

Ενίσχυση υφιστάμενων δρόμων σε λιβαδικές περιοχές

Π. Εσκίογλου και Αν. Στεργιάδου

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος
Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων, Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και
Τοπογραφίας, 541 24 Θεσσαλονίκη, e-mail : pkeskio@for.auth.gr

Περίληψη

Οι λιβαδικές εκτάσεις, κατά κανόνα προσεγγίζονται με δρόμους χαμηλής φέρουσας ικανότητας και προβληματικής βατότητας όταν επικρατούν δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες. Τα στοιχεία αυτά όμως δεν επιτρέπουν πάντα ταχεία και ασφαλή μεταφορά ζωοτροφών και κτηνοτροφικών προϊόντων, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μείωση της αξίας τους. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται οικονομική βελτίωση της ανθεκτικότητας και της βατότητας του οδικού δικτύου. Όταν όμως σε αυτούς τους δρόμους κυκλοφορούν και οχήματα για άλλους σκοπούς, όπως για αναψυχή και για επισκέψεις σε αξιοθέατα και μνημεία της φύσης, τότε απαιτείται και μελέτη ενίσχυσης του υφιστάμενου οδοστρώματος για να ανταποκριθεί στον καινούριο κυκλοφοριακό φόρτο. Στην παρούσα εργασία ερευνήθηκε σε δρόμους της ορεινής Ροδόπης, η δυνατότητα σταθεροποίησης της επιφανείας τους με τσιμέντο, ασβέστη, αλλά και με διάφορα βιομηχανικά παραπροϊόντα. Η έρευνα έδειξε ότι όλοι οι σταθεροποιητές επιλύουν σημαντικά το πρόβλημα και επιπλέον συμβάλουν σε μία φιλοπεριβαλλοντική κατασκευή, αρκεί να γίνεται αρχικά εδαφομηχανική ανάλυση, οικονομική διερεύνηση όσον αφορά το κόστος μεταφοράς των προϊόντων. Επισημαίνεται όμως η ανάγκη διερεύνησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ώστε να αποτραπούν η είσοδος στους υδροφόρους ορίζοντες, των επικίνδυνων ουσιών που υπάρχουν στα παραπροϊόντα.

Λέξεις κλειδιά: Ενίσχυση δρόμων, φέρουσα ικανότητα, παραπροϊόντα, σταθεροποίηση.

Εισαγωγή

Η μεταφορά του ζωϊκού κεφαλαίου, των ζωοτροφών αλλά κυρίως των κτηνοτροφικών προϊόντων από τις διάφορες λιβαδικές εκτάσεις της πατρίδας μας προς τα κέντρα επεξεργασίας, εκμετάλλευσης και διάθεσης, πρέπει να γίνεται απρόσκοπτα, με ταχύτητα και ασφάλεια κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Αυτό πετυχαίνεται με μια οικονομική και ανθεκτική κατασκευή δικτύων αγροτικών δρόμων μικρής έντασης που στο μεγαλύτερό τους ποσοστό είναι απλοί χωματόδρομοι και στην καλύτερη αλλά σπάνια περίπτωση είναι σταθεροποιημένοι ή σκυροστρωμένοι.

Η κατασκευή τέτοιων δρόμων γίνεται εμπειρικά χωρίς ιδιαίτερη έρευνα διαστασιολόγησης, ενώ η λειτουργικότητά τους εξασφαλίζεται με τις περιοδικές συντηρήσεις, βάσει των απαιτήσεων της βατότητας τους. Όταν όμως αντί για εμπειρική απαιτείται μία ολοκληρωμένη κατασκευή με ταυτόχρονη βελτίωση, αυτό πετυχαίνεται μέσω οδηγιών και νομογραφημάτων. Οι πιο σύγχρονες προδιαγραφές δίνονται από το πρόγραμμα Surface Thickness Program (Whitcomb 1990) στο οποίο ανάλογα με τη μείωση (παραμόρφωση- κριτήριο κόπωσης ή αστοχίας) της επιφανειακής στρώσης του δρόμου, καθορίζεται ο επιτρεπόμενος κυκλοφοριακός φόρτος και αντίθετα, ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο καθορίζεται το μέγεθος της ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του οδικού δικτύου.

Για τους σκυροστρωτους δρόμους, το ανωτέρω πρόγραμμα προτείνει την εξίσωση:

$$RD=5.8230 \frac{R^{0.2476}}{(\log t)^{2.002} C_1^{0.9335} C_2^{0.2848}}$$

όπου RD = το βάθος της επιθυμητής παραμόρφωσης ή της ενίσχυσης
t = πάχος επιφανειακής στρώσης σε in
R = επαναλήψεις σε φορτία ή διελεύσεις (κυκλοφοριακός φόρτος)
C₁ = CBR της επιφανειακής στρώσης του δρόμου
C₂ = CBR υπόβασης

Η ίδια εξίσωση ισχύει και για τους χωματόδρομους, αλλά με την παραδοχή ότι το πάχος της επιφανειακής στρώσης t ισούται με 6 ίντσες -όσο είναι το πάχος της συμπύκνωσης- η εξίσωση μετατρέπεται σε:

$$RD=9.6213 \frac{R^{0.2476}}{C_1^{0.9335} C_2^{0.2848}}$$

όπου: C₁ = CBR συμπυκνωμένου υπεδάφους
C₂ = CBR μη συμπυκνωμένου υπεδάφους

Ερευνητικά, οι παραπάνω σχέσεις όταν εφαρμόστηκαν στα ελληνικά δεδομένα, βρέθηκε ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος σε διάστημα 20 ετών, δεν ξεπερνά τους 50.000 Ισοδύναμους Άξονες(I.A). Με την προϋπόθεση ότι η ανεκτή υποχώρηση (παραμόρφωση) του δρόμου πρέπει να είναι 2 ίντσες, για 6 διαφορετικές αντοχές υπεδαφών που καλύπτουν το σύνολο των υπεδαφών της χώρας, δόθηκαν λύσεις σκυρόστρωσης. Το συμπέρασμα δεν ήταν, ότι για ένα μεγάλο ποσοστό (70%) δρόμων απαιτούνται 8 ίντσες ή περίπου μία συμπυκνωμένη στρώση 20 εκ. σκύρων για την ταχύτερη και ασφαλέστερη διακίνηση των προϊόντων και του ζωϊκού κεφαλαίου (Εσκίολου 2001).

Όταν όμως από τους προαναφερθέντες δρόμους δε διακινούνται μόνο οχήματα που εξυπηρετούν λιβαδοπονικές, αλλά και άλλες ανάγκες, τότε για την εξυπηρέτηση του συνόλου των απαιτήσεων, απαιτείται νέα μελέτη για την ενίσχυση των υφιστάμενων οδοστρωμάτων σε συνάρτηση με την φέρουσα ικανότητα του εδάφους και τον κυκλοφοριακό φόρτο.

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μία τέτοια έρευνα σε αγροτικούς δρόμους, που ενώ αρχικά δέχονταν έναν καθορισμένο φόρτο αποκλειστικά από οχήματα που μετέφεραν ζωοτροφές και κτηνοτροφικά προϊόντα, στη συνέχεια και κάτω από νέες συνθήκες που προέκυψαν, αυξήθηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος και το υφιστάμενο οδικό δίκτυο αδυνατούσε να ανταποκριθεί όχι μόνο στο σύνολο των δραστηριοτήτων αλλά και σε αυτόν τον αρχικό σκοπό για τον οποίον είχε σχεδιαστεί.

Περιοχή και μέθοδος έρευνας

Ως περιοχές έρευνας επιλέχθηκαν οι λιβαδικές εκτάσεις της ορεινής Ροδόπης, στο Παπίκιο όρος, ακριβώς στα σύνορα με τη Βουλγαρία και πλησίον χώρων αναψυχής και μνημείων της Φύσης, ιδιαίτερου κάλους, που μόλις τα τελευταία χρόνια έγιναν πόλος έλξης από μεγάλο αριθμό επισκεπτών, μετά την άρση των απαγορευτικών μέτρων για την προσέγγιση στην Ελληνοβουλγαρική μεθόριο. Ειδικότερα, ερευνήθηκε ο κύριος (συλλεκτήριος) οδικός άξονας Ιάσμου –Πολύαρνου –Αστραίας –Εύθυμου που οδηγεί σε μεγάλες λιβαδικές εκτάσεις αλλά και σε αξιοθέατα όπως: η Μεσαιωνική γέφυρα του Κομψάτου, η Αστραία (Μετέωρα Θράκης), τα μοναστήρια του Παπίκιου όρους, οι παραδοσιακοί οικισμοί των Ροδοπαίων Πομάκων, η πλούσια και σπάνια χλωρίδα της Ροδόπης και τα καλούμενα άγρια άλογα του Διομήδη.

Μία τέτοια νέα κατάσταση, σηματοδοτεί αφενός αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου και μεταβολή της σύνθεσης της κυκλοφορίας και αφετέρου την ανάγκη για βελτίωση τόσο των γεωμετρικών χαρακτηριστικών όσο και της βατότητας των αγροτικών δρόμων.

Για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος διεξήχθη έρευνα για την οποία ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

1. Υπολογίστηκαν τα εδαφομηχανικά μεγέθη του δρόμου, δηλαδή η φέρουσα ικανότητα του σώματος της οδού (αντοχή CBR), το γεωλογικό υπόβαθρο και η τιμή d_m της υπάρχουσας παραμόρφωσης.

2. Υπολογίστηκε αρχικά ο κυκλοφοριακός φόρτος W που αναφέρεται μόνο σε οχήματα που κινούνται για κτηνοτροφικές ανάγκες και στη συνέχεια ο δείκτης πάχους SN του υφιστάμενου οδοστρώματος από τη σχέση (Burlet 1982):

$$SN = \frac{475d_m^{-0,8368} + 2,54}{10^{0,1647 \cdot \log CBR - 0,655}} \quad (1)$$

3. Προσδιορίστηκε ο προβλεπόμενος κυκλοφοριακός φόρτος W' , αυτός που θα αντιστοιχεί στο σύνολο των κυκλοφορούντων οχημάτων, και με βάση την τιμή αυτή, η επιτρεπόμενη παραμόρφωση d_{zul} που για τη διάρκεια της 20ετίας (διάστημα σχεδιασμού) δίνεται από τη σχέση: $d_{zul} = 1580 [2,67 (W' \cdot R)^{0,1068} - 2,54]^{-1,195}$ (2)

4. Υπολογίστηκε το μέγεθος ΔSN της ενίσχυσης του υφισταμένου οδοστρώματος, ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στον καινούριο κυκλοφοριακό φόρτο W' . Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με την επίλυση της σχέσης:

$$\Delta SN = \frac{475(d_{zul}^{-0,8368} - d_m^{-0,8368})}{10^{0,1647 \cdot \log CBR - 0,655}} \quad (3)$$

5. Διερευνήθηκε η σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού του δρόμου με συμβατικά υλικά αλλά και με παραπροϊόντα βιομηχανίας, ως υλικά στρώσεων. Με τον τρόπο αυτόν αφενός μετρήθηκε κατά πόσο κάθε υλικό μειώνει την παραμόρφωση του δρόμου και αφετέρου ποιο είναι το απαιτούμενο πάχος D που πρέπει να προστεθεί από το κάθε υλικό στο υπάρχον οδόστρωμα, ώστε να ανταποκριθεί με ασφάλεια στις καινούριες κυκλοφοριακές συνθήκες. Το πάχος αυτό υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$D = \frac{\Delta SN}{a_i} \quad (4)$$

όπου a_i = ο συντελεστής αντοχής του κάθε υλικού.

6. Με βάση το κόστος κατασκευής και μεταφοράς του κάθε υλικού και σε συνάρτηση με το συντελεστή αντοχής του, επιλέχθηκε η πλέον οικονομική λύση ενίσχυσης οδοστρώματος. Αν κάποια στρώση ενός υλικού, στη μονάδα της επιφάνειας (1 m^2), κοστίζει K_1 και έχει συντελεστή αντοχής a_1 , ενώ για ίδια στρώση με άλλο υλικό έχουμε αντίστοιχα a_2 και K_2 , τότε για την επιλογή θα πρέπει να συγκριθούν οι λόγοι :

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{k_1}{k_2} \quad (5)$$

Αποτελέσματα

Από την εδαφομηχανική εξέταση βρέθηκε ότι τα εδάφη της περιοχής έρευνας είναι αμμοαργιλώδη και αργιλοπηλώδη των κατηγοριών SC-CL και CL, προερχόμενα από μαρμαρυγικό σχιστόλιθο με κατά θέσεις ασβεστόλιθο. Η αντοχή τους δε εργαστηριακά υπολογίστηκε στην τιμή $CBR = 4$.

Από την ανάλυση της σύνθεσης της κυκλοφορίας βρέθηκε ότι ο αρχικός κυκλοφοριακός φόρτος W , αντιστοιχεί σε 27.000 ισοδύναμους άξονες (I.A.) , ενώ ο σημερινός που εξυπηρετεί πολλαπλές ανάγκες ανέρχεται σε $W' = 48.000$ I.A.

Με τη δοκό του Benkelman, υπολογίστηκε η υπάρχουσα παραμόρφωση $d_m = 345$, ενώ η τιμή του δείκτη πάχους του υπάρχοντος οδοστρώματος που βρέθηκε από την επίλυση της εξίσωσης (1) αντιστοιχεί σε τιμή $SN = 3,52$.

Από την επίλυση της σχέσης (2), βρέθηκε για τον κυκλοφοριακό φόρτο $W' = 48.000$ I.A. η επιτρεπόμενη παραμόρφωση $d_{zul} = 167$, όταν ο τοπικός παράγοντας $R = 2$.

Η τιμή της ενίσχυσης του οδοστρώματος, που δίνεται από την επίλυση της σχέσης (3) ισούται με: $\Delta SN = 2,95$ (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τιμές επιτρεπόμενης d_{zul} , πραγματικής d_m παραμόρφωσης, δείκτη πάχους SN , ενίσχυσης ΔSN , συντελεστή αντοχής και πάχους στρώσεων για τα πειραματικά οδοστρώματα.

ΜΕΓΕΘΗ	Υπάρχον Οδόστρωμα	Ιπτ. τέφρα	Ερυθρά Ιλύς	Σκύρα 15cm 3A	Ασβέστης	Μαρμαρό- σκονη.+τέφρα	Τσιμέντο
D_{zul}	167	167	167	167	167	167	167
D_m	345	246	236	229	209	200	167
SN	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52	3,52
ΔSN	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
a_i	-	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,2
d_i	-	27	24,5	23	19,5	19	15

Από τον ίδιο πίνακα φαίνεται η μεταβολή της παραμόρφωσης του ενισχυμένου κατά 15 εκ. οδοστρώματος με διάφορους σταθεροποιητές. Όταν ο δρόμος μας σταθεροποιείται με ιπτάμενη τέφρα, ερυθρά ιλύ, σκύρα 3A, ασβέστη, μαρμαρόσκη με τέφρα και τέλος με τσιμέντο, η παραμόρφωση από $345 \cdot 10^{-2}$ χλσ., μειώνεται αντίστοιχα σε 246, 236, 229, 209 200 και $167 \cdot 10^{-2}$ χλσ. Από αυτό συμπεραίνεται ότι μόνο μία στρώση 15 εκ. σταθεροποιημένη με τσιμέντο είναι ικανή να μειώσει την τιμή της υπάρχουσας παραμόρφωσης στο επίπεδο της επιτρεπόμενης d_{zul} .

Για να υπολογιστεί το αναγκαίο πάχος D για τις υπόλοιπες στρώσεις, επιλύθηκε η σχέση (4) με βάση τις τιμές συντελεστών αντοχής του κάθε υλικού, που δίνονται στον πίνακα 1. Έτσι φαίνεται ότι το επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή η αναγκαία ενίσχυση του υφισταμένου δρόμου μπορεί να επιτευχθεί ή με μία συμπληρωματική στρώση 23cm από υλικό 3A, ή με μία εδαφική στρώση 19,5 εκ. σταθεροποιημένη με ασβέστη, ή 19 εκ. με μαρμαρόσκη και ιπτάμενη τέφρα, 15 εκ. με τσιμέντο, 24,5 εκ. με ερυθρά ιλύ και τέλος με 27 εκ. εδαφικής στρώσης σταθεροποιημένης με ιπτάμενη τέφρα. Επιλογή της λύσης, μεταξύ 2 υλικών αντοχής a_1 και a_2 και κόστους αντίστοιχα K_1 και K_2 θα γίνει με τα παρακάτω κριτήρια:

1. Αν ισχύει $K_1 > \frac{a_1}{a_2} K_2$, τότε προτείνεται η κατασκευή της λύσης 2, με κόστος K_2 Euro
2. Αν ισχύει $K_1 < \frac{a_1}{a_2} K_2$, τότε προτείνεται η κατασκευή της λύσης 1, με κόστος K_1 Euro

Επιλογή δε της οικονομικότερης κατασκευής από τις εναλλακτικές λύσεις επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση προγράμματος του γραμμικού προγραμματισμού της ελαχιστοποίησης του κόστους μεταφοράς trans (Βασιλείου 2001) και δίνεται με τη μορφή της γραμμικής

συνάρτησης κόστους από την εξίσωση.

$$\min \sum_i \sum_j K_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

και από την σχέση $K_i = (\Delta_\mu + \Delta_K + \Delta_\sigma) \rightarrow \min \quad (7)$

όπου είναι:

$\sum_{x_{ij}}$ = οι συντελεστές αντοχής a_{ij}

K_{ij} = το κόστος κατασκευής διαφόρων στρώσεων με υλικό που έχει συντελεστή αντοχής a_{ij} .

I = 1,2 ... m τόποι προέλευσης

j = 1,2 ... n τόποι προορισμού

$\Delta_\mu, \Delta_K, \Delta_\sigma$ = αντίστοιχα το κόστος μεταφοράς, κατασκευής και συντήρησης

Επισημαίνεται όμως ότι εκτός των οικονομοτεχνικών παραμέτρων, απαιτείται και μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αφού πολλά από τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές περιέχουν επιβλαβή αλλά και καρκινογόνα (Ραδόνιο) στοιχεία που μπορούν να διεισδύσουν στους υδροφόρους ορίζοντες.

Συμπεράσματα

Ο κυκλοφοριακός φόρτος που καταγράφεται στους αγροτικούς ή δασικούς δρόμους, από οχήματα που κινούνται για κτηνοτροφικές ανάγκες, από και προς τις λιβαδικές εκτάσεις, είναι περιορισμένος. Με τα βαρέα οχήματα μεταφέρεται το ζωϊκό κεφάλαιο και οι ζωοτροφές, ενώ τα παραγόμενα προϊόντα διακινούνται και με μικρότερα, κυρίως αγροτικά. Για το λόγο αυτό, στους δρόμους αυτούς δε γίνεται κάποια ειδική μελέτη οδοστρωσίας και η περιοδική τους συντήρηση συνίσταται με προσθήκη σκύρων για τη βελτίωση της βατότητάς τους. Όταν όμως οι συγκεκριμένοι δρόμοι χρησιμοποιούνται και για άλλους σκοπούς, τότε ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται και απαιτείται μελέτη ενίσχυσης του υφιστάμενου οδοστρώματος. Στην περιοχή της έρευνάς μας στην ορεινή Ροδόπη, μελετήθηκε η δυνατότητα κατασκευής οικονομικής ενίσχυσης, που πετυχαίνεται με σταθεροποίηση του εδάφους με τσιμέντο και ασβέστη, αλλά και με παραπροϊόντα της βιομηχανίας. Με τη χρησιμοποίηση των υλικών αυτών, προστατεύουμε το περιβάλλον από την ανεξέλεγκτη απόθεσή τους σε αυτό και οδηγούμαστε προς μια φιλοπεριβαλλοντική οδοποιία. Η έρευνα έδειξε ότι η προσθήκη ασβέστη και τσιμέντου, μειώνει αισθητά την παραμόρφωση του εδάφους και ταυτόχρονα βελτιώνει τη βατότητα του δρόμου. Από τη χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων διαπιστώθηκε ότι, η σταθεροποίηση του εδάφους με μίγμα μαρμαρόσκονης και ιπτάμενης τέφρας μας δίδει τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ η χρησιμοποίηση απλά ιπτάμενης τέφρας δε δίνει αξιόλογα αποτελέσματα και μάλιστα μειονεκτεί έναντι της ερυθράς ιλύος. Η επιλογή της πλεονεκτικής λύσης θα γίνεται με βάση οικονομικά (κόστος μεταφοράς υλικών, κατασκευής και συντήρησης οδοστρώσεων), αλλά πρώτιστα και με περιβαλλοντικά κριτήρια που έχουν σχέση με τη διαπερατότητα του εδάφους, τη γειτνίαση με υδροφόρους ορίζοντες και με την παρουσία επικίνδυνων συστατικών στα παραπροϊόντα αυτά.

Βιβλιογραφία

Βασιλείου, Π.Γ. 2001. Εφαρμοσμένος Μαθηματικός Προγραμματισμός. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη, σελ. 115.

Burlet, E. 1982. Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und Flexiblen Oberbau. Zurich, pp. 423-430.

Εσκίογλου, Π.Χ. 2001. Βελτίωση και διαστασιολόγηση δρόμων μεταφοράς κτηνοτροφικών προϊόντων, σελ. 145-150. Η Λιβαδοπονία στο κατώφλι του 21^{ου} αιώνα (Θ. Παπαχρήστου και Ο. Ντίνη, εκδότες) Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου. Ιωάννινα, 4-6 Οκτωβρίου 2000. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία Δημ. Νο. 9.

Whitcomb, W. 1990. Aggregate surfacing design Guide. USDA -Forest Service USA.

Strengthening existing roads in grasslands

P. Eskioglou and An. Stergiadou

Aristotle University of Thessaloniki, Department of Forestry and
Natural Environment, Lab. of Forest engineering and surveying,
e-mail: pxeskio@for.auth.gr

Summary

The rangelands regions are, as a rule, approached by roads with low bearing capacity and problematic structural adequacy under difficult climatic conditions. This elements, do not always allow rapid and secure transport of forages and animal products, so that reduction of their value is observed. In this case economic improvement of resistibility and structural adequacy of road network is required. When however these roads they circulate also vehicles for other aims, as for recreation and for visits in sights and monuments of nature, is then required also study of strengthening existing pavement in order to it corresponds in the new circulatory pressure. In the present work is searched in roads of mountainous Rodopi, the possibility stabilisation of their surface with cement, lime, but also with various industrial by-products. Is showed that all the stabilizers solve considerably the problem, and moreover contribute in a friendly-environment construction, are enough become initially soil mechanic analysis, economic investigation with regard to the cost of transport of products and mainer it is investigated the ability of the water to go throw the soil so that is deterred the entry of dangerous substances that exists in the by-products, in the horizons of water.

Key words: Strengthening of pavements, bearing capacity, by-products, stabilisation, grasslands.