

# Καινοτόμες πρακτικές για φιλικότερες προς το περιβάλλον οδικές υποδομές

## Innovations for environmentally friendlier road infrastructure

**ΜΠΟΥΝΤΟΛΟΥ Μ.**, Πολιτικός Μηχανικός, MSc Συγκοινωνιολόγος Α.Π.Θ.

**ΗΛΙΟΥ Ν.**, Πολιτικός Μηχανικός, Αναπλ. Καθηγητής, Π.Θ.

**ΗΛΙΑΔΟΥ Ε.**, Πολιτικός Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ, Π.Θ.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια συγκεντρωτικής παρουσίασης των καινοτόμων πρακτικών ανά τον κόσμο για φιλικότερες προς το περιβάλλον οδικές υποδομές, δηλαδή των βιώσιμων και καινοτόμων πρακτικών σχεδιασμού, κατασκευής και διαχείρισης της οδικής υποδομής με γνώμονα το περιβάλλον. Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας είναι αφενός η παρουσίαση των περιβαλλοντικών καινοτομιών στον τομέα των οδικών υποδομών και αφετέρου η ανάδειξη της ανάγκης για τη θεσμοθέτηση ενός οργανωμένου συστήματος περιβαλλοντικής αξιολόγησης "green rating system" στα στάδια σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας των οδικών υποδομών.

**ABSTRACT :** An overall presentation of the innovative practices around the world for environmentally friendly road infrastructure is attempted in this paper and more specifically the sustainable and innovative practices in design, construction and management of road infrastructure with an environmental perspective. The main objective of this paper is on one hand the presentation of environmental innovation in road infrastructure and on the other to underline the need for the establishment of an organized system for environmental assessment "green rating system" in the stages of planning construction and operation of the road infrastructure.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1. Η ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων πρακτικών φιλικών προς το περιβάλλον στην Ευρώπη

Οι επενδύσεις στις οδικές υποδομές έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις όχι μόνο στο σύστημα οδικών μεταφορών αλλά και σε ευρύτερα συστήματα όπως το περιβάλλον, η οικονομία και η κοινωνία, συστήματα με τα οποία οι οδικές υποδομές αλληλεπιδρούν (U.S. Department of Transportation, 2011).

Οι οδικές υποδομές αποτελούν το επίκεντρο της περιφερειακής ανταγωνιστικότητας, αλλά εξαρτώνται από τον κατασκευαστικό τομέα, ο οποίος δεν είναι καινοτόμος, λόγω της υψηλής και μακροπρόθεσμης επένδυσης που απαιτείται και της απουσίας της καταναλωτικής αγοράς, που θα μπορούσε να ωθήσει προς καινοτόμα

προϊόντα, ενώ ταυτόχρονα είναι δύσκολο να βρεθούν πηγές χρηματοδότησης της καινοτομίας.

Από την άλλη πλευρά η καινοτομία στον εν λόγω τομέα είναι επειγόντως αναγκαία και μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω της βέλτιστης χρήσης των διαθέσιμων μέσων και μέσω μιας δυναμικής συνεργασίας των εμπλεκόμενων φορέων (European Commission - IP/08/1119, 2008).

Η κοινωνική απαίτηση για καθαρότερες, λιγότερο θορυβώδεις και πιο αποδοτικές ενεργειακά οδικές μεταφορές, με ελάχιστες επιπτώσεις στην κοινωνία και το περιβάλλον, θέτει την πρόκληση της γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ αυτών των αντικρουόμενων αναγκών σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας που ασχολούνται με τις οδικές μεταφορές. Μέσω του σχεδιασμού, της κατασκευής και της χρήσης των

υλικών, οι αρμόδιοι φορείς μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον (πράσινων) υποδομών (NR2C, 2008).

## 1.2. Τι συμβαίνει σε Ευρώπη και Αμερική

Όσον αφορά την Ευρώπη, τα νέα κράτη μέλη εξακολουθούν να έχουν ανεπαρκείς, μη ποιοτικές συνδέσεις, παλιές και κακοσυντηρημένες υποδομές. Τα δυτικά Ευρωπαϊκά πρότυπα επέκτασης της υποδομής, οδικής ασφάλειας και περιβαλλοντικής προστασίας χρειάζεται να εφαρμοστούν γρήγορα ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ΕΕ για συνοχή. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας Οδών (European Road Federation – ERF), η μέση πυκνότητα των αυτοκινητοδρόμων στις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης είναι 6,3 φορές μικρότερη από ό, τι στις δυτικές χώρες της ΕΕ και 14.000 χιλιόμετρα νέων αυτοκινητοδρόμων θα πρέπει να κατασκευαστούν μέχρι το 2018 μόνο και μόνο για να παρέχονται παρόμοια επίπεδα πρόσβασης δικτύων στους πολίτες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Commission - EUR 23349, 2008).

Η Ε.Ε. έχει επενδύσει σε προγράμματα όπως το NR2C για την αναζήτηση καινοτομιών για την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον οδικών υποδομών με ανακυκλωμένα υλικά χαμηλού κόστους και υψηλών επιδόσεων, περιβαλλοντικά βελτιστοποιημένες τεχνικές συντήρησης και τεχνικών μείωσης του θορύβου και της καταναλούμενης ενέργειας (NR2C, 2008).

Οι υποδομές της Αμερικής είναι επί του παρόντος συμφορημένες σε μια κατάσταση περιορισμένης λειτουργικότητας. Η εξάντληση των κεφαλαίων έχει προκαλέσει την ανησυχία πολλών κρατικών και ομοσπονδιακών υπηρεσιών των μεταφορών για το μέλλον των αμερικανικών οδικών υποδομών.

Οι «Πράσινοι αυτοκινητόδρομοι» είναι ένα σύστημα οδικών υποδομών που θα μετριάσουν τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι πράσινοι αυτοκινητόδρομοι περιλαμβάνουν βιώσιμες πρακτικές και στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του αυτοκινητόδρομου. Οι πράσινες τεχνικές κατασκευής του αυτοκινητόδρομου περιλαμβάνουν τη χρήση ανακυκλωμένων υλικών, τη διαχείριση οικοσυστημάτων, τη μείωση της ενέργειας, την αύξηση της ποιότητας των υδάτων λόγω επιφανειακής

απορροής όμβριων υδάτων και τη μεγιστοποίηση συνολικών κοινωνικών ωφελειών.

Η ανάγκη ποσοτικού προσδιορισμού της βιωσιμότητας των αυτοκινητόδρομων έχει προταθεί από διάφορους οργανισμούς καθώς και από πολλούς ιδιώτες. Τα κριτήρια περιβαλλοντικής αξιολόγησης θα αποτελέσουν τη βάση ενός πράσινου συστήματος αξιολόγησης αυτοκινητόδρομων. Απαραίτητη καθ' όλη τη σχεδίαση του συστήματος είναι η ανάπτυξη ενός δυναμικού συστήματος που μπορεί να μεταβληθεί ώστε να συμπεριλάβει μελλοντικές τεχνολογίες. (Bryce J. M., 2008)

## 2. ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

Οι μηχανικοί σχεδιασμού οδικής υποδομής είναι υπεύθυνοι για να διασφαλίζουν λύσεις που μπορούν προσεκτικά να ενσωματωθούν στο περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα να εξασφαλίζουν τη μεγιστοποίηση των οικονομικών και κοινωνικών ωφελειών. Ο σχεδιασμός με τον τρόπο αυτό απαιτεί μια δημιουργική και καινοτόμο προσέγγιση (Giles R. κ.α., 2010)

Παραδείγματα σχεδιασμού και εργαλείων ανάλυσης που στοχεύουν στη βιωσιμότητα των οδικών υποδομών περιλαμβάνουν εκτιμήσεις των επιπτώσεων των έργων υποδομής στην υγεία, στις χρήσεις γης, στα οικοσυστήματα, δράσεις για την κλιματική αλλαγή, συστήματα περιβαλλοντικής αξιολόγησης και άλλα (U.S. Department of Transportation, 2011). Στη συνέχεια αναπτύσσονται κάποιες μόνο από τις καινοτόμες πρακτικές σχεδιασμού που αφορούν στην αντιμετώπιση του κατακερματισμού των βιοτόπων (habitat fragmentation) και σε συστήματα περιβαλλοντικής αξιολόγησης.

### 2.1. Κατακερματισμός των Βιοτόπων

Η ανάγκη για υγιή οικοσυστήματα είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη, όχι μόνο για να διακοπεί η απώλεια της βιοποικιλότητας, αλλά και για τη διάσωση των πολύτιμων υπηρεσιών που προσφέρουν. Ένας θεμελιώδης όρος για την υγεία των οικοσυστημάτων είναι η διατήρηση της οικολογικής συνεκτικότητας. Ωστόσο, οι βιότοποι σε όλη την Ευρώπη φράσσονται με αυξανόμενο ρυθμό. Πολλές πρωτοβουλίες έχουν ληφθεί ήδη για την προσέγγιση αυτού

του ζητήματος, αλλά δεδομένης της κλίμακας του φαινομένου η Ευρωπαϊκή Ένωση επιζητά την εκκίνηση μιας συντονισμένης προσπάθειας για να κατασκευάσει πράσινες υποδομές για την Ευρώπη (DG Environment, 2010).

Κατά την ανάπτυξη νέων οδικών υποδομών, η εύρεση της βέλτιστης χάραξης στο περιβάλλον μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα προβλήματα και την ανάγκη για έργα άμβλυνσης των προβλημάτων αυτών. Σε αυτό συμβάλει η διενέργεια Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΕΙΑ) και Στρατηγικής Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης (SEA) (CORDIS, 2003). Για τα υφιστάμενα έργα υποδομής, η περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να εξομαλυνθούν με αλλαγές στο σχεδιασμό που αφορούν στη φύτευση των πρανών και τις διαβάσεις της πανίδας (ERF, 2009).

Παράδειγμα καινοτόμας εφαρμογής για την αντιμετώπιση του κατακερματισμού των βιοτόπων είναι η «πράσινη γέφυρα» που προτείνει η νικήτρια ομάδα HNTB & MVVA του διεθνούς διαγωνισμού σχεδίασης διαβάσεων για την άγρια φύση, που πραγματοποιήθηκε στην Αμερική για τον οδικό Άξονα I-70 στο «West Vail Pass» του Κολοράντο.



Σχήμα 1. «Πράσινη Γέφυρα» για την άγρια φύση

Figure 1. Wildlife Crossing

## 2.2. Συστήματα περιβαλλοντικής Αξιολόγησης

Στην Αμερική οι αρμόδιες αρχές των μεταφορών των πολιτειών της συμβάλλουν στη διαμόρφωση ή ηγούνται αρκετών πρωτοβουλιών για την υλοποίηση πράσινων προδιαγραφών για τις οδικές υποδομές. Οι πράσινες υποδομές είναι ένα σημαντικό επίπεδο για την προώθηση της βιωσιμότητας. Οι πράσινες προδιαγραφές έχουν στόχο την ενεργοποίηση του καινοτόμου και του βιώσιμου σχεδιασμού, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη βελτίωση της εικόνας της βιομηχανίας οδοποιίας (U.S. Department of Transportation, 2011).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η λίστα με τα συστήματα περιβαλλοντικής αξιολόγησης όπως αυτά έχουν διαμορφωθεί έως το 2011.

Πίνακας 1. Συστήματα Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης Οδικών Υποδομών  
Table 1. Green Rating Systems of Road Infrastructure

Φορέας	Σύστημα	Περιγραφή
Τμήμα Μεταφορών Νέας Υόρκης	GreenLITES	Το σύστημα που ολοκληρώθηκε πρώτο, εφαρμόστηκε αρχικά σε έργα για την αναγνώριση των βιώσιμων πρακτικών, ενθαρρύνει την καινοτομία και αναγνωρίζει περιθώρια για βελτίωση <a href="http://www.nysdot.gov/programs/greenlites">www.nysdot.gov/programs/greenlites</a>
Πρωτοβουλία Δημοσίου/ Ιδιωτών με την υποστήριξη των EPA, FHWA, Maryland DOT	Green Highways Partnership (GHP)	Εθελοντική συμμετοχή για την ανταλλαγή πληροφοριών και την παροχή καθοδήγησης για την ανάπτυξη πιο βιώσιμων αυτ/μων <a href="http://www.greenhighways.org/index.cfm">www.greenhighways.org/index.cfm</a>
Πανεπιστήμιο της Washington, CH2M Hill, WSDOT	Greenroads	Σύστημα αξιολόγησης βιωσιμότητας για αυτ/μους που περιλαμβάνει 76 κριτήρια σε 7 κατηγορίες, με 11 προαπαιτούμενα κριτήρια <a href="http://www.greenroads.us/">www.greenroads.us/</a>
Πανεπιστήμιο του Wisconsin με το Wisconsin DOT	BE2ST rating system	Είναι μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί ποιοτικά μέτρα για να αξιολογήσει τις οδικές υποδομές.
Lochner Engineering	Sustainable Transportation Environmental Engineering and Design (STEED)	Λίστα ελέγχου (checklist) για βιώσιμα έργα οδικής υποδομής που εφαρμόζεται κατά το σχεδιασμό, την περιβαλλοντική αξιολόγηση και τη φάση κατασκευής <a href="http://www.hwlochner.com/Company/Pages/Steed.aspx">www.hwlochner.com/Company/Pages/Steed.aspx</a>
Ομάδα Δημοσίου/ Ιδιωτών από Oregon και Washington	Sustainable Transportation Access Rating System (STARS)	Σύστημα αξιολόγησης για έργα υποδομών, σχέδια και προγράμματα υπό ανάπτυξη

### 3. ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή και αναβάθμιση των οδικών υποδομών θα πρέπει να αποτελεί μια ευκαιρία για τον έλεγχο και τον επανασχεδιασμό της διαχείρισης των υδάτων ώστε να προστατεύονται οι υπόγειοι ταμιευτήρες, οι υδροβιότοποι και οι ποταμοί και ταυτόχρονα να μειώνεται ο κίνδυνος πλημμυρών. Στις οδικές υποδομές υπάρχουν πολλές πιθανές πηγές ρύπανσης των παρακείμενων πόρων νερού. Υπάρχει όμως πληθώρα μέτρων εξομάλυνσης όπως η καλά σχεδιασμένες επιφάνειες και η πρόβλεψη για επαρκή αποστράγγιση για την απομάκρυνση του μολυσμένου νερού.

Σημαντική παράμετρο αποτελεί και η χρήση ανακυκλωμένων και περιβαλλοντικά φιλικών υλικών κατασκευής που είναι ταυτόχρονα και οικονομική λύση. Ενώ η επαναχρησιμοποίηση

υλικών οδοποιίας ή άλλων βιομηχανιών είναι εφικτή σε αρκετές περιπτώσεις. Τέλος ιδιαίτερης σημασίας είναι και η αποκατάσταση του τοπίου κατά τη φάση κατασκευής των οδικών υποδομών. Τα φιλικά προς το τοπίο έργα οδικής υποδομής πρέπει να ικανοποιούν τρεις συνθήκες. Πρώτον να πρέπει να διατηρούν την αισθητική του τοπίου, να εντάσσονται ομαλά στο φυσικό τοπίο και να παρέχουν υπηρεσίες με υψηλό επίπεδο ασφάλειας (ERF, 2009).

Οι καινοτομίες στη δομή των έργων οδικής υποδομής σχετίζονται ξεκάθαρα με την καινοτομία των υλικών που χρησιμοποιούνται. Σχετίζονται επίσης με το σχεδιασμό, τα επιφανειακά χαρακτηριστικά, τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος και την ασφάλεια (NR2C, 2008).

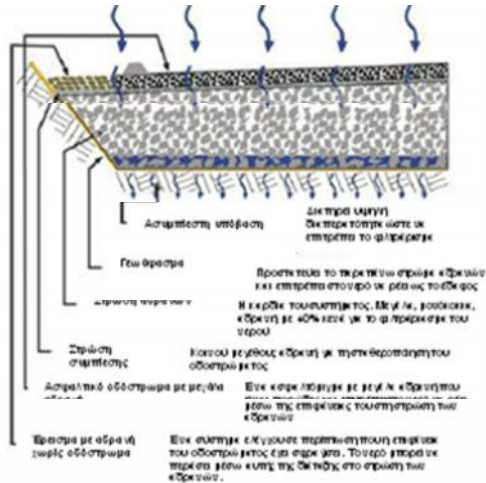
Στη συνέχεια αναπτύσσονται καινοτόμες πρακτικές κατασκευής για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των υδάτων και του εδάφους και

της κατανάλωσης των φυσικών πόρων, με το ενδιαφέρον να επικεντρώνεται κυρίως στην επιλογή των υλικών και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών.

### 3.1. Διαχείριση των υδάτων απορροής

Μια καινοτόμα πρακτική αποφυγής της ρύπανσης των πόρων νερού από την απορροή των οδικών υποδομών αποτελεί η χρήση ειδικών φίλτρων αφρού που τοποθετούνται στα φρεάτια των οδοστρωμάτων, ώστε να συγκρατούν βαρέα μέταλλα, έλαια, λίπη, υδρογονάνθρακες και μικροοργανισμούς που τυχόν περιέχονται στα απορρέοντα ύδατα (IRF, 2009).

Μια άλλη καινοτόμα εφαρμογή για την διαχείριση των υδάτων απορροής είναι η χρήση διαπερατού οδοστρώματος (είτε από διαπερατό σκυρόδεμα, ή πορώδες ασφαλτόμιγμα), καθώς η απομάκρυνση των υδάτων απορροής δεν αποτελεί μόνο θέμα ασφάλειας αλλά και περιβαλλοντική ανάγκη, αφού το νερό που συγκεντρώνεται από σύστημα αποστράγγισης σε ειδικούς ταμειυτήρες εξασφαλίζει ότι το μολυσμένο νερό δεν θα έρθει σε άμεση επαφή με το έδαφος (ERF,2009)



Εικόνα 2. Τομή πορώδους οδοστρώματος  
Figure 2. Pervious Pavement

### 3.2. Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών

Σήμερα κάθε κατασκευαστικό έργο πρέπει να συμπεριλάβει μια ειδική μελέτη σχετικά με τη χρήση των απορριπτέων υλικών καθώς υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες τεχνικές για την αξιοποίησή τους, ώστε να γίνεται ταυτόχρονα

συνετή χρήση των φυσικών πόρων. Κάποιες λύσεις κάνουν εφικτή τη χρήση κατεστραμμένων τμημάτων της επιφάνειας οδοστρωμάτων, μπαζών και απορριπτέων υλικών από την κατασκευή ή από άλλες δραστηριότητες, ακόμη και υποπροϊόντων (τα οποία σε άλλη περίπτωση θα δε θα χρησιμοποιούνταν) μειώνοντας έτσι τις ανάγκες σε χωματισμούς. Η χρήση των ελαστικών στην παρασκευή ασφαλτομιγμάτων για την κατασκευή οδοστρωμάτων είναι επίσης μια σημαντική τεχνική, καθώς πέρα από τις θετικές ιδιότητες που προσφέρει στο οδόστρωμα (μείωση του θορύβου, αύξηση της πρόσφυσης και του χρόνου καλής λειτουργίας του οδοστρώματος) μειώνει και την απόθεση άχρηστων υλικών στο περιβάλλον. Στην ίδια κατηγορία ανήκει και η τέφρα καθώς και άλλα υλικά που αξιοποιούνται με τον ίδιο τρόπο.

Τα ανακυκλωμένα και περιβαλλοντικά φιλικά υλικά έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου από τα οχήματα. Πολλές έρευνες πραγματοποιούνται την ανάλυση της κατανάλωσης σε συνάρτηση με τις οδικές υποδομές. Κάποιες από αυτές υποστηρίζουν πως μια σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου είναι εφικτή με την κατασκευή ομαλής επιφάνειας οδοστρώματος (ERF, 2009).



Εικόνα 3. Περιπτώσεις ανακυκλωμένων ασφαλτοστρωμάτων  
Figure 3. Cases of recycled asphalt pavement

### 3.3. Νέες τεχνολογίες

Μια νέα σχετικά τεχνολογία στην κατασκευή οδοστρωμάτων με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και ταυτόχρονα πρακτική εφαρμογή σε έργα υποδομής είναι η χρήση ηλιακού συλλέκτη στην ασφαλτική στρώση των οδοστρωμάτων.

Η τεχνολογία αυτή αφορά σε εγκιβωτισμό



συστήματος ηλιακού συλλέκτη στην επιφανειακή στρώση του οδοστρώματος με διπλό όφελος. Πρώτον τους θερινούς μήνες μειώνει τη θερμοκρασία του οδοστρώματος, μειώνοντας την δημιουργία αυλακώσεων και μικροκλίματος και δεύτερον κατά το χειμώνα συμβάλει στον αποχιονισμό με τη θέρμανση του οδοστρώματος και την αποφυγή της ρύπανσης του γειτνιάζοντος εδάφους από το αλάτι.

Πέρα από αυτό η περίσσεια ενέργειας μπορεί να διοχετευθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οδού και των εγκαταστάσεων της. Η πρωτοπόρος χώρα αυτής της τεχνολογίας είναι η Ολλανδία (Εικόνα 3.) (Loomans κ.α., 2003).

Ενώ επίσης στις νέες τεχνολογίες συγκαταλέγεται και η προσπάθεια μείωσης της θερμοκρασίας των ασφαλτιμιγμάτων και παραγωγή των ονομαζόμενων «θερμών ασφαλτομιγμάτων» ή αλλιώς warm asphalt mixes. Η μείωση της θερμοκρασίας του ασφαλτομίγματος δεν συμβάλλει μόνο στη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας, αλλά και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν περισσότερες από 15 πατενταρισμένες τεχνολογίες μιγμάτων χαμηλής θερμοκρασίας ασφαλτομίγματος σε Ευρώπη και Αμερική. Ενώ το Πρωτόκολλο του Κιότο έδωσε ώθηση και στην έρευνα άλλων τεχνολογιών με ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες όπως το μίγμα ψυχρής ασφάλτου (cold mix asphalt) και το μίγμα τύπου half-warm mix asphalt (Gopalakrishnan, 2011).



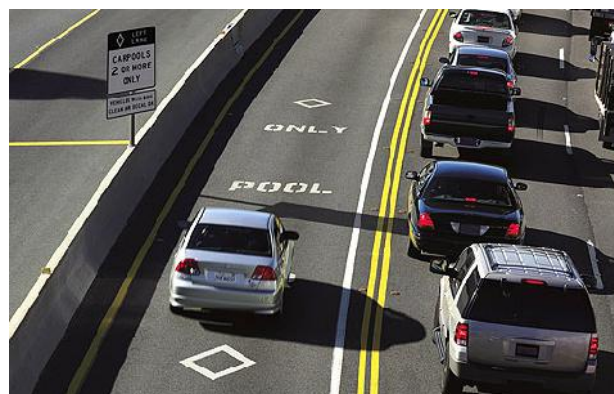
Εικόνα 4. Σύστημα ηλιακού συλλέκτη σε σε γέφυρα στο Rotterdam, Ολλανδία.  
Figure 4. Asphalt solar collector on a bridge in Rotterdam, Netherlands.

#### 4. ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Παρά τη μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη περιβαλλοντικά βιώσιμων υλικών οδοστρώματος περισσότερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην υλοποίηση των διαφόρων περιβαλλοντικά βιώσιμων στρατηγικών στο στάδιο της λειτουργίας των οδικών υποδομών ώστε να αναπτυχθούν μελλοντικά καλύτερα συστήματα μεταφοράς. Στη συνέχεια αναπτύσσονται καινοτόμες πρακτικές λειτουργίας και συντήρησης για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της ηχορρύπανσης και της κατανάλωσης ενέργειας.

##### 4.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι λωρίδες Οχημάτων Υψηλής Πλήρωσης (HOV - High Occupation Vehicle) είναι λωρίδες κυκλοφορίας που έχουν σχεδιαστεί για χρήση από τα οχήματα με καθορισμένη ελάχιστη πληρότητα. Έχουν χρησιμοποιηθεί ως μια βιώσιμη εκμετάλλευση της κυκλοφορίας στην Καλιφόρνια και το Τέξας σε μια προσπάθεια να μειωθεί η οδική συμφόρηση και ως εκ τούτου να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμων και να βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα. Η εφαρμογή των λωρίδων HOV έδειξε μια αύξηση του carpooling με αποτέλεσμα μείωση των εκπομπών και επομένως της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. (Zhou Y. κ.α., 2010)



Εικόνα 5. Λωρίδες Οχημάτων Υψηλής Πλήρωσης  
Figure 5. High Occupation Vehicle lines

##### 4.2. Ηχορρύπανση

Η περιβαλλοντικές μελέτες των νέων έργων συμπεριλαμβάνουν τον περιβαλλοντικό θόρυβο στα κριτήρια σχεδιασμού, κάτι που

αποδεικνύει την αναγνώριση του θορύβου ως κύρια όχληση. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο 2002/49/EC ώθησε τα κράτη μέλη να διαμορφώσουν σχέδια δράσης για την αντιμετώπισή του. Ωστόσο η υλοποίηση αναποτελεσματικών λύσεων από τα κράτη μέλη δεν επικυρώνει την επιτυχία του μέτρου.

Σε τοπικό επίπεδο, οι προσεγγίσεις διαφέρουν ελαφρά από χώρα σε χώρα. Γενικά όμως οι πρακτικές περιλαμβάνουν, όσον αφορά στις οδικές υποδομές, τη χρήση «ήσυχων» οδοστρωμάτων και την τοποθέτηση ηχοπετασμάτων (ERF, 2009).

Τα οδοστρώματα που παράγουν θόρυβο κάτω από 104 dBA μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς ως «ήσυχα» οδοστρώματα, ενώ τα πιο αθόρυβα δύσκαμπτα οδοστρώματα παράγουν επίπεδα θορύβου που κυμαίνονται από 99 έως 101 dBA. Καθώς όμως οι ιδιότητες τους μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ακουστική μακροβιότητα των επιφανειών των οδοστρωμάτων (American Concrete Pavement Association, 2009).

Οι ιδιότητες της επιφάνειας των οδοστρωμάτων που σχετίζονται με το θόρυβο είναι με φθίνουσα σειρά η μακροϋφή, η μικροϋφή, το πορώδες και η σχετική δυσκαμψία τόσο του οδοστρώματος όσο και των ελαστικών. Έτσι εύκαμπτα και δύσκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να κατασκευαστούν με αντιθορυβώδεις ιδιότητες και να πετύχουν το ίδιο επίπεδο κόστους – αποτελεσματικότητας, διάρκειας και ασφάλειας (Gopalakrishnan, 2011).

Παραδείγματα των πιο «ήσυχων» εύκαμπτων και δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι αντίστοιχα το πορώδες ασφαλτόμιγμα με προσθήκη ανακυκλωμένων ελαστικών και πολυμερών και το νέας γενιάς οδοστρώμα επιφάνειας σκυροδέματος που τοποθετήθηκε στον οδικό άξονα I-82, κοντά στο Sunnyside της Washington (Washington State Department of Transportation, 2011).



Εικόνα 6. «Ήσυχο» δύσκαμπτο οδοστρώμα νέας γενιάς  
Figure 6. Next generation quite concrete pavement.

#### 4.3. Κατανάλωση ενέργειας

Οι μικροπρισματικές ανακλαστικές πινακίδες χρησιμοποιούν μια καινοτόμο διαδικασία που ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μειώνει τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων κατά 97%. Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας είναι λιγότερη κατά 77%, και η παράγωγή στερεών απόβλητων μικρότερη κατά 46% σε σύγκριση με τις παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής ανάγλυφων ανακλαστικών σημάτων.

Τα οφέλη για τους τελικούς χρήστες όσο και για το περιβάλλον μπορεί να αποδειχθούν μέσα από τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων του Υπουργείου Μεταφορών του Ιλινόις (IDOT). Ο οργανισμός έχει αρχίσει να αντικαθιστά τις πινακίδες σε όλο το οδικό δίκτυο με τις υψηλών επιδόσεων πινακίδες για την βελτίωση της ορατότητας. Όταν το σχέδιο ολοκληρωθεί θα έχει εξοικονομηθεί μέχρι και ένα εκατ. δολάρια ετησίως σε συντήρηση και κόστος ενέργειας.

Εκφραζόμενη σε όρους ενδεχόμενης θέρμανσης του πλανήτη (GWP), η συνολική μείωση που επιτυγχάνεται από τις νέες γενιές προϊόντων σε σύγκριση με τα προηγούμενα είναι περίπου 60%. Η μείωση της ζήτησης για αλουμίνιο, υλικό των πινακίδων μεταβλητού μηνύματος (VMS) έχει βελτιώσει σημαντικά τα αποτελέσματα, καθώς ανασχεδιασμός των VMS θα οδηγήσει σε μείωση 25,5 τόνων εκπομπών CO<sub>2</sub> σε όλο το 10-ετή κύκλο ζωής τους (IRF, 2009).



Εικόνα 7. Πινακίδες με αυξημένη αντανάκλαση  
Figure 7. High reflection traffic signs

Και οι διαγραμμίσεις των οδών όμως σήμερα είναι λιγότερο ρυπογόνες. (ERF, 2009).

Επιπρόσθετα, χώρες με έντονες χιονοπτώσεις όπως η Σουηδία, έχουν αναπτύξει πρακτικές οργάνωσης των αποχιονοστικών εργασιών τους με βάση το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφόρησης και έχουν εκκινήσει τη διαδικασία αντικατάστασης του απαιτούμενου εξοπλισμού με ελαφρύτερου τύπου, ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας.

Μια ακόμη πρωτοποριακή δράση στον τομέα της ενεργειακής κατανάλωσης των οδικών υποδομών είναι η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ κατά μήκος των οδικών αξόνων για την παραγωγή ενέργειας που θα τροφοδοτεί το φωτισμό του άξονα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ένα τέτοιο έργο έχει υλοποιηθεί ήδη από το 2008 στο Όρεγον των ΗΠΑ, όπου 594 ηλιακοί συλλέκτες παράγουν περίπου 112.000 kilowatt hours ετησίως, για να παρέχουν ενέργεια για το νυχτερινό φωτισμό κόμβου. Ενώ παρόμοιο έργο είχε υλοποιηθεί στη Γερμανία από το 2006 και πλέον παράγει 2,8 megawatt. (Oregon Department of Transportation, 2009)



Εικόνα 8. Ηλιακοί συλλέκτες παράπλευρα του αυτοκινητοδρόμου στο Όρεγον  
Figure 8. Solar Highways at Oregon

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι καινοτομίες στο χώρο των οδικών υποδομών δεν περιορίζονται φυσικά σε αυτές που αναφέρονται στην συγκεκριμένη εργασία. Ζητούμενο είναι η ανάδειξη της ύπαρξης ερευνητικής δραστηριότητας καθώς και της πρακτικής εφαρμογής των καινοτόμων τεχνολογιών και εργαλείων στο στάδιο του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας των οδικών υποδομών, που προωθούν την πράσινη ανάπτυξή τους.

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρούν οι καινοτομίες ώστε να οδηγούν σε φιλικές προς το περιβάλλον οδικές υποδομές συνοψίζονται στα εξής:

- Να οδηγούν σε αυξημένη συνδεσιμότητα των περιβαλλοντικών λειτουργιών
- Να ξεπερνούν τις ελάχιστες προδιαγραφές που θέτουν οι περιβαλλοντικοί νόμοι και κανονισμοί.
- Να συμβάλλουν στην αναγνώριση, αποφυγή και προστασία των κρίσιμων περιβαλλοντικά περιοχών.
- Να χρησιμοποιούν καινοτόμες, φυσικές μεθόδους για να προστατεύσουν την ποιότητα των υδάτινων πόρων.
- Να χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα υλικά και να μειώνουν την απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή των υποδομών.
- Να προστατεύουν την υδρολογία των υδροβιότοπων και των ποταμών μέσω της αποκατάστασης των φυσικών ροών.
- Και τέλος να ενισχύουν την έξυπνη ανάπτυξη με την ταυτόχρονη τήρηση των περιβαλλοντικών περιορισμών. (Green Highways Partnership, 2009).



## 6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

American Concrete Pavement Association (2009), "Transportation Noise and Concrete Pavements", Illinois

Bryce J. M. (2008), "Developing Sustainable Transportation Infrastructure", University of Missouri, ASTM WISE Intern

CORDIS (2003), "COST 341 – Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure", Netherlands

DG Environment (2010), "LIFE building up Europe's green infrastructure", Luxembourg

ERF (2009), "Sustainable roads and optimal mobility", Brussels

European Commission (2008) EUR 23349, "Road Infrastructures - The backbone of transport system", Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

European Commission (2008), IP/08/1119, "Πρασίניσμα των μεταφορών: νέα δέσμη μέτρων της Επιτροπής για να οδηγηθεί η αγορά προς την αειφορία", Βρυξέλλες

Giles R., Golbek S., Sullivan A., Wood J. (2010), "Ecology and Transportation: The I-90 Snoqualmie Pass East Project's Design Engineering Challenges of Integrating Transportation Needs with Landscape-Level Connectivity and Transportation Corridor Crossing Objectives", TRB 2010 Annual Meeting

Green Highways Partnership (2009), "Sustainability Standards", WAPA Annual Conference, Middleton, Wisconsin

IRF (2009), Innovative Practices for Greener Roads", Geneva

Kasthurirangan Gopalakrishnan (2011), "Sustainable Highways, Pavements and Materials - An Introduction", Published by Transdependenz LLC, United States of America

Loomans, Oversloot, De Bondt, Jansen, van Rij (2003), "Design tool for thermal energy potential of asphalt pavements", 8<sup>th</sup> International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands

NR2C (2008), "New Road Construction Concepts - Towards reliable, green, safe & smart and human infrastructure in Europe", Sweden

Oregon Department of Transportation (2009), "Oregon Solar Highway", USA

U.S. Department of Transportation (2011), "Transportation Planning for Sustainability Guidebook", Atlanta, USA

Washington State Department of Transportation (2011), "Evaluation of Long-Term Pavement Performance and Noise Characteristics of the Next Generation Concrete Surface", Washington

Zhou Yan, Tupper Lee, Chowdhury Mashrur and Klotz Leidy (2010), "Green Credits Vs. Environmentally Sustainable Traffic Operations: A Comparison of Contributions to Energy and Emissions Reductions", TRB 2010 Annual Meeting