	<i>Συνολικό δίκτυο</i>	<i>Υπεραστική οδός</i>	<i>Αστική οδός</i>	<i>Κόμβοι</i>
Μήκος	140 χλμ.	96 χλμ.	32 χλμ.	12 χλμ.
Συνολικός αριθμός ατυχημάτων	991	507	327	157
Νεκροί	200	101	76	23
Τραυματίες	1656	872	507	277
	Εκτροπή (26%)	Εκτροπή (31%)	Εκτροπή (21%)	Διασταύρωση (22%)
Συχνότερα τύποι ατυχημάτων	Μετωπική (21%)	Μετωπική (26%)	Παράσυρση πεζού (17%)	Εκτροπή (21%)
	Παράσυρση πεζού (12%)	Επιβράδυνση (10%)	Μετωπική (15%)	Μετωπική (16%)
Σοβαρότεροι τύποι ατυχημάτων				
Μέσος όρος νεκρών ανά ατύχημα	Παράσυρση πεζού (0.36)	Μετωπική (0.37)	Παράσυρση πεζού (0.39)	Παράσυρση πεζού (0.39)
Μέσος όρος τραυματιών ανά ατύχημα	Προσπέραση (2.28)	Προσπέραση (2.33)	Αριστερή στροφή (2.27)	Προσπέραση (2.50)

Πίνακας 6 Στατιστικά στοιχεία ατυχημάτων της εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων για τη χρονική περίοδο 1995 ως 2002 (Παναγολιά, 2003)

Παράμετρος ατυχημάτων	Ενδεικτική τιμή
Αριθμός νεκρών ανά ατύχημα	0,2
Αριθμός τραυματιών ανά ατύχημα	1,7
Αριθμός ατυχημάτων ανά km οδού ανά έτος	1,0
Αριθμός νεκρών ανά km οδού ανά έτος	0,2
Αριθμός τραυματιών ανά km οδού ανά έτος	1,7

Όσον αφορά την οικονομική αποτίμηση απωλειών ή ζημιών, χρησιμοποιούνται ως βάση, μεταξύ διαφόρων και γενικά αποκλινοσών τιμών που έχουν προκύψει ή προταθεί από προηγούμενες μελέτες, οι ενδεικτικές τιμές που αναφέρονται στον Προφυλλίδη (2001) σύμφωνα με τις οποίες το κόστος ενός θανάτου στις αναπτυγμένες χώρες εκτιμάται μεταξύ 50.000 και 400.000 € αλλά μπορεί να φτάσει και μέχρι 2.000.000 €. Αντίθετα, στις μη αναπτυγμένες χώρες εκτιμάται σε 2.000-10.000 €. Το μέσο κόστος ενός τραυματισμού έχει εκτιμηθεί για τη Μεγ. Βρετανία σε 10.000-15.000 €

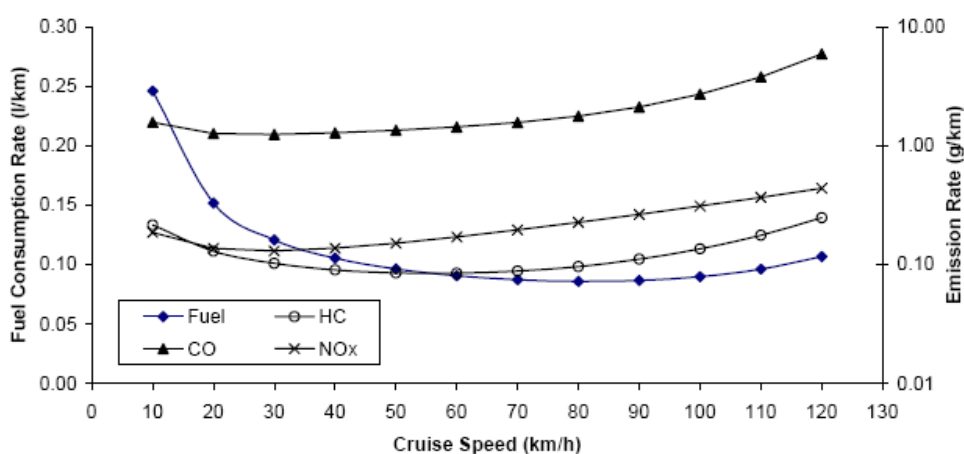
4.6 Εκπομπές ρύπων

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρατηρούνται τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Σε τοπικό επίπεδο, η ρύπανση επηρεάζει τη δημόσια υγεία και την ποιότητα ζωής. Περιφερειακά, η ρύπανση επηρεάζει το φυτικό και δομικό περιβάλλον μέσω της διασποράς, της απόθεσης και της χημικής μετατροπής των ρύπων. Σε παγκόσμια κλίμακα, η ρύπανση της ατμόσφαιρας σχετίζεται με τις κλιματικές μεταβολές και την εξάντληση του στρώματος όζοντος της ατμόσφαιρας.

Στην παρούσα ανάλυση εξετάζονται οι εκπομπές CO, CO₂, NO_x, VOC, PM (αιωρούμενα σωματίδια) και εκφράζονται σε gr. Γενικά στη βιβλιογραφία (World Bank 1994, Τσώχος 1997, FHWA 2001, Vlieger et al. 2000, André et al. 2000, El -Shawarby et al. 2005) καταγράφονται διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές ρύπων λόγω της λειτουργίας των οδών:

- Τύπος οχήματος: τα βαριά οχήματα επηρεάζουν περισσότερο την ατμόσφαιρα.

- Ταχύτητα: οι χαρακτηριστικές καμπύλες εκπομπών ρύπων και κατανάλωσης καυσίμου - μέσης ταχύτητας οχήματος για διάφορους ρύπους φαίνεται στο Σχήμα 4. Γενικά, το επίπεδο των εκπομπών δεν εξαρτάται μόνο από τη μέση ταχύτητα αλλά και από τις μεταβολές της (Vlieger et al. 2000, André et al. 2000, El-Shawarby et al. 2005).
- Τρόπος οδήγησης: ο "επιθετικός" τρόπος οδήγησης μπορεί να αυξήσει τις εκπομπές ρύπων με ένα συντελεστή έως 8 συγκριτικά με συνθήκες κανονικής οδήγησης (Vlieger et al. 2000).
- Γεωμετρία οδού: η κλίση οδού επηρεάζει τις εκπομπές ρύπων ιδίως των βαρέων φορτηγών καθώς τα αναγκάζει να κινούνται σε χαμηλές ταχύτητες (Τσώχος 1997).
- Κυκλοφοριακός φόρτος: επηρεάζει τις συνολικές εκπομπές ρύπων.
- Κυκλοφοριακές συνθήκες: σε συνθήκες συμφόρησης όπου οι ταχύτητες είναι χαμηλές και οι συνθήκες "ξεκίνημα-σταμάτημα" συχνές, οι εκπομπές ρύπων είναι αυξημένες (Vlieger et al. 2000).



Σχήμα 4 Μεταβολή ρυθμού κατανάλωσης καυσίμου (fuel consumption rate) και εκπομπών ρύπων (emission rate) συναρτήσει της ταχύτητας κίνησης (cruise speed) [Rakha et al. (2003)]

Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιείται η μεθοδολογία "Methodologies for Estimating air pollutant Emissions from Transport" (MEET) (TRL 1999) για την εκτίμηση των ρύπων (αναλυτική περιγραφή του μοντέλου υπάρχει στο Παραδοτέο 4). Οι κύριες πηγές ρύπων είναι τα αέρια της εξάτμισης και οι υδρογονάνθρακες που παράγονται από την εξάτμιση του καυσίμου. Όταν η μηχανή εκκινά σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτήν της κανονικής

λειτουργίας της καταναλώνει καύσιμα με χαμηλή απόδοση παράγοντας εκπομπές υψηλότερες από τις εκπομπές που παράγονται όταν η μηχανή έχει θερμανθεί πλήρως. Συνεπώς, οι συνολικές εκπομπές υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$E = E_{hot} + E_{start} + E_{evaporative} \quad (2.23)$$

όπου

E : οι συνολικές εκπομπές

E_{hot} : οι εκπομπές που παράγονται υπό κανονική λειτουργία του κινητήρα

E_{start} : οι εκπομπές όταν η μηχανή δεν έχει θερμανθεί πλήρως

$E_{evaporative}$: οι εκπομπές λόγω εξάτμισης (μόνο για VOC)

Όσον αφορά στην οικονομική αποτίμηση των εκπομπών ρύπων, διάφορες μελέτες που έχουν γίνει καταλήγουν σε αποτελέσματα με μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Ο Litman (2006) παρουσιάζει τιμές κόστους αερίων ρύπων από διάφορες μελέτες. Με βάση τα στοιχεία από αυτές, καταγράφονται οι παρακάτω ενδεικτικές τιμές κόστους ρύπων (Πίνακας 7).

Πίνακας 7 Ενδεικτικές τιμές μοναδιαίου κόστους αερίων ρύπων (€/ton)

Ρύπος	Κόστος ρύπου (€/ton)
CO	360
NO _x	14.600
VOC	13.400
PM	9.200
CO ₂	30

Ένα σημαντικό ζήτημα που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής στην ανάλυση της επίπτωσης των εκπομπών ρύπων είναι η δυσκολία πρόβλεψης (κι επομένως το θέμα της εγκυρότητας της ανάλυσης) των εκπομπών ρύπων στο μέλλον (με βάση τα σημερινά στοιχεία) καθώς η τεχνολογική αναβάθμιση των οχημάτων οδηγεί σε ολοένα και μικρότερες εκπομπές ρύπων.

4.7. Θόρυβος

Η κατασκευή και λειτουργία οδών είναι από τις κυριότερες πηγές ηχορύπανσης με επιπτώσεις τόσο στον άνθρωπο και τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς, όσο και στα κτίρια και τους αρχαιολογικούς χώρους εξαιτίας των δονήσεων. Στην παρούσα ανάλυση η εκτίμηση του επιπέδου θορύβου γίνεται με βάση το Γερμανικό μοντέλο (RAL-RLS90 (1990)). Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως:

- Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά
 - Ωριαίος φόρτος κυκλοφορίας
 - Ποσοστό φορτηγών
 - Ταχύτητα επιβατικών και φορτηγών οχημάτων
- Γεωμετρία οδού
 - Κλίση οδού
- Τύπος οδοστρώματος
- Απόσταση θέσης προσδιορισμού του θορύβου από την ηχητική πηγή και απορρόφηση ήχου από την ατμόσφαιρα
- Χαρακτηριστικά της περιοχής
 - Τοπογραφική διαμόρφωση (υψομετρική διαφορά θέσης προσδιορισμού του θορύβου από την ηχητική πηγή)
 - Ανάκλαση λόγω κτιρίων ή προστατευτικών στοιχείων

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το αναμενόμενο επίπεδο θορύβου προσδιορίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$L_m = L_{m,E} + D_s + D_{BM} + D_B \quad (2.24)$$

όπου:

$$L_{m,E} = L_m^{(25)} + D_v + D_{str} + D_{stg} + D_E \quad (2.25)$$

$$L_m^{(25)} = 37.3 + 10 \log[M \times (1 + 0.082)p] \quad (2.26)$$

$L_m^{(25)}$: βασικό επίπεδο θορύβου συναρτήσει του κυκλοφοριακού φόρτου και του ποσοστού των φορτηγών.

D_s : μεταβολή του επιπέδου θορύβου εξαιτίας της απόστασης και της απορρόφησης του ήχου από την ατμόσφαιρα.

D_{BM} : μεταβολή του επιπέδου θορύβου λόγω υψομετρικής διαφοράς της θέσης υπολογισμού και της ηχητικής πηγής.

D_B : μεταβολή του επιπέδου θορύβου λόγω επιρροής μέτρων προστασίας (στηθαίου ή τοίχου αντιστήριξης).

M : ωριαίος φόρτος κυκλοφορίας μιας λωρίδας.

p : ποσοστό φορτηγών (ως φορτηγά θεωρούνται τα οχήματα με συνολικό φορτίο άνω των 2.8 t).

D_v : διόρθωση λόγω ταχύτητας.

D_{str} : διόρθωση λόγω τύπου οδοστρώματος.

D_{stg} : επιρροή κλίσης οδού (επιδρά για κλίση μεγαλύτερη του 5%).

D_E : επιρροή ανάκλασης.

Ο Δείκτης Υποτίμησης λόγω Θορύβου-ΔΥΘ (Noise Depreciation Index) είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται ευρέως για την έκφραση της ενόχλησης λόγω κυκλοφοριακού θορύβου σε χρηματικές μονάδες (τεχνική ηδονικής τιμής). Ο Δείκτης Υποτίμησης λόγω Θορύβου δίνει μια εκτίμηση της επί τοις εκατό υποτίμησης της αξίας των ιδιοκτησιών λόγω αύξησης του επιπέδου θορύβου κατά 1dB(A) πάνω από ένα κατώφλι θορύβου. Γενικά έχουν δοθεί διάφορες τιμές κατωφλίου θορύβου και διάφορες τιμές Δείκτη Υποτίμησης λόγω Θορύβου (σταθερές ή μεταβλητές). Σύμφωνα με την Austroads (2000) από μια ανασκόπηση παγκόσμιων εφαρμογών αποτίμησης του θορύβου προκύπτει ότι ο δείκτης αυτή παίρνει τιμές από 0,4% έως 1,0%.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι τιμές που προτείνει ο OECD σύμφωνα με τους Pearce et al. (1989):

- ❖ Κατώφλι θορύβου ($L_{eq}(24hr)$): 50dB(A)
- ❖ Δείκτης Υποτίμησης λόγω Θορύβου-ΔΥΘ: 0.5%

4.8 Προσπελασιμότητα

Η βιώσιμη ανάπτυξη αναγνωρίζει το δικαίωμα σε όλες τις κοινωνικές ομάδες για πρόσβαση σε μέρη, αγαθά και υπηρεσίες. Με τον όρο προσπελασιμότητα εκφράζεται η δυνατότητα και η ευκολία πρόσβασης σε αγαθά, υπηρεσίες, δραστηριότητες και προορισμούς. Η δημιουργία μιας υπεραστικής οδού διευκολύνει την προσπελασιμότητα των οικισμών της ευρύτερης περιοχής. Η εγγύτητα της οδού από τους οικισμούς αποτελεί δείκτη της προσπελασιμότητας αυτών των περιοχών. Η προσπελασιμότητα αντανακλά το γενικευμένο κόστος (χρόνο, κόστος, έλλειψη άνεσης, κίνδυνο) για την προσπέλαση δραστηριοτήτων.

Στην παρούσα ανάλυση η προσπελασιμότητα αναφέρεται στις διάφορες επιπτώσεις που σχετίζονται με την υλοποίηση των απαιτούμενων οδών πρόσβασης της κύριας οδού από τους παρακείμενους οικισμούς όπως το κόστος κατασκευής/συντήρησης των οδών πρόσβασης στην κύρια οδό, ο χρόνος πρόσβασης, η κατανάλωση καυσίμου, κλπ. Η ποσοτική αποτίμηση των επιπτώσεων αυτών γίνεται κατ' ανάλογο τρόπο με αυτές της υπό εξέταση κύριας οδού.

4.9 Κατανάλωση μη ανανεώσιμων πόρων - χρήση ανακυκλωμένων υλικών

Η κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία του οδικού δικτύου καταναλώνει μεγάλες ποσότητες φυσικών πόρων (αδρανή, πετρέλαιο). Ετησίως καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες αδρανών για την κατασκευή και συντήρηση οδών, γεφυρών, κτιρίων, στη βιομηχανία, σε περιβαλλοντικές εφαρμογές, στη μεταλλουργία κ.ά.

Η απαίτηση που επιβάλλει η βιωσιμότητα για συνετή (prudent) κατανάλωση φυσικών πόρων από τη σημερινή γενιά έτσι ώστε να μην στερούνται της δυνατότητας κατανάλωσης πόρων οι μελλοντικές γενιές προϋποθέτει την αποδοτική κατανάλωση των πόρων και τη δημιουργία ανανεώσιμων υποκατάστατων (Building Better Roads, 2003). Έτσι, συνιστάται κατά την κατασκευή οδών τα χρησιμοποιούμενα αδρανή να μην προέρχονται εξ ολοκλήρου από την περιοχή του έργου, αλλά ένα ποσοστό να προέρχεται από ανακυκλωμένα αδρανή ή από μεταφορά από άλλες περιοχές όπου υπάρχει περίσσεια αδρανών. Η απαίτηση αυτή επιβάλλεται προκειμένου να αποφευχθεί η εξάντληση των αποθεμάτων φυσικών αδρανών σε συγκεκριμένες περιοχές.

Λόγω της δυσκολίας να δοθεί μια ποσοτική εκτίμηση του όρου «εξάντληση των φυσικών πόρων» (natural resource depletion) και της έλλειψης υποστηρικτικών δεδομένων για την εκτίμηση των επιπτώσεων από την εξάντληση των φυσικών πόρων (όπως η διαθέσιμη ποσότητα των αδρανών, ο ρυθμός ανανέωσης τους, ο ρυθμός ανακάλυψης νέων αποθεμάτων, το κόστος διάθεσης των πόρων που αντανakλά και το βαθμό μείωσης-εξάντλησης των αποθεμάτων), χρησιμοποιείται στην παρούσα ανάλυση η εξής θεώρηση και προσέγγιση. Θεωρείται ότι κάθε οδικό έργο «έχει δικαίωμα» να «καλύψει» ένα μόνο μέρος των αναγκών του σε αδρανή υλικά από πρωτογενή υλικά που προέρχονται από την περιοχή του έργου (π.χ., από κοίτες ποταμών) και μάλιστα τέτοιο ώστε να μπορούν να «εξυπηρετηθούν» με τον ίδιο τρόπο και άλλα έργα στην περιοχή στα πλαίσια του ρυθμού φυσικής αναπλήρωσης των αδρανών ώστε να μη δημιουργούνται συνθήκες εξάντλησης.

Τα υπόλοιπα αδρανή που απαιτούνται για το έργο θα προέλθουν είτε από ανακύκλωση ή από μεταφορά τους από άλλες θέσεις που βρίσκονται μακρύτερα. Με δεδομένο ότι το κόστος κατασκευής της οδού εμπεριέχει εν γένει το κόστος προμήθειας των αδρανών από φυσικές πηγές στην περιοχή του έργου, η επίπτωση που εξετάζεται εδώ συνδέεται όχι με το συνολικό κόστος προμήθειας των αδρανών αλλά με το πρόσθετο κόστος επεξεργασίας (προκειμένου για ανακύκλωση) ή μεταφοράς (προκειμένου για μεταφορά από μακριά) λαμβάνοντας βέβαια υπόψη και τις αντίστοιχες απαιτούμενες ποσότητες υλικών.

Σύμφωνα με στοιχεία από μια εφαρμογή κατασκευής αυτοκινητόδρομου (M6 Toll Motorway, West Midlands, UK), το κόστος των ανακυκλωμένων αδρανών είναι 8,83€/tonne (6€/tonne), ενώ για τα νέα αδρανή το κόστος είναι 14,72€/tonne (10€/tonne) (AggRegain, 2000). Σύμφωνα με τους Wilburn et al. (1998) το κόστος μεταφοράς αδρανών υπολογίζεται σε 9,75λεπτά (€) ανά μετρικό τόνο ανά χιλιόμετρο.

4.10 Οικολογικές επιπτώσεις

Η φυσική παρουσία των οδών στο φυσικό τοπίο δημιουργεί νέα όρια οικοσυστημάτων, τροποποιεί τη δυναμική της υδρολογίας και διαταράσσει τις φυσικές διαδικασίες και τα οικοσυστήματα. Η συντήρηση των οδών και η κυκλοφορία μολύνουν τον περιβάλλοντα χώρο με διάφορους ρύπους και θόρυβο. Οι κύριες επιπτώσεις των οδών στην οικολογία περιλαμβάνουν (Seiler A. 2001, Forman et al 1998):

- Απώλεια οικοσυστήματος (habitat loss).
- Ενόχληση (disturbance).
- Δημιουργία διαδρόμου (corridor).
- Θνησιμότητα (mortality).
- Παρεμπόδιση μετακίνησης (barrier).
- Επιπτώσεις στην υδρολογία και τα υδρόβια συστήματα (impacts on hydrology and aquatic habitats).
- Εισχώρηση εξωτικών ειδών (exotic, invasive species).
- Διευκόλυνση της πρόσβασης σε περιοχές που πριν ήταν απροσπέλαστες.

Στην παρούσα ανάλυση οι οικολογικές επιπτώσεις λαμβάνονται υπόψη βάσει των "ευαίσθητων" οικολογικά εκτάσεων όπως υδροβιότοπων, δασών, βοσκότοπων και αγροτικών εκτάσεων που καταλαμβάνονται από την οδό (ζώνη κατάληψης οδού) και με την απόδοση χρηματικής αξίας σε αυτές ώστε να καθοριστεί το κόστος των οικολογικών

επιπτώσεων. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η επίπτωση αφορά τη διατάραξη της οικολογίας της περιοχής (απώλεια γης, κατάτμηση οικοσυστημάτων, ενόχληση ζώων κ.λ.π.) λόγω της κατασκευής και λειτουργίας της οδού και δε θα πρέπει να συγχέεται με το κόστος απαλλοτρίωσης για την απόκτηση αυτών των εκτάσεων γης.

Ο Litman (2006) αναφέρει ότι οι οικολογικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την κατασκευή και λειτουργία των οδών μπορούν να αποτιμηθούν οικονομικά, αποδίδοντας χρηματική αξία στις οικολογικά ευαίσθητες εκτάσεις που καταλαμβάνονται από την οδό. Στον Πίνακα 8 δίνεται το κόστος μετατροπής μιας έκτασης από τη μια χρήση στην άλλη. Για κάθε εκτάριο γης που μετατρέπεται από την τρέχουσα μορφή (αριστερή στήλη) σε κάποια άλλη χρήση (πρώτη γραμμή) υπολογίζεται η μεταβολή των εξωτερικών περιβαλλοντικών ωφελειών βάσει της τιμής στο διασταυρούμενο κελί. Αρνητικό πρόσημο σημαίνει απώλεια, θετικό πρόσημο σημαίνει κέρδος περιβαλλοντικών ωφελειών. Γίνεται η υπόθεση ότι οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογή στην Ελλάδα.

Πίνακας 8 Κόστος μετατροπής γης (1994 CA\$/hectare) [Bein et al.(1995), αναπαραγωγή από Litman (2006)]

Κατηγορίες	Υγροβιότοπος	Παρθένα εδάφη/ χώρος πράσινου σε πόλη	Δάση β' γενιάς	Βοσκότοποι/ αγροκτήματα	Οικισμός	Οδόστρωμα
Υγροβιότοποι	0	-20.000	-40.000	-60.000	-80.000	-100.000
Παρθένα εδάφη/ χώρος πράσινου σε πόλη	20.000	0	-20.000	-40.000	-60.000	-80.000
Δάση β' γενιάς	40.000	20.000	0	-20.000	-40.000	-60.000
Βοσκότοποι/ αγροκτήματα	60.000	40.000	20.000	0	-20.000	-40.000
Οικισμός	80.000	60.000	40.000	20.000	0	-20.000
Οδόστρωμα	100.000	80.000	60.000	40.000	20.000	0

Το παρόν φυλλάδιο περιλαμβάνει αποσπάσματα από τις τεχνικές εκθέσεις ερευνητικού έργου με τίτλο:

ΚΑΤΟΨΗ - Καθορισμός βέλτιστων πρακτικών και ανάπτυξη συστήματος στήριξης αποφάσεων κατασκευής οδών υψηλών προδιαγραφών με στόχο τη βέλτιστη λειτουργικότητα και απόδοση στον κύκλο ζωής τους (2006-2009)

ΕΡΓΟ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 2000-2006, ΜΕΤΡΟ 3.4 «ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adler H.A. (1987), "Economic Appraisal of Transport Projects", The Johns Hopkins University Press.
- AggRegain (2000), "Recycled aggregate as capping in the construction of the new M6 Toll motorway", <http://www.aggregain.org.uk/contact.html>.
- André M. & Hammarström (2000), "Driving Speeds in Europe for Pollutant Emissions Estimation", *Transportation Research Part D* 5, pp. 321-335.
- ASTM (1997). "Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys." ASTM D 5340-93, Vol. 04, section 04.03, PA.
- Austrroads (2000), "Valuing Environmental and other Externalities: A Brief Review of Recent Studies", Austrroads Publication No. AP-R179/00, Sydney 2000.
- Barnes G. & Langworthy P. (2004), "Per Mile Costs of Operating Automobiles and Trucks", *Transportation Research Record* 1864, Transportation Research Board (www.trb.org), 2004, pp. 71-77.
- Barnes G. and Langworthy P. (2003). "The per-mile costs of operating automobiles and trucks", Technical Report No MN/RC 2003-19, University of Minnesota.
- Bein P., Litman T. & Johnson C. (1995), "Monetization of Environmental Impacts of Roads", Planning Services Branch, Ministry of Transportation and Highways, Victoria.
- Bennett C., Greenwood I. (2001). "Modelling road user and environmental effects in HDM-4, Volume Seven", The Highway Development and Management Series.
- Chassiakos, A.P., Panagolia, C. and Theodorakopoulos, D.D. (2005), "Development of a decision support system for managing highway safety", *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 131 (5), pp. 364-373.
- Chesher A.D. and Harrison R. (1987). "Vehicle operating costs: Evidence from developing countries". World Bank Publications, John Hopkins Press.
- CRRRI (1982). "Road user cost study in India". Central Road Research Institute, New Delhi.
- El-Shawarby I., Kyoungcho A. & Rakha H. (2005), "Comparative Field Evaluation of Vehicle Cruise Speed and Acceleration Level Impacts on Hot Stabilised Emissions", *Transportation Research Part D* 10, (2005), pp. 13-30.
- FHWA (1998). Life-cycle cost analysis in pavement design – in search of better investment decisions, Report FHWA-SA-98-079. Federal highway administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- FHWA (2001), "Highway Effects on Vehicle Performance", Publication No. FHWA-RD-00-164, pp. 79 FHWA, www.tfhrc.gov/hnr20/00164.htm
- Forman R.T. & Deblinger R.D. (2000), "The Ecological Road Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway", *Conservation Biology*, Vol. 14, No. 1, February 2000, pp. 36-46.

- Geipot (1981). "Research on the interrelationships between costs of highway construction, maintenance and utilisation: Final report on Brazil-UNDP Highway Research Project" (12 Volumes), Brasilia, Brazil.
- IRC (1993). "Manual on economic evaluation of highway projects in India". IRC Special Publication 20, Indian Roads Congress, New Delhi.
- Litman T. (2006), "Transportation Cost and Benefit Analysis: Techniques, Estimates and Implications", Victoria Transport Policy Institute, Canada, www.vtpi.org .
- Morosiuk G. and Abaynayaka S.W. (1982). "Vehicle operating costs in the Caribbean: An experimental study of vehicle performance". TRRL Laboratory Research 1056. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Park C. (1997). "Contemporary Engineering Economics", 2nd edition, Addison-Wesley.
- Pearce, D & Markandya, A. (1989), "Environmental Policy Benefits: Monetary Valuation", OECD, Paris, France.
- Rakha H. & Ding Y. (2003), "Impact of Stops on Vehicle Fuel Consumption and Emissions", Journal of Transportation Engineering, Volume 129, Issue 1, pp. 23-32, January/February 2003.
- RAL-RLS90 (1990), Bonn 1990.
- Riggs J., Bedworth D., and Randhawa S. (1996). "Engineering Economics", 4th edition, McGraw-Hill.
- Sayers, M. W. and Karamihas, S.M (1997). "The Little Book of Profiling, Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles." University of Michigan Transportation Research Institute, <http://www.umtri.umich.edu>.
- Seiler A. (2001), "Ecological Effects of Roads", a review, Introductory Research Essay, Department of Conservation Biology, No 9, Uppsala.
- Shahin, M. Y. (1998). "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots." 3rd Printing, Kluwer Academic Publishers, MA.
- Sharaf A.E. and Fathy Mandeel M (1998). "An analysis of the impact of different priority setting techniques on network pavement condition", Proceedings 4th International Conference on Managing Pavements, Vol. 1, Durban, South Africa
- Thuesen G. and Fabrycky W. (1993). "Engineering Economy", 8th edition, Prentice Hall International.
- TRB (1998), "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Transportation Research Record & "Metric Analysis Reference Guide", Supplement to 1997 Update of Special Report 209 Highway Capacity Manual, Transportation Research Circular 489 (1997).
- TRL (1999), "Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption-MEET", European Commission, ST-96-SC.204, pp. 362.

- Vlieger I.D., Keukeleere D.D. & Kretzschmar J.G. (2000), "Environmental Effects of Driving Behaviour and Congestion Related to Passenger Cars", *Atmospheric Environment* 34 (2000), pp. 4649-4655.
- Vogt A. & Bared J.G. (1998), "Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections", Publication No. FHWA-RD-98-133, October 1998.
- Wang J., Warren H.E. & Stewart R. (1997), "Safety Effects of Cross-section Design on Rural Multi-lane Highways", FHWA, HSIS, Publication No. FHWA-RD-97-027.
- Watanatada T. (1981). "Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM): Model description and user's manual – Release II". Transportation, Water and Telecommunications Department Report, the World Bank, Washington, D.C.
- Wilburn D.R. & Goonan T.G. (1998), "Aggregates from Natural and Recycled Sources: Economic Assessments for Construction Applications-A Materials Flow Analysis", U.S. Geological Survey Circular 1176, pp.37.
- World Bank (1994). "Roads and the Environment: A Handbook", World Bank-SETRA, TWU Report 13, Washington D.C.
- Γρεβενιώτη Ε. (2006). "Ανάπτυξη Μοντέλου Υπολογισμού του Κόστους του Χρήστη του Οδικού Δικτύου στην Ελλάδα", Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης, Εργαστήριο Συγκοινωνιακών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Καυκάς Γ. και Ασκούνης Ν. (2001). "Καταγραφή και Αξιολόγηση Στοιχείων Φθορών Οδοστρωμάτων", Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Συγκοινωνιακών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Κορρές Γ. και Χασιακός Α. (2003). "Οικονομική Τεχνικών Έργων", Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Βιβλίο για το Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Διαχείριση Τεχνικών Έργων».
- Νικολαΐδης, Α. (1996). "Οδοποιία Οδοστρώματα – Υλικά Έλεγχος Ποιότητας." Εκδόσεις Μ. Τριανταφύλλου & Σία, Πρώτη έκδοση, Θεσσαλονίκη.
- Παναγολιά, Χ.Π. (2003). «Ανάπτυξη συστήματος στήριξης αποφάσεων συντήρησης οδικού δικτύου με στόχο τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας», Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Προφυλλίδης Β.(2001), "Οικονομική των Μεταφορών", Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Τσώχος Γ.Χ. (1997), "Περιβαλλοντική Οδοποιία", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.