

ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΡ. ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ

Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων

Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας

Τηλ. 2310998974 2310992725

E-mail: pxeskio@for.auth.gr

ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΡ. ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων, αποτελεί μία διαδικασία απαραίτητη για όσους ασχολούνται με έργα Οδοποιίας. Με την αξιολόγηση αυτή, υπολογίζεται η λειτουργικότητα του οδοστρώματος ώστε να γνωρίζουμε πότε θα πρέπει να αρχίζουν οι εργασίες συντήρησης. Επειδή ο βαθμός της συντήρησης είναι καθοριστικός για την λειτουργία του δρόμου, θα πρέπει η αξιολόγηση να γίνεται με επιστημονικές μεθόδους απόλυτα διαγνωστικές και όχι καταστροφικές. Στην εργασία αυτή, βιβλιογραφικά περιγράφεται μία μέθοδος αυτή της υπέρυθρης θερμογραφίας όπως την παρουσιάζουν Έλληνες ερευνητές . Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε και πιστοποιήθηκε στις Η.Π.Α.(D4788 της ASTM) , ενώ στη χώρα μας χρησιμοποιήθηκε όχι μόνο σε αξιολόγηση οδοστρωμάτων, αλλά και σε διαδρόμους αεροδρομίων. Με τη μέθοδο αυτή δημιουργούνται θερμογραφήματα και ιστογράμματα στα οποία εντοπίζονται και καταγράφονται βλάβες των οδοστρωμάτων που δεν είναι ορατές δια γυμνού οφθαλμού. Επίσης καταγράφεται και το ποσοστό της ελαττωματικής περιοχής στο σύνολο της εξεταζόμενης πειραματικής επιφάνειας.

Με τη χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας μειώνεται ο χρόνος έρευνας και εξαγωγής αποτελεσμάτων, απαιτείται λιγότερο ανθρώπινο δυναμικό και εργαστηριακός εξοπλισμός, ενώ το μοναδικό μειονέκτημα της , αυτό της αδυναμίας να υπολογιστεί το βάθος της βλάβης, επιλύεται με τη χρήση γεωραντάρ (RAMAC GPR) .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επειδή η κατασκευή και η συντήρηση των οδοστρωμάτων είναι έργα που απαιτούν μεγάλες δαπάνες, θα πρέπει να πραγματοποιούνται με βάση τη θεωρία κόστους οφέλους. Και ενώ η κατασκευή των δρόμων πετυχαίνεται με σύγχρονες μεθόδους, προδιαγραφές ή επίλυση νομογραφημάτων, η συντήρηση αντίθετα πραγματοποιείται εμπειρικά, και μόνο όταν αρχίσουν να παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα στην κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων και ανάλογα με το ύψος των διαθέσιμων κονδυλίων. Επιστημονικά όμως οι εργασίες της συντήρησης θα έπρεπε να αρχίζουν μόλις ο βαθμός P_i της λειτουργικότητας και εξυπηρέτησης των οδοστρωμάτων κατερχόταν στην τιμή $=1.5$, όταν η τιμή ενός καινούργιου και απόλυτα λειτουργικού οδοστρώματος έχει τιμή $P_i =5$.

Στο εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, την τελευταία δεκαετία, με τη βοήθεια της δοκού Benkelman , πραγματοποιήθηκαν πολλές έρευνες για την ενίσχυση και συντήρηση υφισταμένων οδοστρωμάτων , τόσο με συμβατικά υλικά όσο και με

παραπροϊόντα(Eskioğlu and Efthymiou,1996, Eskioğlu et al,1997, Εσκίογλου ,2001, Εσκίογλου,2002.) Οι έρευνες έδειξαν πότε ακριβώς πρέπει να πραγματοποιείται συντήρηση και τι βελτίωση πετυχαίνουμε με το κάθε υλικό. Βρέθηκε ότι το σκυρόστρωτο οδόστρωμα χρήζει συντήρησης όταν από αυτό μεταφέρονται ετησίως πάνω από 8000 m³ και η αντοχή του υπεδάφους είναι μικρότερη της τιμής CBR =2. Για όλα τα άλλα εδάφη η ανάγκη αυτή παρουσιάζεται όταν η μεταφερόμενη ποσότητα ξεπερνά τα 15000 m³ (Εσκίογλου, 2002).

Σήμερα όμως βρισκόμαστε μπροστά σε νέες προκλήσεις όσον αφορά τον υπολογισμό της λειτουργικότητας των οδοστρωμάτων και κατά συνέπεια για την χρονική στιγμή που πρέπει να συντηρήσουμε ένα δρόμο. Αυτές οι προκλήσεις ονομάζονται μη καταστροφικοί έλεγχοι ποιότητας οδοστρώματος.Ο υπογράφων εκλήθη να παρακολουθήσει μία επίδειξη μη καταστροφικής αξιολόγησης στην Εγνατία οδό σε επιλεγμένα σημεία του δρόμου και συγκεκριμένα στο τμήμα +21Km του τμήματος Δερβένι-Νυμφόπετρα και το αντίστοιχο της Παλαιάς Εθνικής Οδού στη θέση διασταύρωση Βασιλούδι-Αρδαμερίου. Για την ενημέρωση των δασολόγων που ασχολούνται με θέματα συντήρησης ασφαλτοστρωμένων (low-volume road) κρίθηκε αναγκαίο να εισαχθεί κάθε νέα τεχνολογία προς όφελος του χώρου της Δασικής Οδοποιίας . Παρακολουθώντας την βιβλιογραφία βρεθήκαμε ενώπιον μίας θεαματικής μεθόδου αξιολόγησης των οδοστρωμάτων αυτής της υπέρυθρης θερμογραφίας που ήδη με επιτυχία εφαρμόζεται εκτός από τους αυτοκινητόδρομους και σε διαδρόμους αεροδρομίων.

Αρχικά στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής , χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της θερμογραφίας και μετά τα πρώτα θετικά αποτελέσματα, κατοχυρώθηκε και έγινε Πρότυπη Τεχνική Προδιαγραφή (Π.Τ.Π. D 4788-88 της ASTM (82) - American Society for Testing & Materials) έτσι ώστε να πραγματοποιούνται έλεγχοι, αυτοκινητόδρομων και οδοστρωμάτων αεροδρομίων και να εξάγονται συμπεράσματα για την κατάσταση της ποιότητας και ασφάλειάς τους(Maser and Roddis, 1990). Στη χώρα μας υπέρυθρη θερμογραφία υψηλού μήκους κύματος (AVIO TVS 2000 Mk II LW, 8-12 μm), χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο ποιότητας των εξεταζόμενων οδοστρωμάτων αεροδρομίου στον Κρατικό Αερολιμένα Αθηνών (Moropoulou et al 2001) και ελήφθησαν πληροφορίες σχετικά με το βάθος των εντοπισμένων, από την τεχνική της θερμογραφίας, ατελειών - ρωγμών. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και αποστασιόμετρο τύπου laser (LTI 20-20 Ultralyte), έτσι ώστε να οριοθετηθούν οι προβληματικές – ελαττωματικές περιοχές που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια σάρωσης των οδοστρωμάτων. Επειδή όμως κατά την υπέρυθρη θερμογραφία δεν προσδιορίζεται με ακρίβεια η γεωμετρική διάσταση , δηλ. το βάθος που εκτείνεται η βλάβη του οδοστρώματος, χρησιμοποιείται το γεωραντάρ (RAMAC GPR) βάσει του προτύπου ASTM D6432 (γενικό πρότυπο εφαρμογής του γεωραντάρ για τον έλεγχο υποστρωμάτων Avdelidis et al, 2003).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε , στην δασική πράξη δεν εφαρμόστηκε η μέθοδος αυτή και επόμενο είναι για την ενημέρωση των Δασολόγων για το αν και κατά πόσο μπορεί να εφαρμοστεί στους ασφαλτοστρωμένους δρόμους χρησιμοποιήσαμε την ανάλογη βιβλιογραφία. Καταλήξαμε σε πολύ ενδιαφέρουσες εργασίες Ελλήνων ερευνητών που ασφαλώς χρήζουν μελέτης και στην τεχνική αυτή έκθεση θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα από τους ερευνητές (Μοροπούλου και Αβδελίδη). **Κάτι τέτοιο παρουσιάζεται στη συνέχεια και προέργεται από την εργασία των Ν.Αβδελίδη και Α. Μοροπούλου(2005)**

Κατά τη διαδικασία της σάρωσης με την τεχνική της θερμογραφίας, η εγκατάσταση της κάμερας του υπέρυθρου θερμογραφικού συστήματος πραγματοποιήθηκε δίνοντας μία ελαφρά κλίση (γωνία) ως προς το οδόστρωμα, επιτυγχάνοντας έτσι το καλλίτερο δυνατό αποτέλεσμα – ικανοποιητικό πεδίο βάθους, όσον αφορά στη γρηγορότερη και αποτελεσματικότερη σάρωση των οδοστρωμάτων.

Οι μετρήσεις στη μέθοδο αυτή πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε ήπιες κλιματολογικές συνθήκες, σε διάφορες εποχές του χρόνου και αξιολογούνται σύμφωνα με το πρότυπο D4788 – 88 της ASTM, όπου οι θερμοκρασιακές διαφορές των εξεταζόμενων οδοστρωμάτων που προκύπτουν από το θερμογραφικό έλεγχο πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.5°C, έτσι ώστε να εντοπιστούν τα ελαττωματικά σημεία και οι ελαττωματικές περιοχές. Η σάρωση των οδοστρωμάτων γίνεται με το υπέρυθρο θερμογραφικό σύστημα που τοποθετείται σε ένα κινούμενο όχημα. Για την οριοθέτηση των ελαττωματικών θέσεων πάνω στο οδόστρωμα - που θα αποτελέσουν τους δείκτες έναρξης εργασιών συντήρησης- χρησιμοποιείται αποστασιόμετρο τύπου laser (LTI 20-20 Ultralyte), ενώ γίνονται και μετρήσεις με γεωραντάρ (RAMAC GPR).

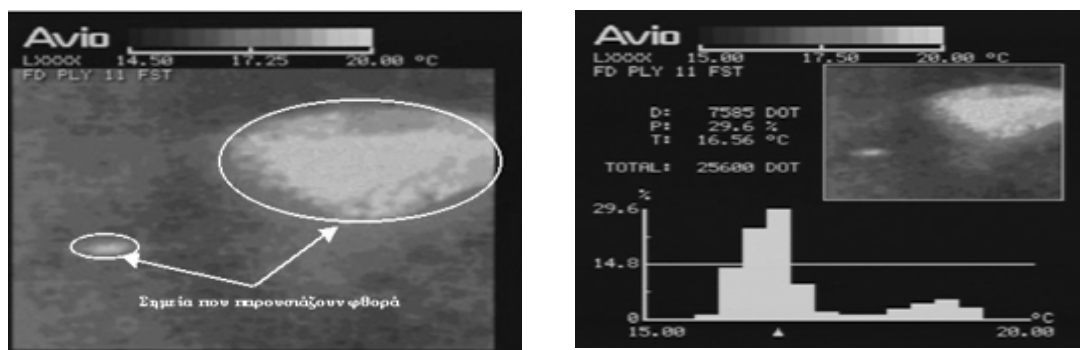
Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου GPR (γεωραντάρ) είναι όμοια της σεισμικής ανάκλασης. Ένας ηλεκτρομαγνητικός παλμός υψηλής συχνότητας (10-10000 MHZ) μικρής διάρκειας παράγεται και διοχετεύεται στο έδαφος. Το σήμα (παλμός) διαχέεται στα υλικά που συνιστούν το υπέδαφος και επηρεάζεται από τις ιδιότητες των υλικών. Μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται στην διαχωριστική επιφάνεια υλικών διαφορετικών ιδιοτήτων και καταγράφεται σε έναν δέκτη στην επιφάνεια του εδάφους, ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια του παλμού διοχετεύεται σε βαθύτερα επίπεδα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που καταθέτονται στη συνέχεια , προέρχονται από την εργασία των ανωτέρω ερευνητών , από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε διαδρόμους του Κρατικού Αερολιμένα της Αθήνας όπου χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές κεραίες (400MHz και 1GHz)

Κατατέθηκαν θερμογραφήματα και ιστογράμματα από ερευνητικές θέσεις και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμογραφίας, όπου εντοπίζονται ατέλειες, οι οποίες δεν διακρίνονται δια γυμνού οφθαλμού (Αβδελίδης 2005). Βασική πηγή αποτελεσμάτων είναι οι θερμοκρασιακές διαφορές άνω των 0.5 °C που αντιστοιχούν στις ελαττωματικές περιοχές του εξεταζόμενου οδοστρώματος, ενώ σε ιστόγραμμα απεικονίζονται τα θερμοκρασιακά ποσοστά του αντίστοιχου θερμογραφήματος. Από αυτά τα ποσοστά μπορεί κανείς να υπολογίσει τις θερμοκρασίες εκείνες που είναι άνω των 0.5 °C και στη συνέχεια να προσδιορίσει το ακριβές ποσοστό των ελαττωματικών σημείων της κάθε εικόνας – τμήματος του οδοστρώματος.

Συγκεκριμένα στην εικόνα 1 απεικονίζονται με «θερμή» απεικόνιση τα ελαττωματικά σημεία του εξεταζόμενου οδοστρώματος. Η φθορά των σημείων αυτών, οφείλεται στην γήρανση του οδοστρώματος, λόγω της αραιής χρήσης του συγκεκριμένου τμήματος. Παράλληλα, εξετάζοντας το ιστόγραμμα του παραπάνω θερμογραφήματος, μπορούν να υπολογιστούν τα ελαττωματικά αυτά σημεία, τα οποία αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό της τάξεως του 27% της συνολικής εικόνας.

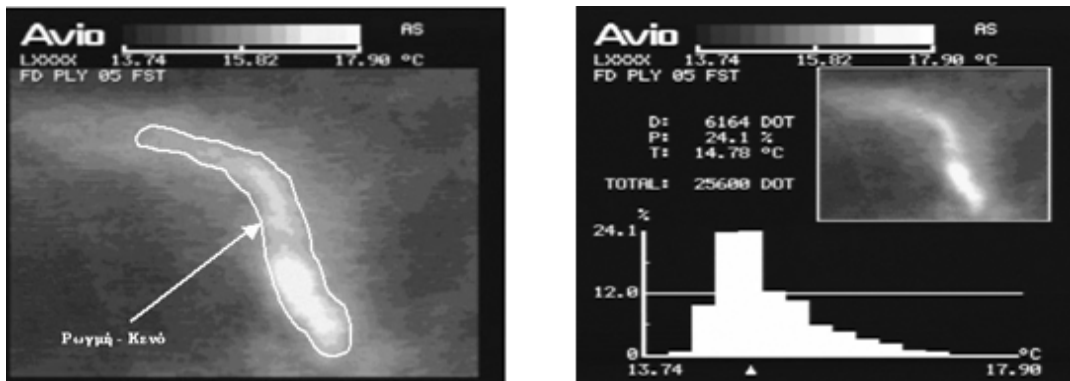


Εικόνα 1 Θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του (Αβδελίδης , Μοροπούλου 2005)

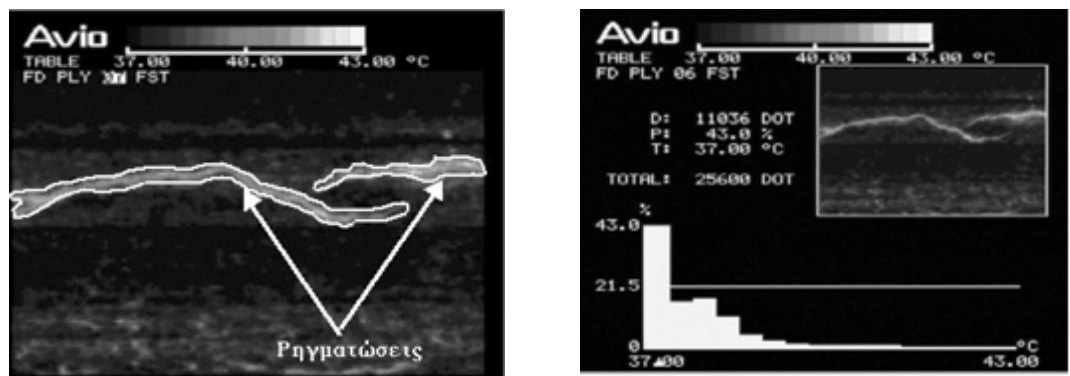
Στα θερμογραφήματα των εικόνων 2 και 3, εντοπίζεται μία βλάβη στο κέντρο της εικόνας, επειδή εκεί εμφανίζεται μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά με το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, γεγονός που υποδηλώνει την κακοτεχνία του ασφαλοτάπητα στο σημείο αυτό. Επίσης, από τα ιστογράμματα των θερμογραφημάτων, υπολογίζεται και το ποσοστό της ελαττωματικής αυτής

περιοχής, το οποίο ανέρχεται περίπου σε 18.3% και 10% επί της συνολικής εξεταζόμενης επιφάνειας.

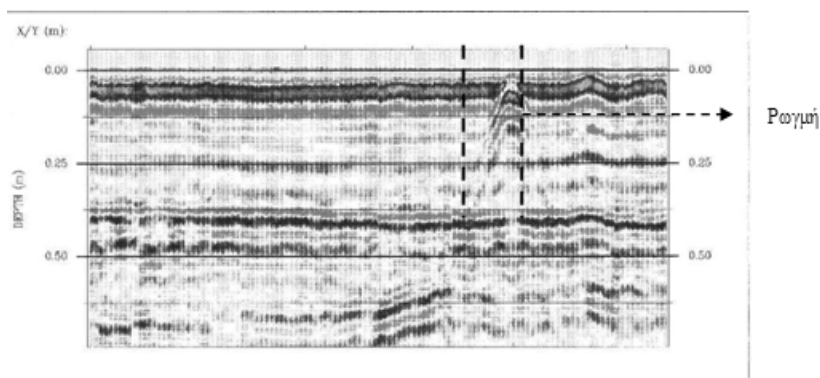
Παρουσιάζεται επίσης επιβεβαίωση της ρωγμής της εικόνας 3, καθώς και το βάθος της, όπως εξακριβώθηκε από την τεχνική του γεωραντάρ (Εικόνα 4). Η συγκεκριμένη μέτρηση πραγματοποιήθηκε με την κεραία του 1 GHz, ενώ το βάθος της ρωγμής έφτανε περίπου τα 50 εκατοστά.



Εικόνα 2 θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του (Αβδελίδης , Μοροπούλου 2005)



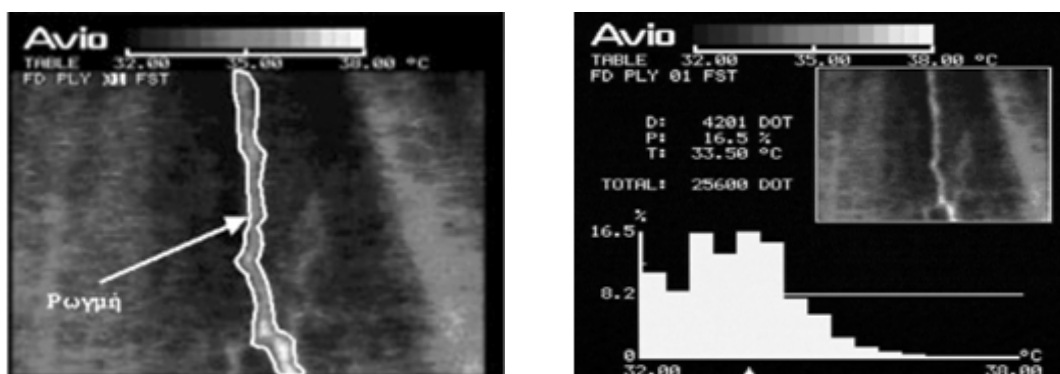
Εικόνα 3 θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του από τον κεντρικό διάδρομο(Αβδελίδης , Μοροπούλου 2005)



Εικόνα 4 Ραδιογέγραμμα από τον κεντρικό διάδρομο (Αβδελίδης , Μοροπούλου 2005)

Επιπλέον, στο παρακάτω θερμογράφημα (Εικόνα 5) απεικονίζεται με ανοιχτό χρώμα, μία ρωγμή στο κέντρο της εικόνας. Κι εδώ το σημείο αυτό παρουσιάζει μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά με το υπόλοιπο τμήμα της εικόνας, γεγονός που υποδηλώνει την κακοτεχνία του οδοστρώματος (κεντρικός διάδρομος) στο σημείο αυτό.

Επίσης, από το ιστόγραμμα του θερμογραφήματος, υπολογίζεται και το ποσοστό της ρωγμής αυτής, το οποίο ανέρχεται περίπου σε 14%.



Εικόνα 5 Θερμογράφημα με το αντίστοιχο ιστόγραμμα του(Αβδελίδης , Μοροπούλου 2005)

Κατά τους συγγραφείς(Αβδελίδης , Μοροπούλου 2005), τα οδοστρώματα στον ελλαδικό χώρο δεν έχουν εξετασθεί στο παρελθόν με τη χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών όπως π.χ. η υπέρυθη θερμογραφία. Η εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, οδηγεί σε θετικά συμπεράσματα όσον αφορά στη χρήση της. Η εξέταση των οδοστρωμάτων με την τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας, όπως αναπτύχθηκε στην ερευνητική αυτή μελέτη, αποτελεί μια σύγχρονη και αποτελεσματική μεθοδολογία στη διάγνωση φθοράς των οδοστρωμάτων.

Η χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας βοηθά αποτελεσματικά στον εντοπισμό ρωγμών και ανωμαλιών στα οδοστρώματα. Και ενώ με τις κλασικές μεθόδους έχουμε καταστροφές στις περιοχές έρευνας, πολλές εργατοώρες και πληθώρα συσκευών για την εξακρίβωση του προβλήματος, με την μέθοδο που καταθέτουν οι ερευνητές, δίδουν αποτελέσματα με ταχύτητα με ασφάλεια και οικονομία χωρίς να προκαλούνται βλάβες στις περιοχές που ερευνούνται.

Όμως και σε σχέση με άλλες μη καταστρεπτικές τεχνικές πλεονεκτούν, αφού έχουν την ικανότητα να εφαρμόζονται όλο το 24ωρο σε μεγάλες εκτάσεις. Ακόμα και το μειονέκτημά της αυτό της αδυναμίας να υπολογίσει το βάθος των των ελαττωματικών σημείων, παρακάμπτεται με την συμπληρωματική χρήση του γεωραντάρ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εργασία των συγγραφέων (Αβδελίδης, Μοροπούλου 2005) διαπιστώνεται πως η εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας μπορεί να δώσει θεαματικά αποτελέσματα για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων οδών και αεροδρομίων. Και αυτό γιατί έχει την ικανότητα να εντοπίζει τις φθορές, αφού σαρώνει μεγάλες επιφάνειες αποδίδοντας με διαφορετικές θερμοκρασίες τις περιοχές ατελειών, λόγω της διαφορετικής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και της διαφορετικής θερμικής διάχυσης που παρουσιάζουν οι περιοχές ατελειών. Μεγάλο της πλεονέκτημα η ταχύτατη οικονομική-ανευ καταστροφής- ανίχνευση όσων ατελειών δεν διακρίνονται δια γυμνού οφθαλμού. Ακόμα και η μοναδική της αδυναμία, αυτή που δεν μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια τις γεωμετρικές διαστάσεις των ελαττωματικών σημείων μπορεί να παραβλεφθεί με χρήση του γεωραντάρ.

Κατόπιν όλων των ανωτέρω, θεωρητικά η μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ειδικά σε δασικούς ασφαλτοστρωμένους δρόμους που δέχονται υψηλό και ενίοτε υπέρβαρο φόρτο με αποτέλεσμα η κυκλοφορία να είναι δυσχερής και να προκαλούνται ατυχήματα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών και ιδιαίτερα τους συγγραφείς, την επιστημονικά υπεύθυνη Καθ. Α. Μοροπούλου και τον ερευνητικό συνεργάτη Δρ. Ν. Αβδελίδη για την ευγενική αποδοχή τους να μεταφέρω τα ερευνητικά τους στοιχεία προς ενημέρωση της Δασικής Μηχανικής κοινότητας

NO CATASTROPHIC METHODS FOR THE EVALUATION OF PAVEMENT'S
SITUATION

P.ESKIOGLOU

SUMMARY

The evaluation of situation of pavements, constitutes a process essential for those who they deal with work of road construction. With this evaluation, it is calculated the pavement's serviceability so that we know when it will be supposed begins the work of maintainance. Because the degree of maintainance is decisive for the operation of road , will be supposed the control of evaluation to become with scientific methods absolutely diagnostic and no devastating. In this work is described a this method of infra red thermography that was developed and certified in I.P.A.(D4788 of ASTM), while in our country it was used except the evaluation of pavements and in corridors of airports. With this method are created thermopictures and histograms in which is located and recorded damage of pavement that is not visible via naked eye, but also the percentage of defective region on the total examined surface. With the use of infra red thermography we have the reduction of time, human potential and essential appliances that are required for the completion of evaluation, while her unique disadvantage, this t the s weakness s is calculated the depth of damage, is solved with the use geo-radar (RAMAC GPR) .

1 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Avdelidis, N.P., Moropoulou, A., Delegou, E.T. 2003. Applications of thermography in the assessment of masonry, airport pavements and composite materials. Journal of Insight, Volume 45, Issue 12: 836-841.

Αβδελίδης, Ν., Α. Μοροπούλου ,2005.Ο ρόλος της υπέρυθρης θερμογραφίας στο μη καταστρεπτικό έλεγχο ποιότητας οδοστρωμάτων. CD Πρακτικών 2^{ου} Πανελληνίου Συνέδριου Οδοποιίας του Τ.Ε.Ε. Μάιος .Βόλος

Eskioglou, P.,and P.N Efthymiou , 1996.Alternative stabilization methods of forest roads for an efficient and gentle mechanization of wood harvesting systems. Proc.of the FAO conference on Environmentally sound forest roads and wood transport. Sinaia, Romania. pp.184-194.

Eskioglou P., R. Hirt, and E. Burlet, 1997. Έρευνα για την ενίσχυση οδοστρώματος με τη χρήση της δοκού Benkelman. Επιστημονική. Επετηρίδα του Τμήματος Δ.Φ.Π. Scientific Annals of the Dept. of Forestry and Natural Environment. Τόμος ΛΗ, σελ. 45-54, Θεσσαλονίκη.

Εσκίογλου, Π., 2001. Έρευνα για την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας δασικών δρόμων με την ανάμιξή τους με ερυθρά ιλύ. Scientific Annals of Institute of Forest Research, Vol II, pp. 32-40, Athens.

Eskioglou, P., 2002. Environment-friendly forest road construction. Proceedings from the VI Protection and Restoration of the environment. Inter. Conference, 2002, Skiathos. Vol. I pp. 212-219.

Εσκίογλου, Π., 2001. Υπολογισμός της συχνότητας και του μεγέθους συντήρησης των δασικών δρόμων. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δ.Φ.Π. στον τιμητικό Τόμο για τον καθηγητή κ. Αρβανίτη.

Maser, K.R., Kim Roddis, W.M. 1990. Principles of thermography and radar for bridge deck assessment. Journal of Transportation Engineering, Volume 116, Issue 5: 583 – 601.

Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Kouli, M., Kakaras, K. 2001. An application of thermography for detection of delaminations in airport pavements. Journal of NDT & E International, Volume 34, Issue 5: 329-335.

Moropoulou, A., Avdelidis, N.P., Kouli, M., Aggelopoulos, A., Karmis, P. 2002. Infrared thermography and ground penetrating radar for airport pavements assessment. *Journal of Nondestructive Testing & Evaluation*, Volume 18, Issue 1: 37-42.