



2/2008

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 19 ΣΕΙΡΑ II

ΚΩΔΙΚΟΣ 3862

# ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

# GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

GEOTECHNICAL CHAMPER OF GREECE

VOL: 19 - ISSUE II - No 2/2008



## γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα

**ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΔΟΣΗ  
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ  
ΕΛΛΑΔΑΣ**

Τόμος 19

Σειρά II

Τεύχος 2/2008

**ΕΔΡΑ:** Θεσσαλονίκη  
Βενιζέλου 64, Τ.Κ. 546 31  
Τηλ. 278.817-18 FAX: 236308

**ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ**  
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ  
ΕΛΛΑΔΑΣ

**ΕΚΔΟΤΗΣ**  
Θεόδωρος Μαρκόπουλος

**ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ  
ΓΕΩΠΟΝΩΝ**  
Στ. Βέργος, *Δασολόγος*  
Π. Σμύρης, *Δασολόγος*

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ**  
Σ. Δαφνής, *Γεωλόγος*

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ**  
MULTIMEDIA A.E.  
Χρήστου Λαδά 3  
102 37 Αθήνα  
Τηλ. 210.3333600 – Fax: 210.3333601

ISSN 1105-9478

## geotechnical scientific issues

**TRIMONTHLY EDITION  
OF THE GEOTECHNICAL CHAMBER  
OF GREECE**

Volume 19

Issue II

Number 2/2008

Thessaloniki  
64, Venizelou str., 546 31  
Tel. 278.817-18 FAX: 236308

**OWNER**  
GEOTECHNICAL CHAMBER  
OF GREECE

**EDITOR**  
Theodoros Markopoulos

**AGRICULTURE ENGINEERS'  
EDITORIAL COMMITTEE**  
St. Vergos, *Forester*  
P. Smiris, *Forester*

**BOOK DESIGNER**  
S. Dafnis, *Geologist*

**PRODUCTION**  
MULTIMEDIA S.A.  
Ch. Lada 3  
102 37 Athens  
Tel.: 210.3333600 – Fax: 210.3333601

ISSN 1105-9478

**2/2008**

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 19 ΣΕΙΡΑ II

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ  
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ  
ΘΕΜΑΤΑ**

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ**

**GEOTECHNICAL  
SCIENTIFIC ISSUES**

**GEOTECHNICAL CHAMPER OF GREECE**

**VOL: 19 - ISSUE II - No 2/2008**

---

# CONTENTS

## SCIENTIFIC PAPERS

<i>P. Eskioglou</i>	Use of byproducts and control of traffic load in the construction and the operation of forest road with an environmentally friendly approach	4 - 13
<i>Mallinis Georgios, Tsakiri-Strati Maria</i>	Evaluation of image fusion methods of high spatial resolution imagery acquired over forest landscapes	14 - 23
<i>Antonios N. Papadopoulos</i>	Physical - hygroscopic properties and natural durability of <i>Acer platanoides</i> L. experimental cement bonded particleboards	24 - 30
<i>K.G. Papaspyropoulos, V. Blioumis, G. Stamatellos</i>	Univariate analysis of time series data: An application to some forest products in the prefecture of Serres, Greece	31 - 43
<i>Yannis Raftoyannis, Anastasia Pantera, Hristina Apostolou</i>	Post-fire ecophysiological response of <i>Q. ithaburensis</i> and <i>Q. pubescens</i> seedlings	44 - 49
<i>Angelos D. Tzachanis</i>	The contribution of natural shading with climbing plants to the energy balance of a building	50 - 59
<i>Spiridon Tsakalidis, Ioannis Gitas</i>	Use of Geographic Information Systems (GIS) in forest fire fighting hoseline deployment	60 - 72

---

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

<i>Παναγιώτης Χρ. Εσκίογλου</i>	Η χρήση παραπροϊόντων και ο έλεγχος του κυκλοφοριακού φορτίου στην κατασκευή και λειτουργία δασικών δρόμων με τρόπους φιλικούς στο περιβάλλον	4 - 13
<i>Μαλλίνης Γεώργιος, Τσακίρη-Στρατή Μαρία</i>	Αξιολόγηση μεθόδων συγχώνευσης δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής χωρικής ευκρίνειας σε δασικές περιοχές	14 - 23
<i>Αντώνιος Παπαδόπουλος</i>	Μηχανικές – υγροσκοπικές ιδιότητες και φυσική ανθεκτικότητα σύνθετης πειραματικής πλάκας από τσιμέντο και ξυλοτεμαχίδια σφενδάμου ( <i>Acer platanoides</i> L.)	24 - 30
<i>Κ.Γ. Παπασπυρόπουλος, Β. Μπλιούμης, Γ. Σταματέλλος</i>	Μονομεταβλητή ανάλυση χρονολογικών σειρών: Εφαρμογή σε δασικά προϊόντα του Νομού Σερρών	31 - 43
<i>Ιωάννης Ραυτογιάννης, Αναστασία Παντέρα, Χριστίνα Αποστόλου</i>	Οικοφυσιολογική συμπεριφορά φυταρίων <i>Q. ithaburensis</i> και <i>Q. pubescens</i> μετά από πυρκαγιά	44 - 49
<i>Άγγελος Δ. Τζαχάνης</i>	Η επίδραση της φυσικής σκίασης με αναρριχώμενα φυτά στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου	50 - 59
<i>Τσακαλίδης Σπυρίδων, Γήτας Ιωάννης</i>	Χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) στον εντοπισμό θέσεων κατάσβεσης με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις	60 - 72

# Η χρήση παραπροϊόντων και ο έλεγχος του κυκλοφοριακού φορτίου στην κατασκευή και λειτουργία δασικών δρόμων με τρόπους φιλικούς στο περιβάλλον

Παναγιώτης Χρ. Εσκίογλου<sup>1</sup>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στους δασικούς δρόμους που κατασκευάζονται συνήθως σε υπεδάφους με χαμηλή φέρουσα ικανότητα χωρίς τεχνικά έργα, κυκλοφορούν συνήθως βαρέα και υπερφορτωμένα οχήματα. Εξαιτίας αυτών των παραμέτρων, το καπάστρωμα του δρόμου διαβρώνεται σταδιακά και στη συνέχεια υποβαθμίζεται το ευρύτερο περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία ερευνάται, προς δύο κατευθύνσεις η δυνατότητα μείωσης των αρνητικών αυτών επιπτώσεων. Η πρώτη με την ενίσχυση της αντοχής του υπεδάφους με την ανάμιξη του με διάφορα παραπροϊόντα όπως τρίμματα ελαστικού, ιπτάμενη τέφρα και υδράσβεστο, και η δεύτερη με την εύρεση και κυκλοφορία εκείνων των τύπων των οχημάτων που ενώ θα μεταφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες θα επιβαρύνουν λιγότερο το δασικό έδαφος. Η έρευνα έδειξε ότι η σταθεροποίηση του υπεδάφους με ασβέστη και τέφρα βελτιώνει την πλαστικότητα και την αντοχή του, μειώνει την ικανότητα διάγνωσης του και ελαχιστοποιεί την υπερκατανάλωση των φυσικών πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στις στρώσεις των δασικών δρόμων. Αντίθετα η χρήση των τριμμάτων των ελαστικών δεν βελτιώνει τη συμπεριφορά του σώματος κυκλοφορίας της δασικής οδού αλλά συμβάλλει απλά στην περιβαλλοντική προστασία καθώς ελαχιστοποιεί τις βλαβερές επιπτώσεις από την απόθεσή τους στο περιβάλλον. Από την άλλη η έρευνα κατέδειξε ότι στους δασικούς δρόμους θα πρέπει να αποφεύγονται τα διαξονικά και τα υπερφορτωμένα οχήματα γιατί επιβαρύνουν υπερβολικά το έδαφος και θεωρούνται υπεύθυνα για την διάβρωση του. Με βάση έναν συντελεστή  $\eta$  που αντιστοιχεί στον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν  $1m^3$  ξυλείας, βρέθηκε ότι στα διαξονικά φορτηγά  $1m^3$  ξυλείας μεταφέρεται από 0.230 άξονες όταν η ίδια ποσότητα μεταφέρεται μόνο από 0.130 άξονες τετραξονικού ή πενταξονικού φορτηγού. Επομένως η κυκλοφορία διαξονικών οχημάτων επιβαρύνει το έδαφος κατά 76%. Αλλά εδαφική επιβάρυνση έχουμε και από την κυκλοφορία υπερφορτωμένων οχημάτων από 9-23%, αφού ο συντελεστής  $\eta$  λαμβάνει τιμές 0.25 και 0.160 αντίστοιχα για διαξονικά και πενταξονικά υπερφορτωμένα οχήματα.

**Λέξεις κλειδιά:** παραπροϊόντα, τέφρα, υδράσβεστος, τρίμματα ελαστικού, συντελεστής  $\eta$ , κυκλοφοριακός φόρτος, κατασκευή και λειτουργία δρόμου, υπερφορτωμένα φορτηγά

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε τεχνικό έργο που κατασκευάζεται μέσα σε ένα δασικό οικοσύστημα θα πρέπει να σέβεται το περιβάλλον και να περιορίζει στο ελάχιστο δυνατό τις αρνητικές επιπτώσεις που οφείλονται στην κατασκευή αυτή. Επειδή οι αρνητικές επιπτώσεις στα έργα Δασικής Οδοποιίας, συνεχίζονται και κατά το στάδιο της λειτουργίας του έργου, θα πρέπει αυτά να σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με ιδιαίτερη φιλοπεριβαλλοντική φροντίδα. Μία σοβαρή επίπτωση στο περιβάλλον είναι η επιφανειακή διάβρωση για την οποία ευθύνονται η απουσία τεχνικών έργων, η ακανόνιστη σύνθεση κυκλοφορίας

και η χαμηλή φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους που μειώνεται ακόμη περισσότερο από την ανοιξιάτικη τήξη του χιονιού.

Επομένως, επιστημονική προσέγγιση στα εν λόγω θέματα και ιδιαίτερα στην ρύθμιση της κυκλοφοριακής σύνθεσης και την ενίσχυση της αντοχής του υπεδάφους είναι ιδιαίτερα επιβεβλημένη. Όταν δε η ενίσχυση του υπεδάφους πετυχαίνεται με διάφορα παραπροϊόντα, τότε εκτός του αρχικού στόχου, ταυτόχρονα προστατεύουμε το ευρύτερο περιβάλλον με την επεξεργασία των επικινδύνων παραπροϊόντων και την ελαχιστοποίηση χρήσης των φυσικών πόρων για την κατασκευή των στρώσεων των δασικών δρόμων.

<sup>1</sup> Αναπληρωτής Καθηγητής Τομέα Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων, Τμήμα Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.

Διάφορες ερευνητικές προσπάθειες για τη διερεύνηση χρησιμοποίησης σταθεροποιητών και ανακυκλώσιμων υλικών πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια. Σκοπός των ερευνών ήταν να υπολογιστεί που και κατά πόσο τα παραπροϊόντα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα απαιτούμενα φυσικά αποθέματα (αμμοχάλικο, θραυστό και υλικό λατομείου) που χρησιμοποιούνται στους δρόμους με διάφορα παραπροϊόντα όπως τέφρα και ερυθρά ιλύς. (Τσώχος και Ηλιού 1995, Μουρατίδης 1996). Σε δασικούς δρόμους και ειδικότερα σε διογκούμενα εδάφη, βρέθηκε ότι προσθήκη μικρής ποσότητας ασβέστου (6-8%) σε μίξη με τέφρα μπορεί να τροποποιήσει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και να βελτιώσει την όλη μηχανική τους συμπεριφορά. (Eskiloglou 1996, Αθανασοπούλου 2000).

Η σταθεροποίηση του εδάφους με ιπτάμενη τέφρα αποδείχθηκε ότι βελτιώνει τα χαρακτηριστικά αντοχής του ενώ μπορεί ως στρώση οδοστρώματος να δεχθεί μεγαλύτερο κυκλοφοριακό φόρτο. (Hirt, 1994, Eskiloglou e.a 1996, Eskiloglou, 1997). Σε δασικούς δρόμους έγιναν επίσης και δοκιμές σταθεροποίησης του υπεδάφους και των στρώσεων των δασικών δρόμων με τρίμματα των ελαστικών. Στη χώρα μας, ετησίως απορρίπτονται ανεξέλεγκτα 34000 τόνοι ελαστικών με αποτέλεσμα την αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντος και τον κίνδυνο μόλυνσης αλλά και αυτανάφλεξης των υλικών. Επομένως η ανάγκη για ανακύκλωση των ελαστικών είναι απαραίτητη διότι συμβάλλει στη μείωση του όγκου απορριμμάτων, στον δε τομέα των οδικών έργων, στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας. Έρευνες έχουν δείξει ότι η ανάμιξη των εδαφών με τρίμματα ελαστικών μειώνει τον θόρυβο κατά 5-8Db, αυξάνει την ευκαμψία του οδοστρώματος μειώνει τις αντανακλάσεις από τα φώτα και κάνει μέχρι τέσσερις φορές πιο απορροφητική την επιφάνεια των οδοστρώματων. Αποδείχτηκε όμως ότι τα τρίμματα αυτά σε μίξη με το έδαφος δεν προσφέρουν τίποτε το ιδιαίτερο στην αύξηση της αντοχής του εδάφους, αλλά προστατεύουν το περιβάλλον από την ανεξέλεγκτη απόθεσή τους. (Tabbaa and Aravinthan, 1998, Eskiloglou, 2004).

Από την άλλη, έρευνες έδειξαν ότι η σύνθεση της κυκλοφορίας, ο τύπος των οχημάτων και η κατανομή των αξονικών φορτίων είναι υπεύθυνα για την επιβάρυνση και τη διάβρωση του εδάφους. Ο Whitcomb, (1990) μέσω μαθηματικών σχέσεων και επεξεργασίας ενός προγράμματος H/Y (Surfacing

Thickness Program STP) μετέτρεψε όλα τα αξονικά φορτία που κυκλοφορούν στους low-volume δασικούς δρόμους, σε ισοδύναμα αξονικά φορτία. Οι Hirt και Moisis (1999) με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου ερευνητή απέδειξαν ότι η ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης και της διάβρωσης του εδάφους πετυχαίνεται όταν τα αξονικά φορτία δεν ξεπερνούν τους 6.3, 8.2 και 14.5 τόνους για μονό άξονα με μονά ελαστικά, μονό με διπλά και δίδυμο άξονα αντίστοιχα. Τέλος όσον αφορά την υπερφόρτωση των οχημάτων, βρέθηκε ότι το φαινόμενο αυτό επιβαρύνει εκθετικά το έδαφος και επιταχύνει την διάβρωση και μειώνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (Eskiloglou 1994, Eskiloglou and Efthymiou 1995).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται ερευνητικά αλλά και αναλυτικά να δοθούν προτάσεις αφενός για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας των εδαφικών στρώσεων των δασικών δρόμων και αφετέρου για την ελαχιστοποίηση της επιφανειακής διάβρωσης από την κίνηση των βαρέων οχημάτων.

#### ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνά που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή του Δασαρχείου Σουφλίου και κινήθηκε σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις. Στην πρώτη διερευνήθηκε εργαστηριακά η δυνατότητα χρησιμοποίησης υδρασβέστου, τέφρας και τριμμάτων ελαστικού ως σταθεροποιητών του εδάφους ώστε να καταγραφεί η μεταβολή των μηχανικών τους ιδιοτήτων και η δυνατότητα ενίσχυσης της αντοχής του υπεδάφους ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιφανειακή διάβρωση και να επιτευχθεί μείωση υπερκατανάλωσης των φυσικών-δομικών πόρων με τη χρησιμοποίηση των παραπροϊόντων αυτών στις στρώσεις των δασικών δρόμων.

Για το πρώτο μέρος της έρευνας- σε τέσσερις τυχαίες εδαφικές θέσεις- πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο: η κοκκομετρική διαβάθμιση με κοσκίνισμα του εδάφους σύμφωνα με την προδιαγραφή BS 1377/75, ο υπολογισμός - με τη μέθοδο του αραιομέτρου - του λεπτόκοκκου τμήματος που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200, ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg με την AASHTO T 89 και T 90, και ο προσδιορισμός των τιμών ελεύθερης διόγκωσης και τάσης (πίεσης) διόγκωσης με τη διαδικασία της προδιαγραφής ASTM D 4546, μέθοδος A. Το έδαφος που κυριαρχούσε από τις δειγματοληψίες, προέρχεται από πυριγενή πετρώματα, πλούσια σε ασβεστούχους άστριους και είναι έντονα αργιλώδες πολύ διογκούμενο ακατάλληλο για βάσεις ή υποβάσεις και σε σχέ-

ση με την υψηλή τιμή του δείκτη πλαστικότητας και του ποσοστού αργίλου ταξινομήθηκε κατά το ενοποιημένο σύστημα εδαφών, στην κατηγορία CH.

Ακολούθησε η σταθεροποίησή του με υδράσβεστο σε ποσοστά 4% - 10% (για τον προσδιορισμό της αντοχής 4%-8%) και τέφρα σε ποσοστά 4% - 12% κατά βάρος και με τριμίματα ελαστικού σε ποσοστά 10 και 20%.. Η υδράσβεστος της έρευνας μας, είναι η απλή του εμπορίου, η τέφρα λήφθηκε από την Πτολεμαΐδα ,ενώ τα τριμίματα ελαστικών λήφθηκαν σε διάφορα μεγέθη από τις εγκαταστάσεις του Συνδέσμου Ο.Τ.Α. Μείζονος Θεσσαλονίκης και προέκυψαν από την φυσική και χημική επεξεργασία τους (πυρόλυση),

Στο δεύτερο μέρος της έρευνας, μέσα από μαθηματικές σχέσεις (Whitcomb, 1990), επιχειρήθηκε η επιλογή του οχήματος και της σύνθεσης κυκλοφορίας που θα μεταφέρει την μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντων, επιβαρύνοντας στο ελάχιστο το έδαφος. Επίσης ερευνήθηκε το μέγεθος της αρνητικής επί-

δρασης των υπερφορτωμένων οχημάτων στους δασικούς δρόμους.

Για το δεύτερο σκέλος της έρευνας, το αξονικό φορτίο των κυκλοφορούντων οχημάτων μετατρέπεται σε ισοδύναμους άξονες και στη συνέχεια υπολογίζονται για κάθε όχημα ο συνολικός αριθμός τους. Σε συνδυασμό με την μεταφερόμενη ποσότητα, βρίσκεται ο ατομικός συντελεστής η κάθε οχήματος που δηλώνει πόσοι Ισοδύναμοι άξονες χρειάζονται για να μεταφέρουν 1m<sup>3</sup> ξυλείας. Ο συντελεστής αυτός που αναφέρεται σε οχήματα πλήρως φορτωμένα, είναι υπεύθυνος για την επιβάρυνση του εδάφους και στόχος των μελετητών είναι η μείωση της τιμής του.

Επίσης μελετήθηκε η επίδραση της υπερφόρτωσης του οχήματος στην επιβάρυνση του εδάφους, αφού αυτό το φαινόμενο σχετίζεται με επιπλέον μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας, αύξηση του αξονικού και του ισοδύναμου αξονικού φορτίου που μεταφράζεται σε αύξηση της τιμής του παράγοντα η άρα και της επιβάρυνσης του εδάφους.

**Πίνακας I:** Φυσικές ιδιότητες του εξετασθέντος εδαφικού υλικού

**Table I:** Natural properties of the soil tested

Φυσική υγρασία (%)	38,5
Περιεκτικότητα σε άργιλο (%)	55,0
Υλικό διερχόμενο από κόσκινο No 200 (%)	93,0
LL	70,0
PL	25,0
IP	45,0
Ελεύθερη διόγκωση (οιδήμετρο) (%)	27,5
Πίεση διόγκωσης (KPa)	370

**Πίνακας II:** Χημική σύσταση των χρησιμοποιηθέντων σταθεροποιητών

**Table II:** Chemical composition of the stabilizers used in the tests

Ιδιότητες	Υδράσβεστος	Ιπτάμενη τέφρα
CaO (%)	63	20
MgO (%)	0,55	1,8
SiO <sub>2</sub> (%)	0,01	30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,01	10,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,11	4,6
Απώλεια πύρωσης	33	14



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 1. Σταθεροποίηση εδαφικών δειγμάτων με πα- απροϊόντα

Στον Πίνακα I παρουσιάζονται οι φυσικές ιδιότητες του εδαφικού δείγματος από την περιοχή έρευνας (όρια Atterberg, διόγκωση, πίεση διόγκωσης) ενώ στον Πίνακα II η χημική σύσταση και το μέγεθος της απώλειας πύρωσής των χρησιμοποιηθέντων σταθεροποιητών υδρασβέστου και ιπτάμενης τέφρας.

Οι μεταβολές των πλαστικών ιδιοτήτων του εδάφους (Όρια υδαρότητας LL, όριο και δείκτης πλαστικότητας PL, IP) για διάφορες ποσότητες των σταθεροποιητών τέφρας και υδρασβέστου, φαίνονται στον Πίνακα III. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται και οι μεταβολές της ξηρής πυκνότητας σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία από την επεξεργασία των δοκιμών με τη μέθοδο Proctor. Τέλος δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη δοκιμασία της ανεμπόδιτης θλίψης στην οποία υποβλήθηκαν τα σταθεροποιημένα δοκίμια με τα ίδια ποσοστά σταθεροποιητών για τον υπολογισμό της αντοχής τους. Η δοκιμασία του νέου υλικού πραγματοποιήθηκε για διάφορες χρονικές περιόδους συντήρησης και συγκεκριμένα για διάστημα 7, 28 και 90 ημερών.

Από τον Πίνακα III διαπιστώνεται ότι στο διογκωμένο αργιλικό έδαφος της έρευνάς μας, που έχει υψηλές τιμές ορίου υδαρότητας, οι τιμές αυτές μειώνονται με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας και υδρασβέστου. Ειδικότερα η μείωση των ορίων υδα-

ρότητας φθάνει το 18%, ενώ η μείωση του δείκτη πλαστικότητας ξεπερνά το 50%. Από βιβλιογραφικές αναφορές, αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μείωση του πάχους της διάχυτης διπλής στιβάδας που σχετίζεται με τα αργιλικά σωματίδια.

Από τον ίδιο πίνακα διαπιστώνουμε ότι καθώς αυξάνεται μέσα στο μίγμα η ποσότητα των σταθεροποιητών - και συγκεκριμένα η τέφρα από 0% σε 12% και η υδράσβεστος από 0% σε 8%, η μέγιστη ξηρά πυκνότητα μειώνεται μέχρι και 8%, ενώ η βέλτιστη υγρασία αυξάνεται περίπου μέχρι 40%. Το συμπέρασμα αυτό έρχεται σε ευθεία σχέση με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους. Τέλος όπως φαίνεται στον ίδιο πίνακα, με την προσθήκη τέφρας και υδρασβέστου αυξάνεται η αντοχή των εδαφικών μιγμάτων μέχρι και 4.5 φορές, καθώς αυξάνεται το ποσοστό των σταθεροποιητών. Αύξηση όμως παρατηρούμε και με την επιμήκυνση του χρόνου συντήρησης των εδαφικών δοκιμών. Όταν προσθέτουμε τέφρα αυξάνεται η αντοχή μέχρι 5,5 φορές όταν το δοκίμιο συντηρείται για 90 ημέρες, ενώ η αντοχή εδάφους σταθεροποιημένου με 8% ασβέστη για ίδιο χρονικό διάστημα αυξάνεται μέχρι 10 φορές. Και στις δύο περιπτώσεις, η αντοχή φτάνει σε τέτοια όρια, ώστε το εδαφικό υλικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους δασικούς δρόμους ως υλικό υπόβασης.

Οι ίδιες ακριβώς δοκιμασίες - μεταβολής ξηράς πυκνότητας και αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη-έγιναν και σε εδαφικό υλικό που σταθεροποιήθηκε με

**Πίνακας III:** Μεταβολή των πλαστικών ιδιοτήτων και της θλιπτικής αντοχής των εδαφών έρευνας μετά τη σταθεροποίησή τους με υδράσβεστο και τέφρα

**Table III:** Variation of the soil Atterberg limits, moisture-density relationships (Proctor) and compressive strength of soil treated with different percentages of flyash and lime

Υλικά Μίξης			Όρια Atterberg			Τιμές δοκιμής Proctor		Αντοχή σε θλίψη UCS Kg/cm <sup>2</sup>		
έδαφος	I.T. %	Ασβέστης %	LL %	PL %	IP %	$\gamma_d$ Kg/m <sup>3</sup>	Wopt %	Ημέρες		
								7	28	90
+	0	0	70	25	45	1570	21,2	1,7	1,7	1,7
+	4	0	68	31	37	1530	25,0	4,5	4,7	5,7
+	8	0	62	34	28	1500	26,0	6,5	7,5	8,0
+	12	0	58	36	22	1440	30,5	7,5	9,0	9,5
+	0	4	66	40	26	1455	27,0	6,0	9,7	14
+	0	6	60	43	17	1450	28,5	6,8	12,0	23
+	0	8	57	45	12	1445	29,2	7,5	14,0	17

**Πίνακας IV:** Μέγιστη ξηρά πυκνότητα και αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (ελαστικό)

**Table IV:** Variation of the optimum dry density and compressive strength of soil treated with different percentages of shredded tire

Υγρασία %	Ποσοστά Τριμμάτων Ελαστικών					
	0%		10%		20%	
	$\gamma_d$ (Kg/m <sup>3</sup> )	UCS (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_d$ (Kg/m <sup>3</sup> )	UCS (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_d$ (Kg/m <sup>3</sup> )	UCS (Kg/cm <sup>2</sup> )
18	1540	1,60	1470	1,50	1360	1,30
20	1580	1,65	1480	1,52	1400	1,34
22	1640	1,70	1550	1,55	1450	1,36
24	1660	1,68	1530	1,53	1470	1,35
26	1580	1,65	1500	1,52	1420	1,32
28	1550	1,63	1460	1,52	1400	1,31

τρίμματα ελαστικού σε ποσοστά 0, 10% και 20%, και για διάφορες ποσότητες περιεχόμενης υγρασίας. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα IV και διαπιστώνεται αρχικά ότι η προσθήκη αυτού του παραπροϊόντος στα ίδια εδάφη, όχι μόνο δεν αύξησε αλλά αντίθετα μείωσε την αντοχής τους και μάλιστα καθώς αυξάνεται το ποσοστό των τριμμάτων αυτών, η αντοχή τους μειώνεται ακόμη περισσότερο. Μείωση επίσης παρουσιάζει και η μέγιστη ξηρή πυκνότητα, η οποία φτάνει μέχρι και 11% όταν το ποσοστό των τριμμάτων ανέρχεται στο 20% κατά βάρος.

Στον Πίνακα V δίνεται η μεταβολή της ελεύθερης διόγκωσης και της πίεσης διόγκωσης κατόπιν

της ανάμιξης του εδάφους με υδράσβεστο και ιπτάμενη τέφρα,

Από τα στοιχεία του Πίνακα φαίνεται πως η προσθήκη των σταθεροποιητών μείωσε την διόγκωση των εδαφικών δειγμάτων. Με την προσθήκη υδρασβέστου σε ποσοστό 4% κατά βάρος, η ελεύθερη διόγκωση μειώθηκε κατά 12% σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του ακατέργαστου εδάφους. Η μείωση αυτή αγγίζει το 50% όταν το ποσοστό της υδρασβέστου ανέρχεται στο 10%. Ισχυρότερη επίδραση στην ελεύθερη διόγκωση του εδάφους έχουμε από την προσθήκη της τέφρας. Με πρόσμιξη 4% ιπτάμενης τέφρας, το έδαφος διογκώνεται 35% λιγότερο, ενώ όταν το ποσοστό

**Πίνακας V:** Μεταβολή της ελεύθερης διόγκωσης και της πίεσης διόγκωσης κατόπιν της ανάμιξης του εδάφους με υδράσβεστο και ιπτάμενη τέφρα

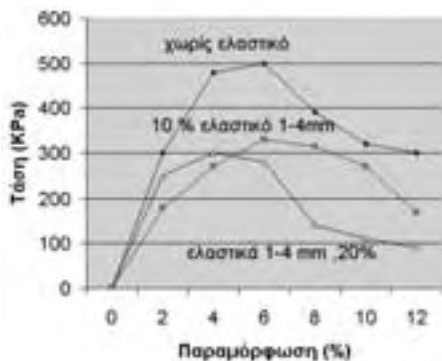
**Table V:** Free swell and swelling pressure variation with the addition of lime and flyash

Ποσοστό Υδρασβέστη (%)	Ελεύθερη Διόγκωση (%)	Πίεση διόγκωσης KPa	Ποσοστό Ιπτ. Τέφρας (%)	Ελεύθερη Διόγκωση (%)	Πίεση διόγκωσης KPa
0	27,5	370	0	27,5	370
4	24,3	710	4	18	730
6	17	1010	6	17	1080
8	16,8	1700	8	16	1150
10	13,5	1920	12	13,3	1230

είναι 10% η τιμή της διόγκωσης είναι ακριβώς ίδια με την αντίστοιχη του μίγματος έδαφος-υδράβεστος.

Αλλά με την προσθήκη και την αύξηση του ποσοστού των σταθεροποιητών, παρατηρείται και μία αύξηση στην τιμή της τάσης (πίεσης) διόγκωσης. Η τάση αυτή γίνεται 4 φορές μεγαλύτερη όταν το ποσοστό της τέφρας ανέρχεται στο 12% κ.β. και 5 φορές όταν προστίθεται υδράβεστος σε ποσοστό 10%.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται η σχέση τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών έρευνας όταν σταθεροποιήθηκαν με διάφορα ποσοστά και διαστάσεις τριμμάτων ελαστικών. Παρατηρείται ότι η τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό του παραπροϊόντος στο μίγμα, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται το ποσοστό παραμόρφωσης με την επίδραση εξωτερικής δύναμης. Αυτό σχετίζεται με τη μείωση της αντοχής του μίγματος.

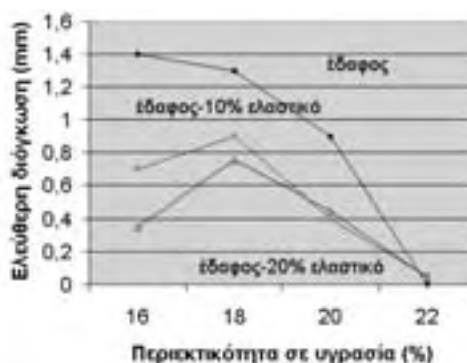


**Σχήμα 1:** Σχέση τάσης παραμόρφωσης σε εδάφη που σταθεροποιήθηκαν με διάφορες ποσότητες και μεγέθη τριμμάτων ελαστικών

**Figure 1:** Variation of strain-deformation relationship of soil treated with different percentages and dimensions of shredded tire

Στο Σχήμα 2 δίνεται η μεταβολή της διόγκωσης των εδαφών έρευνας όταν σταθεροποιήθηκαν με διάφορα ποσοστά ελαστικών τριμμάτων και πάντα σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία του μίγματος.

Εδώ η προσθήκη τριμμάτων ελαστικών οδηγεί σε μείωση της διόγκωσης του εδάφους, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται το ποσοστό. Η μεγαλύτερη μείωση (50%) πετυχαίνεται όταν προστεθούν τριμμάτα σε ποσοστό 10% και με περιεχόμενη υγρασία περίπου στο 16%. Καθώς η ποσότητα της υγρασίας αυξάνεται, μειώνεται η διόγκωση των δειγμάτων, και φθάνει να μηδενίζεται σε όλα όταν η περιεχόμενη υγρασία αγγίζει το 22%.



**Σχήμα 2:** Μεταβολή της διόγκωσης σε σχέση με περιεκτικότητα σε τριμμάτα ελαστικών και περιεχόμενη υγρασία.

**Figure 2:** Free swell variation of soil treated with different percentages of shredded tire

## 2. Σύνθεση κυκλοφορίας

Στους Πίνακες VI και VII δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κανονικά κυκλοφορούντων βαρέων φορηγών από την περιοχή έρευνας. (Μικτό, Αξονικό και ισοδύναμο φορτίο, συνολική μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m<sup>3</sup>) καθώς και των ίδιων οχημάτων όταν κυκλοφορούν υπερφορτωμένα σε ποσοστό 20%. Ειδικότερα στον Πίνακα VI το συνολικό μικτό βάρος που δίνεται μέσα σε παρένθεση και το αξονικό φορτίο (στήλη 2), είναι αυτά ακριβώς που ορίζονται από τις κατασκευάστριες εταιρείες και αυτά που πρέπει να ισχύουν. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίζονται και οι ισοδύναμοι άξονες ή τα ισοδύναμα αξονικά φορτία (Α.Φ) από τις προαναφερόμενες μαθηματικές σχέσεις (Whitcomb). Αν δε οι συνολικοί Ισοδύναμοι άξονες κάθε φορηγού διαιρεθούν με την μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας –η οποία είναι επίσης καθορισμένη για κάθε τύπο φορηγού– τότε δίδεται μία τιμή η που είναι μοναδική για κάθε φορηγό και δηλώνει τον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν 1 m<sup>3</sup> ξυλείας (στήλη 4). Από τον Πίνακα αυτόν φαίνεται καθαρά ότι η μεγαλύτερη επιβάρυνση του εδάφους προκαλείται από τα διαξονικά φορηγά. Αυτό συνάγεται, επειδή 1m<sup>3</sup> ξυλείας, για να μεταφερθεί από διαξονικό όχημα χρειάζονται η = 0.230 Ισοδύναμοι άξονες, όταν η ίδια ποσότητα μεταφέρεται από η = 0.134 I.A, η = 0.137 I.A, η = 0.130 I.A, τριάξονικού, τετραάξονικού και πεντάξονικού φορηγού αντίστοιχα. Επομένως η κυκλοφορία διαξονικών οχημάτων επιβαρύνει το έδαφος μέχρι και 73% περισσότερο από τους άλλους τύπους βαρέων οχημάτων.

**Πίνακας VI:** Τεχνικά χαρακτηριστικά των κυκλοφορούντων βαρέων φορηγών (Μικτό, Αξονικό και Ισοδύναμο φορτίο, συνολική μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m<sup>3</sup>)

**Table VI:** Technical characteristics of heavy goods vehicles in use under normal conditions (Total weight, equivalent axles load ,total quantity of wood transported/axles n which transport 1m<sup>3</sup>)

Τύπος Οχήματος	Αξον. Φορτία. (M.B.) KN* 10 <sup>-1</sup>	Ισοδυν. Α.Φ. (συνολικά) KN* 10 <sup>-1</sup>	Μεταφερόμενη ποσότητα m <sup>3</sup> ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m <sup>3</sup>
1	2	3	4
Mercedes 1924 και 1926, Daf DH 385, Magirus 64 Steyer K38, Volvo GT 10	6/13 (19)	0.75/2.6 (3.35)	14.4 / 0.230
Mercedes 2626, 2632	6.5/2X10 (27)	0.9/2.19 (3.1)	23.0 / 0.134
Volvo 38	8/10/2X10 (38)	1.4/1.2/2.19 (4.8)	35.0 / 0.137
Mercedes 5άξονες.	6/14/20 (40)	0.75/1.6/2.2 (4.55)	35.0 / 0.130

Στον Πίνακα VII και στη στήλη 2 φαίνεται η νέα μεταφορική ικανότητα του κάθε φορηγού που κινείται τώρα υπερφορτωμένο κατά 20%. Παρουσιάζονται νέα αξονικά και κατά συνέπεια και συνολικά φορτία. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες μαθηματικές σχέσεις υπολογίζονται οι νέες τιμές των ισοδύναμων αξόνων (στήλη 3) και οι τιμές η που προκύπτουν τώρα με την καινούρια μεταφορική ικανότητα των οχημάτων, αλλά αναφέρονται και

πάλι στον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν 1 m<sup>3</sup> ξυλείας (στήλη 4). Διαπιστώνεται ότι ο κάθε τύπος φορηγού, όταν κινείται υπερφορτωμένος προκαλεί επιβάρυνση του καταστρώματος που κυμαίνεται από 9% -23%. Αυτό προκύπτει από την αύξηση του συντελεστή η που λαμβάνει τιμές 0.25, 0.157, 0.165 και 0.160 αντίστοιχα για διαξονικά, τριαξονικά, τετραξονικά και πενταξονικά υπερφορτωμένα οχήματα.

**Πίνακας VII:** Τεχνικά χαρακτηριστικά κυκλοφορούντων υπερφορτωμένων οχημάτων

**Table VII:** Technical characteristics of heavy goods vehicles in use under overloaded conditions

Τύπος Οχήματος	Αξον. Φορτία. (M.B.) KN* 10 <sup>-1</sup>	Ισοδυν. Α.Φ. (συνολικά) KN* 10 <sup>-1</sup>	Μεταφερόμενη ποσότητα m <sup>3</sup> ξυλείας / άξονες η που μεταφέρουν 1 m <sup>3</sup>
1	2	3	4
Volvo, Mercedes 1924,26, Daf Magirus 64 Steyer	7/15.9 (23)	1.2/3.8 (5)	20.1 / 0.250
Mercedes 2626 2632	8/2X12.5 (33)	1.4/3.8 (5.2)	33.0 / 0.157
Volvo 38	8/12/2X14 (48)	1.4/2.5/4.2 (8.1)	49.0 / 0.165
Mercedes 5achs. Sattelschlepper	6/16/28 (50)	0.75/3.2/4.2 (8.15)	49.0 / 0.160

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Πραγματοποιήθηκε έρευνα για την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας και τη μείωση των παραγόντων που ευθύνονται για τη διάβρωση του σώματος της κυκλοφορίας των δασικών δρόμων. Για τον σκοπό αυτόν στον κεντρικό δασικό δρόμο του Δασαρχείου Σουφλίου, ερευνήθηκε αφενός η χρησιμοποίηση διάφορων παραπροϊόντων στο διογκωμένο αργιλικό έδαφος της περιοχής έρευνας και αφετέρου με θεωρητικό τρόπο και με επίλυση μαθηματικών σχέσεων προσδιορίστηκε εκείνος ο τύπος των οχημάτων, που ενώ θα μεταφέρει την μεγαλύτερη ποσότητα προϊόντων, θα επιβαρύνει λιγότερο το σώμα της κυκλοφορίας.

Από την έρευνα συμπεραίνεται ότι:

1. Η προσθήκη σε στρώσεις κυκλοφορίας των δασικών δρόμων ιπτάμενης τέφρας και υδρασβέστου, είναι χρήσιμη διότι βελτίωσε τις πλαστικές ιδιότητες του εδάφους μειώνοντας δραστικά τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας αντίστοιχα 18% και 50%. Με τον τρόπο αυτόν βελτιώθηκε η βατότητα του δρόμου, ιδιαίτερα στις δυσμενείς κλιματικές συνθήκες.
2. Καθώς αυξανόταν τα ποσοστά των παραπάνω παραπροϊόντων-σταθεροποιητών, μειώθηκε η μέγιστη ξηρά πυκνότητα μέχρι και 8%, ενώ η βέλτιστη υγρασία αυξήθηκε μέχρι 40%, πράγμα που συντελεί στην αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
3. Επίσης επιτεύχθηκε αύξηση της φέρουσας ικανότητας επειδή με την προσθήκη τέφρας και υδρασβέστου ενισχύθηκε η αντοχή των εδαφικών μιγμάτων μέχρι και 4.5 φορές, και καθώς αυξανόταν το ποσοστό των σταθεροποιητών ή και ο χρόνος συντήρησης των δοκιμών, η αντοχή φτάνει σε τέτοια όρια, ώστε το εδαφικό υλικό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους δασικούς δρόμους ως υλικό υπόβασης. Με την προσθήκη υδρασβέστου σε ποσοστό 8% και για διάρκεια συντήρησης 90 ημέρες, η αντοχή του εδάφους δεκαπλασιάστηκε.
4. Ομοίως τόσο η τέφρα όσο και η υδράσβεστος μείωσαν την διόγκωση του εδάφους μέχρι και 50%, ενώ αύξησαν την τιμή της τάσης (πίεσης) διόγκωσης του μέχρι και 5 φορές. Συμπερασματικά η προσθήκη τέφρας και υδρασβέστου, βελτίωσε σημαντικά το έδαφος και απέκτησε τέτοιες ιδιότητες που μπορεί να ανταποκριθεί – ως στρώση κυκλοφορίας – σε δυσμενείς συνθήκες.

5. Με την προσθήκη όμως στα ίδια εδάφη με τριμάματα ελαστικών, δεν παρατηρήθηκε αύξηση αλλά αντίθετα καταγράφηκε μείωση της αντοχής τους. Επίσης με την προσθήκη τριμμάτων ελαστικών μειώθηκε η διόγκωση του εδάφους ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε το ποσοστό παραμόρφωσης με την επίδραση εξωτερικής δύναμης, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται το ποσοστό. Επομένως η χρήση αυτού του παραπροϊόντος δεν προσφέρει τίποτα στην φέρουσα ικανότητα και στην ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, παρά μόνον μία προστασία στο περιβάλλον από την μη απόθεσή του σε αυτό.

6. Από την άλλη πλευρά της έρευνας, συμπεραίνεται ότι τα βαρέα φορτηγά που επιβαρύνουν περισσότερο το έδαφος και συμβάλλουν στην επιφανειακή διάβρωση του εδάφους είναι τα διαξονικά. Αυτό προκύπτει από την υψηλή τιμή του συντελεστή  $\eta$  που εκφράζει τον αριθμό των αξόνων που μεταφέρουν  $1 \text{ m}^3$ . Η μείωση της επιβάρυνσης αγγίζει το 37% ανά  $1 \text{ m}^3$  μεταφερόμενης ξυλείας όταν αντί για διαξονικά χρησιμοποιούνται τριαξονικά και τετραξονικά φορτηγά. Παρατηρείται ότι στα διαξονικά φορτηγά χρειάζονται 0.230 Ισοδύναμοι άξονες για να μεταφέρουν  $1 \text{ m}^3$  ξυλείας, όταν η ίδια ποσότητα μεταφέρεται από 0.134, 0.137 και μόνο από 0.130 Ισοδύναμους άξονες από τριαξονικό, τετραξονικό και πενταξονικό φορτηγό αντίστοιχα. Επομένως τα διαξονικά φορτηγά θα πρέπει σταδιακά να απομακρυνθούν από τους δασικούς δρόμους και να χρησιμοποιούνται μόνο όταν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου το επιβάλλουν.

7. Με την υπερφόρτωση των οχημάτων παρότι μειώνονται οι διαδρομές παρατηρείται δραματική επιβάρυνση του εδάφους που ξεκινά από 9% για τα διαξονικά, 17% στα τριαξονικά, 20% για τα τετραξονικά και μέχρι τα 23% για τα ρυμουλκά με ρυμουλκούμενο πενταξονικό. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει, από το ότι η αυξημένη μεταφερόμενη ποσότητα ξυλείας από ένα όχημα συνοδεύεται από υπέρμετρη αύξηση των Ισοδύναμων αξονικών φορτίων που ευθύνονται για την επιβάρυνση του εδάφους. Επομένως για την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης των δασικών δρόμων που ως συνήθως στερούνται τεχνικών έργων και υψηλής φέρουσας ικανότητας, θα πρέπει να αποφεύγεται αυστηρά η κυκλοφορία υπερφορτωμένων φορτηγών, η δε κυκλοφορία των διαξονικών θα πρέπει σταδιακά να μειωθεί.

# Use of byproducts and control of traffic load in the construction and the operation of forest road with an environmentally friendly approach

P. Eskioglou<sup>1</sup>

## SUMMARY

In forest roads that are constructed in subgrade with low bearing capacity without technical work where the presence of heavy loaded vehicle is also dominant, intense surface erosion is observed that leads to the degradation of the environment.

This work examines in two different ways the possibilities to reduce this negative effect. First the increase in soil resistance is examined when it is mixed with various by-products as shredded tire, fly ash and lime unquenchable. Secondly the effects from the presence of heavy loaded vehicles are studied in terms of axle load and overloading. The research revealed that two-axis and overloaded vehicles are responsible for higher erosion effect on the soil forest roads.

The number and the weight of the vehicle axis is directly related to the erosion of the soil. This is expressed with factors such as the Equivalent Standard Axle Load (E.S.A.L.) and the *n* factor, which presents the number of E.S.A.L.s that carry 1m<sup>3</sup> of wood. The *n* factor was found to range from 0.130 to 0.230, (5- and 2- axis) and when the vehicle is overloaded the value of *n* rises up to 0.157-0.250 respectively.

On the other hand, the stabilisation of subsoil was found to increase with the addition of lime and ash that lead to improvements in plasticity and the bearing capacity. The use of shredded tires did not lead to same results. The addition of lime and fly-ash lead to the reduction of free swell and swelling pressure.

Overall the main finding is the decrease in surface erosion with the addition of by-products. Also this process reveals to be environmentally friendly since it uses natural products.

**Key words:** byproducts, ash, lime, shredded tire, equivalent *n*, overloaded vehicle, traffic load.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασοπούλου, Α.2000. Επίδραση της χρήσης Υδροσβέστου και ιπτάμενης τέφρας στη διάγνωση εδαφικού υλικού. Τεχνικά χρονικά ΤΕΕ, Ι, τεύχος 1 ,σελ.19-26
- Eskioglou, P. 1994. Die Wirtschaftlichkeit von Lastwagen transporten unter Berücksichtigung der Belastung und Abnutzung von Waldstrassen. Proc.28th Int. Conference Mechanisierung der Waldarbeit, pp.80-89
- Eskioglou, P., and P.N. Efthymiou. 1995. The impact of wood transport with overloaded vehicles on dimensions and the duration of road pavements'. Proc. of Int. con. Concert Action ,Limoge, pp. 124 -130.
- Eskioglou, P., Hirt, R., and E. Burlet. 1996. Investigations of pavement performance using the Benkelmann beam method.. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυτικού Περιβάλλοντος, Τόμος ΛΗ Σελ.813-824
- Eskioglou, P. 1997. Einsatz von Flugasche forstwegebau als Mittel zum schutz der forstkosysteme. Proc. on 9th. Conference FORMEC Brno pp.55-60
- Eskioglou, P.1998. Bodenstabilisierung mit kalk Versuch in Griechischen waldgebieten'. ROHRBACH ZEMENT Symposium. Heft 4, S 16-20.
- Eskioglou, P. 2004. By-products as material for road construction'. International conference Protection and Restoration of Environment V II pp.112-120.
- Hirt, R. 1994. Recycling - materialen im Strassenbau'. Forstliches ingenieurwesen. Heft 2, s 32-36. ETH Zurich
- Hirt, R., and V. Moisiso .1999. Die Schadenwirkung verschiedener Lastwagen auf den Strassenbau. Strasse und Verkehr. Vol.8, pp. 1-4.

<sup>1</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Department of Forestry and Natural Environment.

- Μουρατίδης, Αν. 1996. Διερεύνηση χρήσης ερυθράς ιλύος σε έργα Οδοποιίας. Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Ασφαλικών μιγμάτων και οδοστρωμάτων. σελ. 441-454
- Tabbaa, Al., and T. Aravinthan,. 1998. Natural clay-shredded tire mixtures as landfill barrier materials. Waste Management 18 pp. 9-16
- Τσώχος, Γ., και Ν. Ηλιού .1995. Εναλλακτικά υλικά οδοποιίας - Περιβαλλοντική θεώρηση”. 1ο Συνέδριο Οδοποιίας ΤΕΕ σελ. 772 - 777. Λάρισα
- Whitcomb, W.1990. Aggregate Surfacing Design Guide ,USDA Forest Service

## Αξιολόγηση μεθόδων συγχώνευσης δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής χωρικής ευκρίνειας σε δασικές περιοχές

Μαλλίνης Γεώργιος<sup>1</sup>, Τσακίρη-Στρατή Μαρία<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δορυφορικές εικόνες των αισθητήρων πολύ υψηλής χωρικής και ραδιομετρικής ανάλυσης χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια σε δασικές εφαρμογές, αντικαθιστώντας σε μεγάλο βαθμό τις αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας και τις μετρήσεις στο πεδίο. Οι αισθητήρες αυτοί παρέχουν πολυφασματικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης και παγχρωματικές ακόμα υψηλότερες. Ο επιτυχής συνδυασμός της φασματικής πληροφορίας της πολυφασματικής εικόνας με την αυξημένη χωρική πληροφορία της παγχρωματικής εικόνας είναι σημαντικός για την μεγιστοποίηση της χρησιμότητας και αποδοτικότητας των δορυφορικών εικόνων.

Η συγχώνευση ψηφιακών εικόνων (image merge ή image fusion ή pansharpening) εφαρμόζεται ευρέως σε διάφορους τομείς της τηλεπισκόπησης. Οι διάφορες τεχνικές επιτρέπουν το συνδυασμό εικόνων διαφορετικής χωρικής, φασματικής και χρονικής διακριτότητας με απώτερο στόχο την αύξηση των δυνατοτήτων ερμηνείας και της απόκτησης αξιόπιστων αποτελεσμάτων από την επεξεργασία των εικόνων.

Η μέθοδος της ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis-PCA), η τροποποιημένη μέθοδος έντασης-απόχρωσης-χορεσμού (modified Intensity/Hue/Saturation-IHS), ο μετασχηματισμός Gram-Schmidt (Gram-Schmidt transformation) και η ανάλυση των κυματιδίων (wavelet analysis), χρησιμοποιήθηκαν ως τεχνικές συγχώνευσης μιας πολυφασματικής με μια παγχρωματική εικόνα Quickbird σε μια δασική περιοχή. Και οι τέσσερις τεχνικές συγχώνευσης αξιολογήθηκαν μέσω των προϊόντων τους με στατιστικά κριτήρια. Τα στατιστικά κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της ενσωμάτωσης της φασματικής και χωρικής πληροφορίας στις συνθετικές εικόνες.

Η αξιολόγηση των τεχνικών συγχώνευσης έγινε μέσω των αποτελεσμάτων των παραπάνω στατιστικών κριτηρίων αλλά και λαμβάνοντας υπόψη την αποτελεσματικότητα στην εφαρμογή. Η μέθοδος συγχώνευσης βάση του μετασχηματισμού Gram-Schmidt, κρίθηκε ως η πλέον ικανοποιητική ως προς την ενσωμάτωση της φασματικής και χωρικής πληροφορίας των αρχικών εικόνων στην βελτιωμένη εικόνα.

**Λέξεις κλειδιά:** Quickbird, τηλεπισκόπηση, δασικά οικοσυστήματα, συγχώνευση εικόνων.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιχειρησιακή χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων για την αποτίμηση των δασικών οικοσυστημάτων ήταν περιορισμένη μέχρι πρόσφατα, εξαιτίας των τεχνικών δυνατοτήτων των δορυφορικών καταγραφών. Ωστόσο, οι τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις έκαναν διαθέσιμα στην επιστημονική κοινότητα, αλλά και στους τελικούς χρήστες, δεδομένα από ποικίλες πλατφόρμες παρατήρησης με

καλύτερη φασματική, χωρική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα επιτρέποντας την ακριβέστερη εκτίμηση παραμέτρων (όπως συγκόμωση, βιομάζα, δασοπονικά είδη κ.λπ.) των δασικών οικοσυστημάτων με μεθόδους τηλεπισκόπησης.

Ιδιαίτερα τα σύγχρονα δορυφορικά δεδομένα IKONOS, Quickbird και Spot-5, προσφέρουν παγχρωματικές εικόνες πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης (με εικονοστοιχείο μικρότερο των 2,5 μέτρων) και

<sup>1</sup> Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, 514 24, Θεσσαλονίκη.

<sup>2</sup> Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη.



πολυφασματικές εικόνες συγκριτικά χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης (με εικονοστοιχείο μικρότερο των 5 μέτρων). Ωστόσο σε πολλές εφαρμογές της δασικής πράξης όπως:

- σύνταξη διαχειριστικών σχεδίων,
- καταγραφή και διάνοιξη δασικών οδών,
- χαρτογράφηση υδρογραφικού δικτύου,
- σχεδιασμός δειγματοληψίας και συλλογή στοιχείων στο πεδίο,
- εκτίμηση ζημιών στο δάσος από διάφορες αιτίες (πυρκαγιές, μύκητες κ.λπ.),
- εκτίμηση του ιπτάμενου όγκου,
- παρακολούθηση της αναγέννησης,
- χαρτογράφηση καύσιμης ύλης,
- σχεδιασμό χρήσεων γης κ.λπ.

Είναι επιθυμητός ο συνδυασμός της αυξημένης χωρικής πληροφορίας της παγχρωματικής εικόνας με την αυξημένη φασματική πληροφορία των πολυφασματικών εικόνων.

Η συγχώνευση ψηφιακών εικόνων (image merge/image fusion/pansharpening) η οποία ορίζεται ως ο συνδυασμός με τη χρήση ενός συγκεκριμένου αλγόριθμου, δύο ή περισσότερων εικόνων, για τη δημιουργία μιας νέας εικόνας με τα πλεονεκτήματα των δύο αρχικών εικόνων, εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς της τηλεπισκόπησης (Pohl και Genderen 1998, Karathanassi κ.α. 2006, Nikolakopoulou 2008) με σκοπό:

1. Τη βελτίωση των γεωμετρικών διορθώσεων (Strobl κ.ά. 1990).
2. Την παροχή δυνατότητας στερεοσκοπικής παρατήρησης (Bloom κ.ά. 1988).
3. Την ενίσχυση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τα οποία δεν είναι ορατά στις αρχικές εικόνες (Leckie 1990).
4. Τη συμπλήρωση των αρχικών δεδομένων για βελτιωμένη ταξινόμηση (Schistad-Solberg κ.ά. 1994).
5. Τον εντοπισμό αλλαγών χρησιμοποιώντας διαχρονικά δεδομένα (Duguay κ.ά. 1994).
6. Την αντικατάσταση πληροφοριακών κενών (π.χ. σύννεφα στο ορατό μέρος του φάσματος, σκιές σε δεδομένα SAR) με τιμές από άλλη εικόνα (Aschbacher και Lichtenegger 1990).
7. Αντικατάσταση προβληματικών δεδομένων (Suits κ.ά. 1988).

Ειδικότερα η συγχώνευση εικόνας μεγάλης χωρικής ανάλυσης με εικόνα μεγάλης φασματικής ανάλυσης, δημιουργεί μία νέα σύνθετη εικόνα, η οποία έχει τα καλύτερα χαρακτηριστικά από κάθε

αρχική και επιτρέπει την κατά το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των πληροφοριών που περιέχουν (Τσακίρη κ.α. 2002, Zhang 2004).

Οι τεχνικές συγχώνευσης δεδομένων τηλεπισκόπησης μπορούν να διακριθούν σε δύο ομάδες (Pohl και Genderen 1998):

1. Τις σχετιζόμενες με το χρώμα και
2. Τις στατιστικές/αριθμητικές μεθόδους

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τη χρωματική σύνθεση τριών διαύλων της εικόνας στο χώρο RGB (Red-Green-Blue/κόκκινο-πράσινο-μπλε) καθώς και πιο πολύπλοκους μετασχηματισμούς χρωματικών μοντέλων όπως ο IHS (Intensity-Hue-Saturation/ένταση-απόχρωση-κορεσμός) και ο HSV (Hue-Saturation-Value).

Οι στατιστικές μέθοδοι στηρίζονται σε στατιστικά μέτρα των διαύλων όπως συσχέτιση και φίλτρα. Στην παραπάνω ομάδα ανήκουν μέθοδοι όπως η παλινδρόμηση και η ανάλυση κυρίων συνιστωσών. Οι αριθμητικές μέθοδοι προκύπτουν από αριθμητικές πράξεις, όπως διαφορές, λόγοι, προσθέσεις και πολλαπλασιασμοί των εικόνων. Στην ομάδα αυτή ανήκει και η τεχνική του μετασχηματισμού των κυματιδίων.

Αναφορικά με την αξιολόγηση των διαφορετικών τεχνικών συγχώνευσης μπορούν να διακριθούν οι ποιοτικές (ή υποκειμενικές) και οι ποσοτικές (ή αντικειμενικές) μέθοδοι.

Οι ποιοτικές μέθοδοι στηρίζονται στην εμπειρία ή σε ορισμένα προκαθορισμένα κριτήρια για την ποιότητα της εικόνας. Αυτός ο τρόπος αξιολόγησης εμπεριέχει και μία ποσότητα σφάλματος ή αβεβαιότητας σε συνάρτηση με την εμπειρία του παρατηρητή (Shi κ.ά. 2005).

Στη δεύτερη κατηγορία μεθόδων εξετάζονται με ποσοτικά κριτήρια (συσχέτιση, στατιστικά μέτρα όπως μέσος όρος, τυπική απόκλιση) η φασματική και χωρική ποιότητα των εικόνων (Zhou κ.ά. 1998). Για τον έλεγχο της φασματικής ποιότητας και της διατήρησης από τη σύνθετη εικόνα των φασματικών χαρακτηριστικών της αρχικής πολυφασματικής, χρησιμοποιούνται συνήθως οι κανόνες του Wald (Wald et al. 1997, Τσακίρη κ.ά. 2002) και ο δείκτης NDVI (Τσακίρη κ.ά. 2002). Τέλος για την αξιολόγηση της χωρικής ποιότητας των σύνθετων εικόνων οι Zhou κ.ά. (1998), προτείνουν την αξιολόγηση και σύγκριση των βαθμών συσχέτισης της υψηλότερης ευκρίνειας παγχρωματικής εικόνας με τους διαύλους των βελτιωμένων εικόνων.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η αξιολόγηση τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων για τη συγ-

χώνευση μιας πολυφασματικής με μια παγχρωματική εικόνα Quickbird, οι οποίες έχουν αποκτηθεί σε μια δασική περιοχή. Οι μέθοδοι που αξιολογήθηκαν, είναι διαθέσιμες σε ευρέως διαδεδομένα λογισμικά επεξεργασίας δεδομένων τηλεπισκόπησης και ως εκ τούτου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τελικούς χρήστες (π.χ. ιδιώτες δασολόγοι) μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Δεδομένα-προεπεξεργασία εικόνων

Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε μια δορυφορική εικόνα Quickbird με ημερομηνία λήψης τον Ιούλιο του 2004, που καλύπτει το σύνολο του Πανεπιστημιακού Δάσους Ταξιάρχη-περίπου 65 τετρ. χλμ. (Εικόνα I).



**Εικόνα I:** Γεωγραφική θέση και η δορυφορική εικόνα Quickbird του Πανεπιστημιακού Δάσους.

**Figure I:** Geographic location and the Quickbird image acquired over the University Forest.

Ο δορυφόρος Quickbird μεταφέρει δυο αισθητήρες:

1. Έναν παγχρωματικό (0,45-0,90  $\mu\text{m}$ ), με χωρική ανάλυση 0,6 μέτρα.
2. Έναν πολυφασματικό (μπλε ακτινοβολία: 0,45-0,52  $\mu\text{m}$ , πράσινη: 0,52-0,60  $\mu\text{m}$ , κόκκινη: 0,63-0,69  $\mu\text{m}$  και κοντινή υπέρυθρη: 0,76-0,89  $\mu\text{m}$ ), με χωρική ανάλυση 2,4 μέτρα.

Επίσης για την ορθοδιόρθωση των εικόνων δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής με 10 μέτρα μέγεθος ψηφίδας.

Πριν τη συγχώνευση των εικόνων πραγματοποιήθηκε προσαρμογή των ιστογραμμάτων τους (Τσακίρη κ.ά. 2002).

### 2.2 Μέθοδοι συγχώνευσης οι οποίες αξιολογήθηκαν

#### 2.2.1 Τροποποιημένη μέθοδος έντασης-απόχρωσης-κορεσμού (Intensity-Hue-Saturation/IHS)

Η τροποποιημένη μέθοδος IHS στηρίζεται στο μετασχηματισμό τριών διαύλων μιας πολυφασματικής εικόνας από το χρωματικό μοντέλο των τριών κύριων χρωμάτων-RGB, στο χρωματικό μοντέλο IHS. Μετά το μετασχηματισμό των αρχικών δεδομένων στο χώρο IHS, ο δίαυλος της έντασης αντικαθίσταται από τον υψηλότερης ευκρίνειας παγχρωματικό δίαυλο και στη συνέχεια τα δεδομένα μετασχηματίζονται εκ νέου στο χώρο RGB.

Στην τροποποιημένη μέθοδο, η συνιστώσα της έντασης (παγχρωματικός δίαυλος) τροποποιείται πριν την επαναφορά στο χώρο RGB, έτσι ώστε να προσομοιάζει περισσότερο με την ένταση των αρχικών δεδομένων. Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι η αφαίρεση της ανεπιθύμητης πληροφορίας από τον παγχρωματικό δίαυλο (Chavez κ.ά. 1991).

#### 2.2.2 Μέθοδος βάση της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (AKΣ)

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών είναι μια στατιστική τεχνική η οποία μετασχηματίζει ένα σύνολο αλληλό-συσχετιζόμενων μεταβλητών, σε ένα σύνολο μη-συσχετιζόμενων γραμμικών συνδυασμών των αρχικών μεταβλητών (Hair et al. 1998).

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου η πρώτη κύρια συνιστώσα όπως προκύπτει από το μετασχηματισμό των αρχικών πολυφασματικών δεδομένων, αντικαθίσταται από την υψηλότερης ευκρίνειας παγχρωματική εικόνα. Η διακύμανση καθώς και η μέση τιμή αυτής της εικόνας προσαρμόζεται στα αντίστοιχα στατιστικά μέτρα της πρώτης κύριας συνιστώσας.

#### 2.2.3 Μέθοδος Gram-Schmidt

Ο μετασχηματισμός Gram-Schmidt (Farebrother 1974), είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στη γραμμική άλγεβρα και στη πολυμεταβλητή ανάλυση, για την ορθογωνοποίηση (orthogonalization) δεδομένων σε πίνακα.

Η διαδικασία περιλαμβάνει την προσομοίωση μιας χαμηλότερης παγχρωματικής εικόνας από τους αρχικούς φασματικούς δίαυλους (χαμηλότερης ευκρίνειας) είτε την υποβάθμιση της χωρικής ευκρίνειας της αρχικής παγχρωματικής εικόνας σε μέγεθος ψηφίδας αντίστοιχο της πολυφασματικής.

Ακολούθως πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός Gram-Schmidt στη χαμηλότερης ευκρίνειας παγχρωματική εικόνα και τους διαύλους της πολυφασματικής εικόνας. Τα στατιστικά μέτρα (μέσος όρος και τυπική απόκλιση) της υψηλότερης ευκρίνειας παγχρωματικής εικόνας προσαρμόζονται σε αυτά του πρώτου διαύλου που έχει προκύψει από το μετασχηματισμό Gram-Schmidt, τον οποίο και αντικαθιστά στη συνέχεια έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο σύνολο μετασχηματισμένων διαύλων. Τέλος πραγματοποιείται ο αντίστροφος Gram-Schmidt μετασχηματισμός και προκύπτει η βελτιωμένη πολυφασματική εικόνα (Laben και Brower 2000).

#### 2.2.4 Μέθοδος των κυματιδίων

Η μέθοδος των κυματιδίων βασίζεται στην αποδόμηση της εικόνας σε πολλαπλά κανάλια βάση της περιεχόμενης τοπικής συχνότητας (χωρικής πληροφορίας).

Η υψηλότερης ευκρίνειας παγχρωματική εικόνα υπόκειται στο μετασχηματισμό κυματιδίων και παράγονται τέσσερις καινούργιες εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου ίσο με το μισό του αρχικού. Σε περίπτωση που η πολυφασματική εικόνα έχει ακόμη χαμηλότερο μέγεθος εικονοστοιχείου, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται εκ νέου. Παράλληλα η πολυφασματική εικόνα χαμηλότερης ευκρίνειας υποβάλλεται στο μετασχηματισμό IHS και στο διάλυλο της έντασης που προκύπτει γίνεται προσαρμογή του ιστογράμματος στον αρχικό παγχρωματικό διάλυλο. Στη συνέχεια ο διάλυλος της έντασης αντικαθιστά την εικόνα «προσέγγισης» και εφαρμόζεται ένας αντίστροφος διακριτός μετασχηματισμός κυματιδίων.

#### 2.3 Αξιολόγηση των συγχωνευμένων εικόνων

Μετά την προετοιμασία των εικόνων και την εφαρμογή των τεσσάρων μεθόδων ακολούθησε η αξιολόγηση των μεθόδων. Η αξιολόγηση έγινε βάση των παρακάτω κριτηρίων:

1. Οπτική αξιολόγηση.
2. Συσχετίσεις των διαύλων της αρχικής εικόνας με τους αντίστοιχους διαύλους των σύνθετων εικόνων.
3. Διαφορές των μέσων τιμών των διαύλων της αρχικής από τις αντίστοιχες τιμές των σύνθετων εικόνων.
4. Διαφορές των τιμών της διακύμανσης των διαύλων της αρχικής από τις αντίστοιχες τιμές των σύνθετων εικόνων.
5. Τυπικές αποκλίσεις των τιμών των εικόνων διαφοράς μεταξύ της αρχικής και των σύνθετων εικόνων.

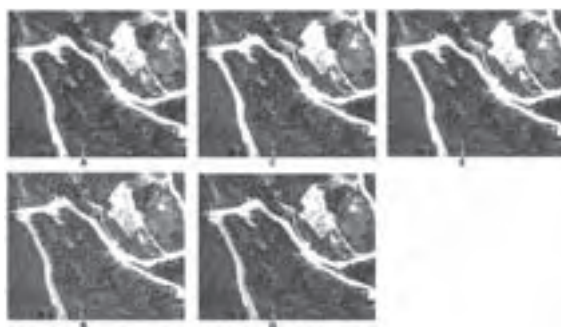
6. Τιμές των μέτρων διάκρισης Jefferies Matusita και Transformed Divergence για δειγματοληπτικές περιοχές στην αρχική και τις σύνθετες εικόνες .

7. Συσχετίσεις των διαύλων των σύνθετων εικόνων με τον παγχρωματικό διάλυλο.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 3.1 Ποιοτική αξιολόγηση

Στην οπτική αξιολόγηση συμμετείχαν τρεις ερευνητές με εμπειρία σε εφαρμογές μεθόδων τηλεπισκόπησης για την καταγραφή και εκτίμηση των δασικών οικοσυστημάτων. Στην εικόνα που προέκυψε από την τεχνική των κυματιδίων (Εικόνα II), ο τόνος και η αντίθεση των χρωμάτων είναι σε μεγάλο βαθμό ταυτόσημα με την αρχική. Ωστόσο η εικόνα εμφανίζει μια υφή παρόμοια με αυτή που προκύπτει από την εφαρμογή ενός φίλτρου υψηλής συχνότητας. Πιθανότατα αυτό να οφείλεται στο ότι βελτίωση του μεγέθους των εικονοστοιχείων κατά ένα συντελεστή μεγαλύτερο του δύο ή του τρία, πρέπει να προσεγγίζεται με επιφύλαξη (Leica 2003). Από τις υπόλοιπες τεχνικές η τροποποιημένη IHS και η ΑΚΣ, δημιούργησαν ψευδή πρότυπα (artifacts) στις σκιές μεταξύ των δένδρων. Στην εικόνα που προέκυψε από την εφαρμογή της τεχνικής Gram-Schmidt, αυξήθηκε η αντίθεση μεταξύ ανοιχτών και σκούρων τόνων, αλλά γενικά η συγχωνευμένη αυτή εικόνα, κρίθηκε από όλους τους αξιολογητές ότι παρουσιάζει το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα.



**Εικόνα II:** Τμήμα της αρχικής (A), της βελτιωμένης με τη μέθοδο Gram-Schmidt (B), της βελτιωμένης με τη μέθοδο της ΑΚΣ (C), της βελτιωμένης με τη τροποποιημένη μέθοδο IHS (D) και της βελτιωμένης με τη μέθοδο των κυματιδίων (E) δορυφορικής εικόνας Quickbird όπου παρατηρείται μίξη οξιάς (σκούροι τόνοι) και δρυός (ανοιχτοί τόνοι).

**Figure II:** Part of the original multispectral (A), the Gram-Schmidt fused (B), the PCA fused, (C),

the modified IHS fused (D) and the wavelet fused (E) image where a mixture of oak (dark tones) and beech (light tones).

### 3.2 Ποσοτική αξιολόγηση

3.2.1 Συσχετίσεις των διαύλων της αρχικής εικόνας με τους αντίστοιχους διαύλους των σύνθετων εικόνων

Σκοπός του δεύτερου κριτηρίου είναι η εξέταση της συσχέτισης των διαύλων των βελτιωμένων εικόνων με τους διαύλους της αρχικής, με ιδανική τιμή τη μονάδα. Πριν την εξέταση της συσχέτισης οι βελτιωμένες εικόνες υποβαθμίζονται σε μέγεθος εικονοστοιχείου ίσο με αυτό της αρχικής και πριν τον προσδιορισμό οποιονδήποτε στατιστικών μεγεθών, τα ιστογράμματα των υποβαθμισμένων σύνθετων εικόνων προσαρμόζονται στα αντίστοιχα ιστογράμματα της αρχικής πολυφασματικής εικόνας (Τσακίρη κ.ά. 2002).

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Πίνακας I) προκύπτει ότι τις υψηλότερες συσχετίσεις για όλους τους διαύλους παρουσιάζει η εικόνα που έχει προκύψει από την εφαρμογή της τεχνικής των κυματιδίων. Αντίθετα τις λιγότερο ικανοποιητικές συσχετίσεις παρουσιάζει η βελτιωμένη εικόνα με τη μέθοδο του μετασχηματισμού των κυρίων συνιστωσών. Τέλος η τροποποιημένη μέθοδος IHS για όλους τους διαύλους πλην του πρώτου, εμφανίζει μεγαλύτερες συσχετίσεις με τους αντίστοιχους διαύλους της αρχικής εικόνας σε σχέση με τη μέθοδο Gram-Schmidt.

3.2.2 Διαφορές μέσω των τιμών των διαύλων της αρχικής από τις αντίστοιχες τιμές των σύνθετων εικόνων

Στο συνέχεια αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα από τον έλεγχο του τρίτου κριτηρίου, δηλαδή οι διαφορές των διαύλων των (υποβαθμισμένων)

**Πίνακας I:** Τιμές συσχετίσεων μεταξύ των διαύλων των αρχικών και βελτιωμένων εικόνων  
**Table I:** Correlation values between the bands of the original and the fused images

			Πολυφασματική (Δίαυλος)				Παγχρωματική
			1	2	3	4	
Μέθοδος συγχώνευσης	Gram-Schmidt	1	0,89	0,88	0,86	-0,15	0,95
		2	0,86	0,89	0,86	-0,03	0,99
		3	0,85	0,87	0,90	-0,12	0,99
		4	-0,39	-0,29	-0,37	0,88	0,99
	Μέθοδος ΑΚΣ	1	0,88	0,86	0,85	-0,17	-0,56
		2	0,87	0,89	0,87	-0,07	-0,48
		3	0,85	0,86	0,90	-0,14	-0,83
		4	0,36	0,46	0,39	0,69	1,00
	Τροποποιημένη IHS	1	0,88	0,87	0,85	-0,16	0,84
		2	0,89	0,93	0,90	-0,06	0,83
		3	0,91	0,93	0,96	-0,17	0,76
		4	-0,11	0,01	-0,09	0,88	0,98
	Μέθοδος κυματιδίων	1	0,97	0,94	0,93	-0,20	0,56
		2	0,94	0,97	0,94	-0,09	0,54
		3	0,93	0,94	0,97	-0,18	0,58
		4	-0,20	-0,08	-0,18	1,00	-0,54

βελτιωμένων εικόνων από τους αρχικούς, με ιδανική τιμή το μηδέν. Σ αυτό το κριτήριο τη χειρότερη επίδοση είχε σαφέστατα η τροποποιημένη μέθοδος IHS (Πίνακας II) καθώς για τους διαύλους 2 έως 4 εμφάνισε τις μεγαλύτερες διαφορές.

Από τις υπόλοιπες μεθόδους η μέθοδος των κυματιδίων γενικά είχε την ίδια απόδοση με το μετασχηματισμό Gram-Schmidt, με τον τελευταίο να είναι ελαφρώς καλύτερος και τη μέθοδο PCA να είναι τρίτη σε απόδοση.

### 3.2.3 Διαφορές των τιμών της διακύμανσης των διαύλων της αρχικής από τις αντίστοιχες τιμές των σύνθετων εικόνων

Το τρίτο κριτήριο που στηρίζεται στη διαφορά της διακύμανσης μεταξύ των διαύλων των (υποβαθμισμένων) βελτιωμένων εικόνων από τους αρχικούς, εκφράζει τη ποσότητα πληροφορίας που προστίθεται ή αφαιρείται κατά τη συγχώνευση και ιδανικά πρέπει να είναι μηδέν. Η εικόνα που προέκυψε βάση της τροποποιημένης μεθόδου IHS, ήταν αυτή

**Πίνακας II:** Στατιστική αξιολόγηση των βελτιωμένων εικόνων. Η μέθοδος Gram-Schmidt και η μέθοδος των κυματιδίων παρουσιάζουν τις μικρότερες διαφορές ως προς τη μέση τιμή και στη διακύμανση των τιμών τους σε σχέση με την αρχική εικόνα (στήλες 1 και 2). Αντίθετα οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων της εικόνας διαφοράς μεταξύ της αρχικής και της βελτιωμένης με τη μέθοδο IHS, είναι αισθητά μικρότερες από τις αντίστοιχες των άλλων μεθόδων.

**Table II:** Statistical assessment of the enhanced images. The Gram-Schmidt and the wavelet method, results to the smallest differences regarding the mean and the standard deviation in regard to the original imagery (columns 1 and 2). On the other hand the standard deviation values among the original and the enhanced image using the modified IHS method, are considerably lower in respect to the other approaches.

		Διαφορά των μέσων τιμών από τους διαύλους της αρχικής εικόνας	Διαφορά των τιμών διακύμανσης από τους διαύλους της αρχικής εικόνας	Τυπικές αποκλίσεις των τιμών των εικόνων διαφοράς με την αρχική	
Μέθοδος συγχώνευσης	<b>Gram-Schmidt</b>	1	2,06	0,09	11,50
		2	3,29	0,29	20,71
		3	3,55	0,16	20,23
		4	3,62	0,05	55,46
	<b>Μέθοδος ΑΚΣ</b>	1	2,39	-0,22	11,76
		2	2,66	-0,13	21,89
		3	4,35	-0,21	21,09
		4	3,77	0,36	61,76
	<b>Τροποποιημένη IHS</b>	1	1,49	0,64	12,39
		2	4,73	-0,39	18,86
		3	4,57	-0,28	13,42
		4	5,04	0,81	54,37
	<b>Μέθοδος κυματιδίων</b>	1	2,00	0,02	9,00
		2	3,74	0,09	14,43
		3	4,50	-0,19	11,24
		4	3,30	-0,06	24,00

στην οποία προσθαφαιρέθηκε η περισσότερη πληροφορία σε όλους τους διαύλους (Πίνακας II), ενώ η μέθοδος Gram-Schmidt μαζί με τη μέθοδο των κυματιδίων είχαν τις μικρότερες διαφοροποιήσεις.

3.2.4 *Τυπικές αποκλίσεις των τιμών των εικόνων διαφοράς μεταξύ της αρχικής και των σύνθετων εικόνων.*

Το τέταρτο κριτήριο ελέγχει τα σφάλματα σε επίπεδο εικονοστοιχείου. Σε αυτή τη περίπτωση η ιδανική τιμή είναι το μηδέν. Όπως διαπιστώνεται (Πίνακας II) τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν από τη μέθοδο των κυματιδίων, με χειρότερη τη μέθοδο των κυρίων συνιστωσών και την τροποποιημένη IHS ελαφρώς καλύτερη από τη Gram-Schmidt.

### 3.2.5 Αξιολόγηση μέτρων διάκρισης διαφορών κατηγοριών κάλυψης γης

Ένα επιπλέον κριτήριο που προτείνεται να ελέγχεται (καθότι βιβλιογραφικά δεν συνιστάται σε κάποια ερευνητική εργασία) είναι η χρήση μέτρων διάκρισης της φασματικής ταυτότητας δασικών ειδών της περιοχής μελέτης. Τα μέτρα διάκρισης (separability measures) μπορούν να διαχειριστούν πολυδιάστατα σύνολα δεδομένων και να λάβουν υπόψη τους πολλούς συνδυασμούς καναλιών, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη (Richards 1993). Επιλέχθηκε η χρήση αυτού του τρόπου αξιολόγησης αντί της ταξινόμησης της εικόνας ως η λιγότερο χρονοβόρα προσέγγιση.

Χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Transformed Divergence (T-D) και Jefferies-Matusita (J-M),

**Πίνακας III:** Τιμές των μέτρων διάκρισης Jefferies-Matusita (J-M) και Transformed Divergence (T-D) τεσσάρων δασοπονικών ειδών για την αρχική και τις βελτιωμένες εικόνες

**Table III:** Jefferies-Matusita (J-M) και Transformed Divergence (T-D) values estimated for selected samples of four different forest species

		Οστράα		Δρυς		Οξιά	
		<u>Δείκτης διακριτότητας</u>					
		<u>J-M</u>	<u>T-D</u>	<u>J-M</u>	<u>T-D</u>	<u>J-M</u>	<u>T-D</u>
Δρυς	Αρχική	1289	1722				
	Gram-Schmidt	1318	1793				
	ΑΚΣ	1112	1326				
	Τροπ. IHS	1291	1689				
	Κυματιδίων.	1230	1644				
Οξιά	Αρχική	1195	1501	1413	1998		
	Gram-Schmidt	1171	1403	1413	1998		
	ΑΚΣ	1095	1258	1345	1819		
	Τροπ. IHS	1159	1414	1409	1993		
	Κυματιδίων.	1139	1437	1396	1953		
Μ. πεύκη	Αρχική	1414	2000	1326	1793	1414	2000
	Gram-Schmidt	1414	2000	1356	1872	1414	2000
	ΑΚΣ	1403	1982	1069	1270	1411	1995
	Τροπ. IHS	1414	1999	1271	1691	1414	2000
	Κυματιδίων.	1414	2000	1241	1608	1414	2000

ενώ για την εφαρμογή των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν εικονοστοιχεία από δειγματοληπτικές περιοχές επί της εικόνας για τέσσερα δασοπονικά είδη της περιοχής του Πανεπιστημιακού Δάσους (Δρύς/Μαύρη Πεύκη/Οξιά/Οστρά). Στη περίπτωση του δείκτη Transformed Divergence η μέγιστη διακριτότητα αντιστοιχεί σε τιμή 2000 ενώ για το δείκτη Jefferies-Matusita η μέγιστη διακριτότητα αντιστοιχεί σε τιμή 1414. Και στους δύο δείκτες τη μεγαλύτερη διακριτότητα (Πίνακας III) εμφάνισαν οι τιμές των εικονοστοιχείων της συγχωνευμένης εικόνας με τη μέθοδο Gram-Schmidt, ενώ αντίθετα τη μικρότερη η μέθοδος του μετασχηματισμού των κυρίων συνιστωσών.

### 3.2.6 Συσχετίσεις των διαύλων των σύνθετων εικόνων με τον παγχρωματικό δίαυλο

Τέλος για την αξιολόγηση της χωρικής ποιότητας των σύνθετων εικόνων ελέχθησαν οι συσχετίσεις των διαύλων των σύνθετων εικόνων με τον παγχρωματικό δίαυλο (Πίνακας I). Αισθητά υψηλότερες συσχετίσεις εμφανίζουν οι δίαυλοι της βελτιωμένης εικόνας με τη μέθοδο Gram-Schmidt σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους, ενώ οι πιο χαμηλές συσχετίσεις εμφανίζονται στην εικόνα η οποία προέκυψε από τη μέθοδο των κυματιδίων. Το αποτέλεσμα αυτό, επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της ποιοτικής αξιολόγησης, κατά την οποία η εικόνα που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Gram-Schmidt, ήταν η πλέον ικανοποιητική για σκοπούς φωτοερμηνείας.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας υπόψη τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την αξιολόγηση των τεσσάρων μεθόδων συγχώνευσης που εφαρμόστηκαν, προέκυψε

η τελική κατάταξη των τεσσάρων μεθόδων που αξιολογήθηκαν. Η σειρά κατάταξης προκύπτει από τη σύγκριση κάθε βελτιωμένης εικόνας με τις υπόλοιπες για κάθε επιμέρους κριτήριο. Γενικά η τεχνική των κυματιδίων (Πίνακας IV) και η μέθοδος Gram-Schmidt φαίνεται ότι διατηρούν καλύτερα τα φασματικά χαρακτηριστικά της αρχικής εικόνας στη βελτιωμένη εικόνα. Επίσης, η λιγότερο ικανοποιητική μέθοδος σύμφωνα με τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν προκύπτει ότι είναι η μέθοδος της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών. Η μέθοδος Gram-Schmidt, η οποία διατηρεί καλύτερα από όλες τη χωρική πληροφορία της παγχρωματικής εικόνας, αποδεικνύεται να είναι η πιο ισορροπημένη προσέγγιση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί, ότι η επιλογή της καλύτερης μεθόδου συγχώνευσης δεδομένων τηλεπισκόπησης πολύ υψηλής χωρικής ευκρίνειας είναι ορθότερο να γίνεται έχοντας ως κύριο γνώμονα την εφαρμογή στην οποία η βελτιωμένη εικόνα θα χρησιμοποιηθεί. Ο τελικός χρήστης θα πρέπει να καθορίζει αν πρωταρχική του επιδίωξη είναι η βελτίωση της χρωματικής αντίθεσης των αντικειμένων και της υψής της εικόνας (σε περιπτώσεις φωτοερμηνείας), η μεγαλύτερη διαφοροποίηση της φασματικής ταυτότητας των αντικειμένων (σε περιπτώσεις ψηφιακής ταξινόμησης) ή απλά η παρουσίαση μιας καλύτερης οπτικά εικόνας σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η σύνθετη εικόνα θα χρησιμοποιηθεί ως απλό χαρτογραφικό υπόβαθρο.

Μελλοντικός ερευνητικός στόχος αποτελεί η επέκταση της σύγκρισης των διαφορετικών μεθόδων συγχώνευσης, σε περισσότερες από μια δορυφορικές εικόνες δασικών περιοχών.

**Πίνακας IV:** Σχετική κατάταξη των μεθόδων συγχώνευσης βάσει των διαφόρων κριτηρίων που αξιολογήθηκαν  
**Table IV:** Relative order of the image fusion methods evaluated.

Μέθοδος	Κριτήριο αξιολόγησης (α/α)						
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>
<b>Gram-Schmidt</b>	1	3	1	2	3	1	1
<b>PCA</b>	3	4	3	3	4	4	2
<b>modIHS</b>	2	2	4	4	2	2	2
<b>Wavelet</b>	4	1	2	1	1	3	3

# Evaluation of image fusion methods of high spatial resolution imagery acquired over forest landscapes

Mallinis Georgios<sup>1</sup>, Tsakiri-Strati Maria<sup>2</sup>

## ABSTRACT

Satellite images recorded from high spatial resolution sensors present extended use in forest practice, replacing large scale aerial photography and in situ measurements. These satellite systems provide multispectral images and even higher spatial resolution images.

The successful integration of the spectral information along with the high resolution capacity, included respectively in the above products can lead to a maximization of the applicability and the efficiency of these satellite images.

Image merge (fusion) or pansharpening has a widespread use in various fields of remote sensing. Different methods allow the fusion of images having different spatial, spectral and temporal resolution in order to obtain more reliable results following image analysis and processing.

The principal component analysis transform, the modified intensity-hue-saturation method, the Gram-Schmidt transform and the wavelet analysis method were evaluated for the fusion of a multispectral and a panchromatic Quickbird image in a forest area. After examining a series of statistical criteria and considering the expertise of remote sensing/forest specialists, the Gram-Schmidt method proved the most successful approach for the integration of the spectral and spatial information in the fused image.

**Keywords:** Quickbird, remote sensing, forest ecosystems, image fusion.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aschbacher, J. and Lichtenegger, J., 1990, Complementary nature of SAR and optical data: a case study in the Tropics. *Earth Observation Quarterly*, **31**, 4-8.
- Bloom, A., Fielding, E. and Fu, X., 1988, Ademonstration of stereo photogrammetry with combined SIR-B and Landsat-TM images. *International Journal of Remote Sensing*, **9**, 1023-1038.
- Chavez, P.S., Sides, S.C. and Anderson, J.A., 1991, Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: TM and SPOT pan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **57**, 295-303.
- Duguay, G., Holder, G., Howarth, P. and LeDrew, E., 1987, Integrating remotely sensed data from different sensors for change detection. In *I.E.E.E. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 18-21 May 1987, Ann Arbor, U.S.A.*, (NewYork: I.E.E.E.), p.333-000.
- Farebrother, R.W., 1974, Gram-Schmidt Regression. *Applied Statistics*, **23**:470-473.
- HAIR, J.F. Jr., ANDERSON, R.E., TATHAM, R.L. and BLACK, W.C., 1998, *Multivariate Data Analysis, 5th edn* (New Jersey: Prentice-Hall Inc.).
- Karathanassi, V., Kolokousis, P. and Ioannidou, S., 2006, A comparison study on fusion methods using evaluation indicators. *International Journal of Remote Sensing*, **28**, 2309-2341
- Laben, C.A. and Brower, B.V., 2000, Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. U.S. Patent 6 011 875.
- Leckie, D.G., 1990, Synergism of SAR and visible/infrared data for forest type discrimination. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **56**, 1237-1246.
- Leica Geosystems GIS and Mapping, 2003, *Erdas Field Guide, 7th Edition*, (Atlanta: Erdas Inc.).
- Nikolakopoulos, K.G. 2008. Comparison of nine fusion techniques for very high resolution data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **74**, 647-659

<sup>1</sup> School of Forest and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24 Thessaloniki, Greece.

<sup>2</sup> Department of Cadastre, Photogrammetry and Cartography, Faculty of Rural and Surveying Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124, Thessaloniki, Greece.



- Phol, C. and van Genderen, J.L., 1998, Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications. *International Journal of Remote Sensing*, **19**, 823-854.
- Richards, J.A., 1993, *Remote Sensing Digital Image Processing: An Introduction, 2nd edn*, (Berlin: Springer-Verlag).
- Schistad-Solberg, A.H., Jain, A.K. and Taxt, T., 1994, Multisource classification of remotely sensed data: fusion of Landsat TM and SAR images. *I.E.E.E. Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **32**, 768-778.
- Shi, W., Zhu, C., Tian, Y., Nichol, J., 2005, Wavelet-based image fusion and quality assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **6**, 241-251.
- STROBL, D., RAGGAM, J. and BUCHROITHNER, M.F., 1990, Terrain correction geocoding of a multi-sensor image data set. In 10th EARSeL Symposium, Toulouse, France (Paris: European Space Agency), pp.98-107.
- Suits, G., Malila, W. and Weller, T., 1988, Procedures for using signals from one sensor as substitutes for signals of another. *Remote Sensing of Environment*, **25**, 395-408.
- Τσακίρη, Μ., Παπαδοπούλου, Μ. και Γεωργούλα, Ο., 2002, Συγχώνευση Εικόνων XS SPOT4 και PAN SPOT2 και Εκτίμηση της Φασματικής Ποιότητας των Προϊόντων, *Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 39*, 9-22.
- Wald, L., Ranchin, T., Mangolini, M., 1997, Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: Assessing the Quality of Resulting Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **63**, 691-699.
- Zhang, Y., 2004 .Understanding image fusion, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (6), 657-661.
- Zhou, J., Civco, D.L. and Silander, J.A., 1998, A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. *International Journal of Remote Sensing*, **19**, 743-757.

# Μηχανικές – υδροσκοπικές ιδιότητες και φυσική ανθεκτικότητα σύνθετης πειραματικής πλάκας από τσιμέντο και ξυλοτεμαχίδια σφενδάμου (*Acer platanoides* L.)

Αντώνιος Παπαδόπουλος<sup>1</sup>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να εξετάσει την καταλληλότητα χρήσης τεμαχιδίων σφενδάμου σε μίξη με το τσιμέντο, ως πιθανή πρώτη ύλη για την κατασκευή ξυλοπλακών και να μελετήσει τις μηχανικές, φυσικές ιδιότητες καθώς και τη βιολογική ανθεκτικότητα του προϊόντος. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων ενυδάτωσης έδειξαν ότι το μίγμα ξυλοτεμαχιδίων σφενδάμου- τσιμέντου παρουσιάζει μέτριο ανασταλτικό δείκτη και μπορεί να αποτελέσει υποψήφιο υλικό για την κατασκευή πλακών. Ξυλοπλάκες κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου: ξύλου 3:1 και 4:1. Αύξηση της αναλογίας τσιμέντου: ξύλου είχε σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας, του εγκάρσιου εφελκυσμού και της κατά πάχος διόγκωσης, μετά από 24 ώρες εμβάπτιση σε νερό. Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες ιδιότητες, το μέτρο θραύσεως μειώθηκε όταν αυξήθηκε η αναλογία τσιμέντου: ξύλου. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των πλακών που κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου ξύλου 4:1 ήταν κατά πολύ υψηλότερες των ελαχίστων αποδεκτών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα HZ code, σε αντίθεση με την τιμή της κατά πάχος διόγκωσης που ήταν αρκετά μεγαλύτερη της μέγιστης αποδεκτής. Όσον αφορά τη φυσική ανθεκτικότητα του προϊόντος και οι δύο μύκητες που χρησιμοποιήθηκαν απέτυχαν να προκαλέσουν σήψη στα δείγματα.

**Λέξεις κλειδιά:** Ξυλοπλάκες, τσιμέντο, σφενδάμι, *Acer platanoides* L, ανασταλτικός δείκτης, μηχανικές ιδιότητες, υδροσκοπικές ιδιότητες, φυσική ανθεκτικότητα.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραγωγή ξυλοπλακών χρησιμοποιώντας ως συγκολλητική ουσία το τσιμέντο ξεκίνησε εδώ και ένα αιώνα περίπου, όταν ο Hatschek (1990) κατάφερε να παράγει πλάκες χαμηλής πυκνότητας που περιείχαν ξυλέριο, τσιμέντο και μαγνήσιο και οι οποίες βρήκαν εφαρμογή σαν μονωτικά υλικά. Ο Deppe (1974) στις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα παρουσίασε την πρώτη τσιμεντόπλακα υψηλής πυκνότητας η οποία χρησιμοποιήθηκε σαν δομικό υλικό και η οποία επέκτεινε τους ορίζοντες εφαρμογής του προϊόντος. Στις μέρες μας, οι τσιμεντόπλακες βρίσκουν αποδοχή σε πολλές χώρες. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη του προϊόντος ως δομικό κυρίως υλικό, οφείλεται στο γεγονός ότι τα υλικά κατασκευής είναι οικονομικά και η τεχνολογία παραγωγής σχετικά απλή σε σύγκριση με την αντίστοιχη των ξυλοπλακών που περιέχουν φαινο-

λικές ή ισοκυανικές συγκολλητικές ουσίες. Το τσιμέντο ως συγκολλητική ουσία προσδίδει στο προϊόν αυξημένη διαστασιακή σταθερότητα, φυσική ανθεκτικότητα και υψηλή αντοχή στη φωτιά, ενώ μπορεί να βαφεί σχετικά εύκολα (Jorge et al. 2004). Ένα σημαντικό μειονέκτημα των προϊόντων αυτών είναι το αυξημένο βάρος το οποίο οφείλεται στην υψηλή αναλογία ξύλου και τσιμέντου και που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει το 1 προς 3 (Jorge et al. 2004, Sudin et al. 1995, Papadopoulos et al. 2006). Αν και οι τσιμεντόπλακες είναι πιο βαριές από τις ξυλοπλάκες που κατασκευάζονται με τις συνήθεις συγκολλητικές ουσίες, είναι ελαφρύτερες από αυτές που κατασκευάζονται αποκλειστικά από μετόν και επομένως μπορούν να τις αντικαταστήσουν σε δομικά στοιχεία κατασκευών τα οποία δε δέχονται υψηλές φορτίσεις, όπως οι τοίχοι. Το σημαντικότερο μειονέκτημα όμως των προϊόντων αυτών, είναι η

<sup>1</sup> Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Τ.Ε.Ι. Καβάλας, - Παράρτημα Δράμας.

μερική συμβατότητα μεταξύ τσιμέντου και ξύλου σε κατακερματισμένη μορφή. Η συμβατότητα αναφέρεται στο βαθμό σκλήρυνσης του τσιμέντου ύστερα από μίξη με νερό και τεμαχίδια ξύλου. Όταν η χημική διαδικασία της σκλήρυνσης του τσιμέντου δεν εμποδίζεται από την παρουσία του ξύλου, τότε τα δύο υλικά χαρακτηρίζονται συμβατά, ενώ σε αντίθετη περίπτωση μη συμβατά. Η μη συμβατότητα έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του προϊόντος (Jorge et al. 2004). Η μη συμβατότητα μεταξύ τσιμέντου και τεμαχιδίων ξύλου οφείλεται στο ποσοστό, το είδος αλλά και στη χημική σύσταση των εκχυλισμάτων (Weathewax and Tarkow 1964, Jorge et al. 2004). Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να εξετάσει την καταλληλότητα χρήσης τεμαχιδίων σφενδάμου σε μίξη με τσιμέντο ως πιθανή πρώτη ύλη για την κατασκευή τσιμεντοπλακών και να μελετήσει τις μηχανικές, και υδροσκοπικές ιδιότητες καθώς και τη φυσική ανθεκτικότητα του πειραματικού προϊόντος.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Πειράματα ενυδάτωσης

Η πρώτη ύλη που επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη εργασία ήταν ξυλεία από σφενδάμι (*Acer platanoides* L.) και τσιμέντο εμπορίου τύπου Portland I. Ο θρυμματισμός της πρώτης ύλης έγινε σε εργαστηριακό σφυρόμυλο στον οποίο χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό πλέγμα με οπές διαμέτρου 20 και 42 χιλιοστών. Τα πειράματα ενυδάτωσης διεξήχθησαν σύμφωνα με τη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τους Hofstrand et al. (1984) και εφαρμόστηκε πρόσφατα και από άλλους ερευνητές (Okino et al. 2005). Σε ειδικές σακούλες πολυαιθυλενίου τοποθετήθηκε μίγμα τσιμέντου (200 γραμμάρια) και τεμαχιδίων ξύλου (15 γραμμάρια με περιεχόμενη υγρασία 10%) και ακολούθως προστέθηκε αποσταγμένο νερό (90.5 ml). Το μίγμα παρέμεινε στις σακούλες για τρία λεπτά. Η ποσότητα του νερού που προστέθηκε βασίζεται σε πειράματα των Weathewax και Tarkow (1964), οι οποίοι προτείνουν την προσθήκη 2.7 μικρόλιτρων νερού για κάθε γραμμάριο ξύλο (προσαρμοσμένο στην περιεχόμενη υγρασία του ξύλου) και επιπλέον 0.25 ml νερού για κάθε γραμμάριο τσιμέντου. Το μίγμα τοποθετήθηκε σε κατάλληλη μονωμένη εργαστηριακή φιάλη, στην οποία ενσωματώθηκε μετρητής θερμοκρασίας και καλύφθηκε με μονωτική ταινία εμπορίου. Στη συνέχεια, μετρήθηκε η θερμοκρασία του μίγματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η χρονική στιγμή κατά

την οποία το μίγμα απέκτησε τη μέγιστη θερμοκρασία θεωρήθηκε ότι αντιστοιχεί στην πλήρη σκλήρυνση του μίγματος (Hofstrand et al. 1984, Okino et al. 2004, 2005). Ο ανασταλτικός δείκτης (I) υπολογίστηκε με βάση τον ακόλουθο μαθηματικό τύπο (Hofstrand et al. 1984, Okino et al. 2004):

$$I = 100 \left[ \left( \frac{t_2 - t'_2}{t'_2} \right) * \left( \frac{T'_2 - T_2}{T'_2} \right) * \left( \frac{S'_2 - S_2}{S'_2} \right) \right]$$

όπου:

$t_2$ : ο χρόνος που απαιτείται για να αποκτήσει το μίγμα ξύλου - τσιμέντου-νερού τη μέγιστη θερμοκρασία, σε δευτερόλεπτα

$t'_2$ : ο χρόνος που απαιτείται για να αποκτήσει το μίγμα τσιμέντου - νερού τη μέγιστη θερμοκρασία, σε δευτερόλεπτα

$T_2$ : μέγιστη θερμοκρασία ενυδάτωσης του μίγματος ξύλου - τσιμέντου-νερού, σε °C

$T'_2$ : μέγιστη θερμοκρασία ενυδάτωσης του μίγματος τσιμέντου - νερού, σε °C

$S_2$ : μέγιστη κλίση του διαγράμματος θερμοκρασίας-χρόνου του μίγματος ξύλου-τσιμέντου-νερού

$S'_2$ : μέγιστη κλίση του διαγράμματος θερμοκρασίας-χρόνου του μίγματος τσιμέντου-νερού.

Ο ανασταλτικός δείκτης αναφέρεται στο βαθμό σκλήρυνσης του τσιμέντου ύστερα από μίξη με νερό και τεμαχίδια ξύλου και είναι μέτρο της συμβατότητας των δύο υλικών. Ανασταλτικός δείκτης μικρότερος του 10 υποδηλώνει μικρή αναστολή, μεταξύ 10 και 50 μέτρια, μεταξύ 50 και 100 υψηλή, ενώ μεγαλύτερος από 100 πολύ υψηλή αναστολή (Hofstrand et al. 1984, Okino et al. 2005).

### 2.2. Κατασκευή και ποιοτικός έλεγχος των ξυλοπλακών

Στην εργαστηριακή κατασκευή των μονόστρωμων πλακών χρησιμοποιήθηκαν ξυλοτεμαχίδια σφενδάμου και τσιμέντο εμπορίου τύπου Portland I. Τα θρυμματισμένα ξυλοτεμαχίδια που παρήχθησαν για τα πειράματα ενυδάτωσης, επαναθρυμματίστηκαν, ταξινομήθηκαν και μόνο αυτά που συλλέχθηκαν από το μεταλλικό πλέγμα διαστάσεων 1 X 1 χιλιοστών χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των πλακών. Στη συνέχεια, η περιεχόμενη υγρασία των τεμαχιδίων ξύλου μειώθηκε σε ποσοστό 5% μετά από την ξήρανση τους σε κατάλληλο εργαστηριακό ξηραντήριο.

Η αναλογία τσιμέντου: ξύλου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 3 προς 1 και 4 προς 1, με βάση το

ξηρό βάρος της πρώτης ύλης. Χλωριούχο ασβέστιο (CaCl<sub>2</sub>) σε ποσοστό 3% με βάση το ξηρό βάρος του τσιμέντου, χρησιμοποιήθηκε σαν καταλύτης για να επιταχύνει την ενυδάτωση του τσιμέντου. Οι ξυλοπλάκες κατασκευάστηκαν με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Moslemi and Pfister (1987) και έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλους ερευνητές (Fuware 1995, Okino et al. 2004, 2005). Συγκεκριμένη ποσότητα ξυλοτεμαχιδίων, η οποία αντιστοιχούσε στην επιδιωκόμενη να επιτευχθεί πυκνότητα (1,2 gr/cm<sup>3</sup>), και υδατικό διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου, αναμίχθηκε σε ειδικό εργαστηριακό αναμικτήρα. Στη συνέχεια στο μίγμα προστέθηκε υπολογισμένη ποσότητα τσιμέντου και αποσταγμένου νερού. Η ανάμιξη του μίγματος αποτελούμενο από ξυλοτεμαχίδια και τσιμέντο έγινε με τα χέρια και διήρκησε δεκαπέντε λεπτά. Η ποσότητα του αποσταγμένου νερού που προστέθηκε στο μίγμα, υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση που περιγράφεται στη βιβλιογραφία (Moslemi and Pfister 1987, Fuware 1995, Okino et al. 2004, 2005) και είναι η εξής:

$$\text{νερό (λίτρα)} = 0.35 C + (0.30 - MC) W$$

όπου:

C = βάρος του τσιμέντου, σε Kg

MC = περιεχόμενη υγρασία τεμαχιδίων ξύλου (με βάση το ξηρό βάρος), σε %

W = ξηρό βάρος τεμαχιδίων ξύλου, σε Kg

Μετά την ανάμιξη το μίγμα στρωματώθηκε σε κιβώτιο διαστάσεων 50 X 50 εκατοστών και προσυμπιέστηκε με τα χέρια σε πάχος 50 εκατοστών. Στη συνέχεια το στρωματωμένο υλικό συμπιέστηκε με ψυχρή πίεση 5 MPa για 24 ώρες, μέχρι τελικού πάχους 15 χιλιοστών. Τέσσερις πλάκες κατασκευάστηκαν για κάθε αναλογία τσιμέντου και ξυλοτεμαχιδίων. Οι πλάκες κλιματίστηκαν για δύο μήνες

στους 20°C και σε 65% σχετική υγρασία. Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των πλακών (μέτρο ελαστικότητας, μέτρο θραύσης, εγκάρσιος εφελκυσμός, διάγκωση μετά από 24 ώρες εμβάπτιση σε νερό) προσδιορίστηκαν με βάση τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές (EN 310, EN 317, EN 319).

### 2.3. Έλεγχος φυσικής ανθεκτικότητας των ξυλοπλάκων

Ο έλεγχος φυσικής ανθεκτικότητας πραγματοποιήθηκε στο βιολογικό εργαστήριο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Μπάγγου της Ουαλίας, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή προδιαγραφή DD ENV 12038:1996. Δείγματα ξυλοπλάκας διαστάσεων 50 X 50 εκατοστών, αποστειρώθηκαν με ακτινοβολία 2.5 Mrad. Χρησιμοποιήθηκαν καλλιέργειες από δύο μύκητες, έναν καστανής σήψης *Coniophora puteana* (No FPRL 11E – κωδικός καλλιέργειας) και έναν λευκής σήψης *Termites versicolor* (CTB 863A - κωδικός καλλιέργειας). Προζυγισμένα δείγματα των ξυλοπλάκων τοποθετήθηκαν σε ειδικά δοχεία χωρητικότητας 0.5 λίτρων, στα οποία υπήρχαν καλλιέργειες των μυκήτων. Η περίοδος επώασης ήταν 16 εβδομάδες και πραγματοποιήθηκε σε ειδικό θάλαμο με συνθήκες 22°C και 75% σχετική υγρασία. Μετά το πέρας της επώασης, τα δείγματα καθαρίστηκαν επιφανειακά από τις μυκηλιακές υφές και ζυγίστηκαν. Η απώλεια βάρους υπολογίστηκε με βάση το αρχικό και το τελικό βάρος των δειγμάτων (πριν και μετά την έκθεση στους μύκητες).

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 3.1. Πειράματα ενυδάτωσης

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων ενυδάτωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα I. Από τον Πίνακα προκύπτει ότι το μίγμα ξυλοτεμαχιδίων σφενδάμου τσιμέντου παρουσιάζει μέτριο ανασταλτικό δείκτη

**Πίνακας I:** Ανασταλτικός δείκτης του σφενδάμου (τυπική απόκλιση στην παρένθεση).

**Table I:** Inhibitory index of maple wood species used in this study. (standard deviations in parentheses).

Είδος Ξύλου	Ανασταλτικός δείκτης (%)
Wood species	Inhibitory index (%)
Σφενδάμι (maple)	22,25 <sup>a</sup> (3,2)

a: Μέσος όρος τεσσάρων επαναλήψεων

a: mean of four replicates

και μπορεί να αποτελέσει υποψήφιο υλικό για την κατασκευή ξυλοπλακών ακόμα και χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Σύμφωνα με τους Hofstrand et al. (1984) και Okino et al. (2005), ανασταλτικός δείκτης μεταξύ 10 και 50 υποδηλώνει μέτρια αναστολή. Συγκρίσιμα αποτελέσματα στη διεθνή βιβλιογραφία όσον αφορά τη συμβατότητα μεταξύ ξυλοτεμαχιδίων σφενδάμου και τσιμέντου δεν υπάρχουν. Ξυλοτεμαχίδια άλλων δασοπονικών ειδών που σε μίξη με τσιμέντο έδωσαν μέτριους ανασταλτικούς δείκτες είναι η ελάτη, το πεύκο, ο γαύρος και ο ευκάλυπτος (Jorge et al. 2004, Okino et al. 2004, 2005).

### 3.2. Μηχανικές και υγροσκοπικές ιδιότητες των ξυλοπλακών

Τα αποτελέσματα προσδιορισμού των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των ξυλοπλακών που κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου: ξύλου 3:1 και 4:1, παρουσιάζονται στον Πίνακα II. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, η αύξηση της αναλογίας τσιμέντου: ξύλου είχε σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας, του εγκάρσιου εφελκυσμού και της κατά πάχος διόγκωσης, μετά από 24 ώρες εμβάπτιση σε νερό. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αυτά άλλων ερευνητών. Έχει αναφερθεί μάλιστα ότι η σχέση μεταξύ των τριών αυτών ιδιοτήτων και της αναλογίας ξύλου: τσιμέντου

(1:2, 1:3, 1:4) είναι ευθύγραμμη (Fuwape 1985, Moslemi and Pfister 1987, Papadopoulos et al. 2006). Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες ιδιότητες, το μέτρο θραύσης μειώθηκε όταν αυξήθηκε η αναλογία τσιμέντου: ξύλου, όπως προκύπτει από τον Πίνακα II. Μείωση του μέτρου θραύσεως έχει παρατηρηθεί στη βιβλιογραφία και είναι αναμενόμενη (Moslemi and Pfister 1987, Papadopoulos et al. 2006). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση του ποσοστού των ξυλοτεμαχιδίων στις ξυλοπλάκες, η περιοχή συγκέντρωσης των δυνάμεων φόρτισης γύρω από τα τεμαχίδια ξύλου είναι πιο διάσπαρτη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επίδραση των δυνάμεων φόρτισης και να μειώνεται το μέτρο θραύσης (Moslemi and Pfister 1987, Okino et al. 2004).

Στην τελευταία σειρά του Πίνακα II, δίνονται οι ελάχιστες αποδεκτές τιμές των ιδιοτήτων που μελετήθηκαν, για ξυλοπλάκα με τσιμέντο πυκνότητας 1,2 gr/cm<sup>3</sup> και πάχους 15 χιλιοστών, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα HZ code (Bison: wood cement board, 1993). Οι τιμές των ιδιοτήτων των πλακών που κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου ξύλου 4:1, ήταν κατά πολύ υψηλότερες των ελαχίστων αποδεκτών. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των πλακών που κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου ξύλου 4:1 ήταν κατά πολύ υψηλότερες των ελαχί-

**Πίνακας II:** Μηχανικές και υγροσκοπικές ιδιότητες των τσιμεντοπλακών (τυπική απόκλιση στην παρένθεση).  
**Table II.** Mechanical and hygroscopic properties of cement-bonded maple boards. (standard deviations in parentheses).

Ξύλο: Τσιμέντο Wood: cement	Πυκνότητα <sup>α</sup> Density (g/cm <sup>3</sup> )	Μέτρο θραύσης <sup>β</sup> Modulus of rupture (N/mm <sup>2</sup> )	Μέτρο ελαστικότητας <sup>β</sup> Modulus of elasticity (N/mm <sup>2</sup> )	Εγκάρσιος εφελκυσμός <sup>α</sup> Internal bond strength (N/mm <sup>2</sup> )	Διόγκωση κατά πάχος Thickness swelling (%)
1:3	1,22 (0,12)	14,52 (0,6)	6342,7 (29,1)	0,38 (0,019)	4,42 (1,2)
1 :4	1,17 (0,14)	12,30 (0,9)	6972,4 (202,3)	0,63 (0,034)	2,51 (0,8)
<i>BISON type HZ</i>	<i>1,20</i>	<i>9,0</i>	<i>3000</i>	<i>0,40</i>	<i>1,2 – 1,8</i>

α: Μέσος όρος δώδεκα επαναλήψεων  
α: mean of twelve replicates  
β: Μέσος όρος οκτώ επαναλήψεων  
β: mean of eight replicates

στων αποδεκτών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα HZ code. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των πλακών με αναλογία τσιμέντου ξύλου 3:1, ικανοποίησαν τις ελάχιστες αποδεκτές του Ευρωκώδικα με εξαίρεση την τιμή του εγκάρσιου εφελκυσμού. Σε αντίθεση με τις μηχανικές ιδιότητες, οι υγροσκοπικές ιδιότητες δεν βελτιώθηκαν και οι τιμές της κατά πάχος διόγκωσης των πειραματικών πλακών ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες της μέγιστης αποδεκτής.

### 3.3. Φυσική ανθεκτικότητα των ξυλοπλακών

Η απώλεια βάρους των δειγμάτων μετά από 16 εβδομάδων περιόδου επώασης, παρουσιάζεται στον Πίνακα III. Οι δύο μύκητες απέτυχαν να προκαλέσουν σήψη στα δείγματα. Παρατηρήθηκε μόνο μια μικρή παρουσία μυκηλιακών υφών στην επιφάνεια των δειγμάτων. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα, τα δείγματα παρουσίασαν αύξηση αντί για απώλεια βάρους. Αυτό, σύμφωνα με τους Okino et al. (2004, 2005), οφείλεται στο γεγονός ότι η σκλήρυνση του τσιμέντου ολοκληρώθηκε αργότερα από το σύνηθες χρονικό διάστημα. Η αύξηση βάρους που παρατηρήθηκε δεν μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της υγρασίας της πλάκας κατά την περίοδο επώασης, γιατί σύμφωνα με τις προδιαγραφές (DD ENV 12038, 1996), από τις τελικές τιμές που παρουσιάζονται στους Πίνακες αφαιρούνται οι τιμές των μαρτύρων – ελεγκτών υγρασίας (προϋζυγισμένα δείγματα ξυλοπλακών τοποθετημένα σε ειδικά δοχεία στα οποία δεν υπάρχουν καλλιέργειες μυκητών). Η μελέτη της φυσικής ανθεκτικότητας των ξυλοπλακών από τσιμέντο δεν είναι συχνή στη βιβλιογραφία. Γενικά έχει παρατηρηθεί ότι οι πλάκες που κατασκευάζονται με ξύλο και τσιμέντο σε αναλογία

μεγαλύτερη του 1:2, είναι εξαιρετικά ανθεκτικές σε προσβολή από μύκητες (Pirie et al. 1990, Dinwoodie and Paxton 1991, Okino et al. 2004, 2005).

### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η καταλληλότητα χρήσης ξυλοτεμαχιδίων σφενδάμου σε μίξη με τσιμέντο, ως πιθανή πρώτη ύλη για την κατασκευή ξυλοπλακών και μελετήθηκαν οι μηχανικές, φυσικές ιδιότητες καθώς και η βιολογική ανθεκτικότητα του προϊόντος. Βάση των αποτελεσμάτων ενυδάτωσης διαπιστώθηκε ότι το μίγμα ξυλοτεμαχιδίων σφενδάμου- τσιμέντου, παρουσιάζει μέτριο ανασταλτικό δείκτη και μπορεί να αποτελέσει υποψήφιο υλικό για την κατασκευή ξυλοπλακών. Τσιμεντόπλακες κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου: ξύλου 3:1 και 4:1. Αύξηση της αναλογίας τσιμέντου: ξύλου είχε σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας, του εγκάρσιου εφελκυσμού και της κατά πάχος διόγκωσης κατά πάχος, μετά από 24 ώρες εμβάπτιση σε νερό. Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες ιδιότητες, το μέτρο θραύσης μειώθηκε όταν αυξήθηκε η αναλογία τσιμέντου: ξύλου. Οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των πλακών που κατασκευάστηκαν με αναλογία τσιμέντου ξύλου 4:1 ήταν κατά πολύ υψηλότερες των ελαχίστων αποδεκτών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα HZ code, σε αντίθεση με τις υγροσκοπικές ιδιότητες που δεν βελτιώθηκαν και οι τιμές της κατά πάχος διόγκωσης ήταν κατά πολύ μεγαλύτερες της μέγιστης αποδεκτής. Όσον αφορά τη βιολογική ανθεκτικότητα του προϊόντος, και οι δύο μύκητες που χρησιμοποιήθηκαν απέτυχαν να προκαλέσουν σήψη στα δείγματα.

**Πίνακας III:** Απώλεια βάρους των τσιμεντοπλακών μετά από έκθεση τους σε μύκητες (τυπική απόκλιση στην παρένθεση).

**Table III:** Weight loss of cement-bonded maple boards due to fungi expose. (standard deviations in parentheses).

	Απώλεια βάρους <sup>a</sup> (%)	
	Weight loss <sup>a</sup> (%)	
Ξύλο: Τσιμέντο Wood : cement	Καστανή σήψη Brown rot	Λευκή σήψη White rot
1:3	-0,74 (0,05)	-1,21 (0,33)
1 :4	-3,12 (0,15)	-2,78 (0,45)

a: Μέσος όρος δώδεκα επαναλήψεων  
a: mean of twelve replicates

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Απευθύνονται θερμές ευχαριστίες στον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων και Έρευνας του ΑΤΕΙ Καβάλας για τη χρηματοδότηση του ερευνητικού προγράμματος Έργαστηριακή παραγωγή καινοτόμων προϊόντων ξύλου με χρήση τοιμέντου ως συ-

γκολλητική ουσία'. Ευχαριστίες εκφράζονται στον Dr. Mike Hale από το Πανεπιστήμιο Μπράνγκοκ της Ουαλίας, για την επίβλεψη των πειραμάτων φυσικής ανθεκτικότητας και στην Royal Society (U.K) για τη χρηματοδότηση πέντε επιστημονικών αποστολών μικρής διάρκειας (short term scientific missions).

## Physical - hygroscopic properties and natural durability of *Acer platanoides* L. experimental cement bonded particleboards

Antonios N. Papadopoulos<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Cement bonded particleboards were manufactured from maple (*Acer platanoides* L.) wood particles. Hydration tests were carried out to determine the inhibitory index in order to characterise wood-cement compatibility. The results revealed that the mixture of maple-cement can be classified as moderate inhibition. Two wood: cement ratios were applied in this study, namely 1:3 and 1:4, for the board manufacture. It was found that an increase of cement-wood ratio resulted to an increase in all, but MOR values. The mechanical properties, excluding the IB value of boards made from 1:3 wood: cement ratio, surpassed the minimum requirements set forth by the building type HZ code. However, the values of thickness swelling were lower than the minimum requirements. Boards were exposed to brown and white rot fungi, *Coniophora puteana*, *Termites versicolor* respectively. Overall, both fungi failed to attack the cement-bonded boards.

**Keywords:** Cement bonded boards, maple, *Acer platanoides* L., inhibitory index, mechanical properties, hygroscopic properties, natural durability.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BISON Wood-Cement Board. 1993: Euro-code. CEN European Committee for Standardisation; 1993.
- DD ENV 12038 Wood Preservatives. 1996. Determination of the toxic values against wood destroying Basidiomycetes cultured on an agar medium. British Standards Institution. EN 113 (1982).
- Deppe, H., 1974. New technology for manufacturing of high density cement bonded particleboard. Forest Products Journal 24(4): 99-105.
- Dinwoodie, J.M., Paxton, B.H. 1991: The long term performance of cement-bonded particleboard. In: Inorganic bonded wood and fiber materials. 2<sup>nd</sup> International Conference, Moscow, pp 45.
- European Standard EN 310. 1993: Particleboards and fibreboards-Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. CEN European Committee for Standardisation.
- European Standard EN 317. 1993: Particleboards and fibreboards-Determination of swelling in thickness after immersion in water. CEN European Committee for Standardisation.
- European Standard EN 319. 1993: Particleboards and fibreboards-Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. CEN European Committee for Standardisation.
- Fuwape, J.A. 1995: The effect of cement-wood ratio on the strength properties of cement-bonded particleboard from spruce. Journal of Tropical Forest Products 1:49-58.
- Hatschek, A., 1990. Correlation between wood-cement compatibility and wood extractives. Forest Products Journal 39(6):55-62.
- Hosfstarnd, A.D., Moslemi, A.A., Garcia, J.F. 1984: Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species

<sup>1</sup> Technological Educational Institute of Kavala, Branch of Drama, Department of Forestry and Management of Natural Environment, Laboratory of Wood and Wood Products.

- mixed with Portland cement. *Forest Products Journal* 34(2): 57-61.
- Jorge, F.C., Pereira, C., Ferreira, J.M.F. 2004: Wood-cement composites: a review. *Holz als Roh-und Werkstoff* 62: 370-377.
- Moslemi, A.A, Pfister, S.C. 1987: The influence of cement-wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood and Fiber Science* 19:165-175.
- Okino, E.Y.A., deSouza M.R., Santana M.A.E., da Alves, M.V., de souza, M.E., Texeira, D.E. 2004: Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. *Cement & Concretes Composites* 26:729-734.
- Okino, E.Y.A., deSouza M.R., Santana M.A.E., da Alves, M.V., de souza, M.E., Texeira, D.E. 2005: Physicomechanical properties and decay resistance of *Cupressus* ssp. cement-bonded particleboards. *Cement & Concretes Composites* 27:333-338.
- Papadopoulos, A.N., Ntalos, G.A., Kakaras, I. 2006: Mechanical and physical properties of cement-bonded OSB. *Holz als Roh-und Werkstoff* 2006; 64:517-518.
- Pirie, B.J., Glasser, F.O., Schimitts, H., Akers, S.A.S. 1990: Durability studies and characterisation of the matrix and fibre-cement interface of asbestos-free fibre-cement products. *Cement & Concrete Composites* 12:233-234.
- Sudin, R., Shaari, K., Selamat, S. 1995 . Cement-bonded particleboard from pre-soaked oil palm trunk: effects of particle size and chemical additive. *Journal of Tropical Forest Products* 1:71-77.
- Weatherwax, R.C., Tarkow, H. 1964: Effect of wood on setting of Portland cement. *Forest Products Journal* 12: 567-570.



## Μονομεταβλητή ανάλυση χρονολογικών σειρών: Εφαρμογή σε δασικά προϊόντα του Νομού Σερρών

Κ.Γ. Παπασπυρόπουλος<sup>1</sup>, Β. Μπλιούμης<sup>1</sup>, Γ. Σταματέλλος<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τιμές πώλησης των δασικών προϊόντων αποτελούν σημαντικότερες μεταβλητές για την επίτευξη κατάλληλων συνθηκών διαχείρισης των δασών μιας χώρας. Οι τιμές αυτές ως οικονομικές μεταβλητές μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυσης μονομεταβλητών χρονολογικών σειρών, όπως αυτή των Box & Jenkins. Ο νομός Σερρών, με παραγωγή ξυλείας η οποία προσφέρει μεγάλο ποσοστό των εσόδων από τη συνολική παραγωγή των δημοσίων δασών της Ελλάδας, χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τα τρία Δασαρχεία του νομού, Σερρών, Σιδηροκάστρου και Νιγρίτας. Εξετάστηκαν τέσσερα δασικά προϊόντα, η στρογγύλη ξυλεία οξυάς, η στρογγύλη ξυλεία δρυός, τα καυσόξυλα οξυάς και τα καυσόξυλα δρυός για την περίοδο μεταξύ 1<sup>ου</sup> τριμήνου του 1988 και 4<sup>ου</sup> τριμήνου 2004. Οι μέσες τριμηνιαίες τιμές πώλησης ήταν αυτές που προέκυπταν από τις πωλήσεις των Αγροτικών Δασικών Συνεταιρισμών (ΑΔΣ) σε εμπόρους ξυλείας (με το ΠΔ 126/86). Δημιουργήθηκαν οκτώ χρονολογικές σειρές τόσο σε ονομαστικό, όσο και σε πραγματικό επίπεδο τιμών. Αποδείχτηκε ότι οι περισσότερες σειρές είναι ολοκληρωμένες πρώτης τάξης,  $I(1)$ , ενώ μόλις δύο ήταν στατικές, η σειρά ονομαστικών τιμών στρογγύλης ξυλείας δρυός και η σειρά πραγματικών τιμών καυσόξυλων οξυάς. Τα ARIMA μοντέλα που προσαρμόστηκαν έδωσαν ακριβείς προβλέψεις για το 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> τρίμηνο του 2005, που έφτασαν στο 1,4% κατώτατο ποσοστό σφάλματος. Η ακρίβεια των προβλέψεων εξετάστηκε με τα RMSE, MAPE και ASEP. Τα αποτελέσματα μπορούν να προσφέρουν καλύτερη διαπραγμάτευση των τιμών πώλησης της ξυλείας στον νομό Σερρών.

**Λέξεις-κλειδιά:** προβλέψεις, ARIMA μοντέλα, τιμές πώλησης ξυλείας, Σέρρες.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση και πρόβλεψη χρονολογικών σειρών είναι ένας κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών που γνώρισε αλματώδη πρόοδο κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Συριόπουλος και Λεωντίσης, 2000). Με τον όρο χρονολογική σειρά χαρακτηρίζεται μια σειρά συνεχών δεδομένων με κύρια χαρακτηριστικά την καθορισμένη διάταξη των παρατηρήσεων διαχρονικά και την καθορισμένη εξάρτηση μεταξύ των διαδοχικών παρατηρήσεων της σειράς. Η καθορισμένη αυτή διάταξη και εξάρτηση είναι που εγγυάται τη δημιουργία αξιόπιστων προβλέψεων (Vandaele 1983). Οι τιμές πώλησης των δασικών προϊόντων αποτελούν σημαντικότερες μεταβλητές

για την επίτευξη κατάλληλων συνθηκών διαχείρισης των δασών μιας χώρας (Leskinen και Kangas, 2001). Οι τιμές αυτές ως οικονομικές μεταβλητές μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυσης μονομεταβλητών χρονολογικών σειρών (Yin, 1999), όπως αυτή των Box και Jenkins (1976). Ο νομός Σερρών είναι από τους πιο παραγωγικούς σε δασικά προϊόντα νομούς της Ελλάδας (μέση ετήσια συνολική παραγωγή μεγαλύτερη από 30.000 m<sup>3</sup>), με μεγάλο αριθμό ΑΔΣ<sup>3</sup> να δραστηριοποιούνται στα δάση του. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι: α) να εκτιμηθούν μοντέλα πρόβλεψης μελλοντικών τιμών πώλησης για τέσσερα δασικά προϊόντα που πωλούνται ευρέως από τους ΑΔΣ

<sup>1</sup> Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Δασικής Οικονομικής, Τ.Θ. 242, 541 24 Θεσσαλονίκη, Τηλ.: 2310992341, fax: 2310992695. e-mail: kodafype@for.auth.gr, http://aeiforia.for.auth.gr.

<sup>2</sup> Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Δασικής Βιομετρίας.

<sup>3</sup> Στο Δασαρχείο Σερρών δραστηριοποιούνται 9 ΑΔΣ της περιοχής, στο Δασαρχείο Σιδηροκάστρου 41 ΑΔΣ της περιοχής και στο Δασαρχείο Νιγρίτας 4 ΑΔΣ της περιοχής και 3 ΑΔΣ εκτός περιοχής.

του νομού Σερρών και β) να συγκριθούν οι προβλεπόμενες τιμές με τις πραγματοποιηθείσες.

Δεν έχουν γίνει παγκοσμίως πολλές εργασίες πάνω στην πρόβλεψη μελλοντικών τιμών πώλησης δασικών προϊόντων. Αυτό διαπιστώνει και ο Yin (1999), ο οποίος κάνει χρήση μονομεταβλητών μοντέλων ARIMA (όπως ονομάζονται τα μοντέλα που προκύπτουν από τη μεθοδολογία Box Jenkins) και θεωρεί ότι έχει γίνει λίγη έρευνα πάνω στο πώς μπορεί ένας αναλυτής να προβλέψει τις μελλοντικές τιμές ενός δασικού προϊόντος. Ο Yin αποδεικνύει ότι είναι δυνατή η βραχυχρόνια πρόβλεψη τέτοιων τιμών, αφού τα αποτελέσματά του πέφτουν πολύ κοντά στην πραγματικότητα. Ανάλογες εργασίες μπορεί να βρει κανείς στους Leskinen και Kangas (1998), στον Gong (1999) και στους Leskinen και Kangas (2001), ενώ στην Ελλάδα χρήση των μοντέλων ARIMA σε δασικές εφαρμογές διάφορες από την πρόβλεψη τιμών δασικών προϊόντων έχει γίνει από τους Παπασταύρου κ.α. (1986), Ανάγνο (1988), Christodoulou et al (2001), Μπλιούμη κ.α. (2001) και Θεοδωροπούλου-Πιεροράκου κ.α. (2002).

#### ΥΔΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο νομός Σερρών κατέχει το 2,6% των δασών και δασικών εκτάσεων της Ελλάδας, με επιφάνεια 166.951 Ha (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2004) που αποτελούν το 42,8% της συνολικής έκτασης του νομού, ενώ η Δασική Υπηρεσία διαχειρίζεται το σύνολο των διαθεσίμων δημοσίων δασών που έχει υπό την ευθύνη της. Αυτό το γεγονός συμβάλλει στο να προσφέρει η περιοχή αυτή το 9% των εσόδων από την συνολική παραγωγή των δημοσίων δασών με ΚΕΔ και το 17,5% με ΠΔ 126/86 της Ελλάδας (YAAT 2004). Για τους λόγους αυτούς θεωρήθηκε ότι ο νομός αυτός είναι κατάλληλος για την κατασκευή χρονολογικών σειρών.

Οι χρονολογικές σειρές είναι τυχαία δείγματα των λεγόμενων στοχαστικών διαδικασιών, δηλαδή συλλογών από τυχαίες μεταβλητές οι οποίες διατάσσονται στο χρόνο (Γεωργαντά 1987, Mills 1990, Gujarati 2003). Μια χρονολογική σειρά είναι στατική όταν ο μέσος όρος, η διακύμανση και η συνδιακύμανσή της σε διάφορες υστερήσεις παραμένουν ίδια, ανεξάρτητα σε ποιο χρονικό σημείο μετρούνται. Σε τέτοιες σειρές εφαρμόζονται τα ARIMA μοντέλα. Σε αντίθετη περίπτωση ονομάζεται μη στατική. Η στατική χρονολογική σειρά που ταυτόχρονα έχει μέσο όρο ίσο με το 0, σταθερή διακύμανση  $\sigma^2$  και είναι σειριακά ασυσχέτιστη, ονομά-

ζεται λευκός θόρυβος. Στην πράξη οι περισσότερες οικονομικές σειρές είναι μη στατικές, εξαιτίας συνήθως του μη σταθερού μέσου όρου. Για να γίνουν στατικές πρέπει να διαφοροποιηθούν, να δημιουργηθεί δηλαδή μια νέα σειρά, αφαιρώντας τη νέα τιμή από την αμέσως προηγούμενη. Ανάλογα με το πόσες φορές  $d$  πρέπει να διαφοροποιηθεί μια σειρά για να γίνει στατική, οι χρονολογικές σειρές ονομάζονται ολοκληρωμένες τάξης  $d$ , ή  $Y_t \sim I(d)$ , όπου  $Y_t$  η χρονολογική σειρά. Αν δεν έχουν και σταθερή διακύμανση, τότε πρέπει πριν να ληφθούν οι πρώτες διαφορές της, οι πραγματοποιήσεις της (όπως ονομάζονται) να μετασχηματιστούν στο νεπέριο λογάριθμο τους και μετά να παίρνονται οι πρώτες διαφορές. Τότε συμβολίζονται με  $Y_t \sim \log-I(d)$ . Ο έλεγχος για στατικότητα μπορεί να γίνει είτε με τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης ACF, είτε με τον Επαυξημένο Έλεγχο των Dickey-Fuller (ADF test) (Dickey και Fuller 1979, Gujarati 2003). Κάθε μοντέλο ARIMA εκφράζεται ως ARIMA (p,d,q). Το  $p$  συμβολίζει τον αριθμό των αυτοπαλινδρομικών όρων AR(p) που περιέχει το μοντέλο, το  $q$  τον αριθμό των όρων κινούμενου μέσου MA(q) και το  $d$  τον αριθμό των διαφοροποιήσεων που υπέστη η χρονολογική σειρά για να καταστεί στατική. Τα ARIMA μοντέλα περιγράφονται από τη σχέση

$$Y_t = \alpha + \theta_1 \cdot Y_{t-1} + \theta_2 \cdot Y_{t-2} + \dots + \theta_p \cdot Y_{t-p} + \varphi_0 \cdot u_t + \varphi_1 \cdot u_{t-1} + \dots + \varphi_q \cdot u_{t-q} \quad (1)$$

όπου  $Y_{t-1}$  έως  $Y_{t-n}$  οι AR όροι,  $u_t$  έως  $u_{t-q}$  οι MA όροι,  $\theta$  και  $\varphi$  συντελεστές των όρων αυτών αντίστοιχα και  $\alpha$  σταθερά. Για να καταλήξει κάποιος σε τέτοιου τύπου μοντέλα είναι αναγκαίο να χρησιμοποιήσει κάποια λογισμικά, όπως είναι το SPSS 12.0 και το Microfit 4.1 που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την έρευνα. Η διαδικασία που ακολουθείται, όπως την περιγράφουν οι Box και Jenkins (1976) είναι η εξής: αρχικά αναγνωρίζονται τα  $p$ ,  $d$ ,  $q$  από τα διαγράμματα αυτοσυσχέτισης ACF και μερικής αυτοσυσχέτισης PACF. Εκτιμώνται οι συντελεστές  $\theta$  και  $\varphi$  με τη βοήθεια των λογισμικών πακέτων. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει και με το χέρι, σύμφωνα με τους αναλυτικούς μαθηματικούς τύπους που δίνουν οι Clements και Hendry (1998) και ο Θαλασσινός (1991). Γίνεται διάγνωση του μοντέλου για το αν ταυριάζει στα δεδομένα: αυτό το δείχνει η εξέταση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης ACF των καταλοίπων της χρονολογικής σειράς. Αν αυτά είναι λευ-

κός θόρυβος, το μοντέλο ταιριάζει στα δεδομένα. Εάν δύο ή περισσότερα μοντέλα παρουσιάζουν κατάλοιπα με λευκό θόρυβο, τότε κατάλληλότερο είναι αυτό που δίνει τις μικρότερες ποσότητες στα κριτήρια Akaike Information Criterion (AIC) και Schwarz Bayesian Criterion (SBC) (Συριόπουλος, 1996). Αμφότερα υπολογίζονται από τα παραπάνω λογισμικά. Αφού τελικά βρεθεί το κατάλληλο μοντέλο, μπορεί να γίνει πρόβλεψη. Ο Vandaele (1983) αναφέρει ότι η πρόβλεψη μπορεί να γίνει είτε με διαδοχική ενημέρωση δηλαδή να χρησιμοποιείται η νέα διαθέσιμη πραγματοποίηση και να εκτιμώνται ξανά ο συντελεστές του μοντέλου, κάνοντας πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο, είτε με προσαρμοζόμενη πρόβλεψη, δηλαδή οι συντελεστές του μοντέλου ARIMA να μένουν ως έχουν και να αλλάζει κάθε φορά η αρχή των δεδομένων. Δηλαδή όταν γίνεται διαθέσιμη η νέα πραγματοποίηση να αφαιρείται από τα δεδομένα η πρώτη πραγματοποίηση της σειράς. Εδώ χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος. Για να ελεγχθεί η προβλεπτική ικανότητα των επιλεγόμενων μοντέλων, το SPSS (1999) και ο Λαζαρίδης (2004) προτείνουν να μη χρησιμοποιούνται όλες οι προβλέψεις της σειράς για την εξαγωγή των μοντέλων, αλλά οι λίγες τελευταίες να χρησιμοποιούνται για να συγκρίνονται με αυτές που δίνει το εκτιμώμενο μοντέλο από τις υπόλοιπες. Το SPSS χαρακτηρίζει ως ιστορική περίοδο αυτή που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μοντέλου και ως περίοδο εφαρμογής αυτή που χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί η προβλεπτική του ικανότητα. Για τον έλεγχο αυτό υπολογίζονται οι ποσότητες: α) η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE), β) το μέσο απόλυτο εκατοστιαίο σφάλμα (MAPE) (Cho 2003) και γ) το μέσο τετράγωνο του σφάλματος πρόβλεψης (ASEP) (Zou και Yang 2004), οι οποίες όσο πιο μικρές είναι τόσο μεγαλύτερη η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου.

Για να δημιουργηθούν οι προς ανάλυση χρονολογικές σειρές συλλέχθηκαν την άνοιξη του 2005 στοιχεία τιμών πώλησης δασικών προϊόντων με το ΠΔ 126/86 στο Νομό Σερρών, από τα αρχεία των Δασαρχειών Σερρών, Σιδηροκάστρου και Νιγρίτας. Έγινε καταγραφή όλων των τιμών πώλησης των βασικότερων δασικών προϊόντων για την περίοδο 1988-2004 και σημειωνόταν το τρίμηνο του εκάστοτε έτους κατά το οποίο πραγματοποιήθηκε η πώληση, αφού ο σκοπός ήταν να υπολογιστούν μέσες τριμηνιαίες τιμές. Τα προϊόντα αυτά ήταν: α) στρογγύλη ξυλεία οξυάς, β) στρογγύλη ξυλεία δρυός, γ) καυσόξυλα

οξυάς και δ) καυσόξυλα δρυός. Εκτός από τη σειρά της στρογγύλης ξυλείας δρυός, οι υπόλοιπες δεν εμφάνισαν καμία ελλείπουσα τιμή. Για την περίπτωση της προαναφερόμενης σειράς με 11 κενά σε σύνολο 68 παρατηρήσεων (ποσοστό 16,18%) θεωρήθηκε ότι ομοιάζει με την περίπτωση του Ανάγνου (1988), ο οποίος προχώρησε στην επεξεργασία χρονολογικών σειρών έχοντας οχτώ ελλείπουσες τιμές σε σύνολο 66 πραγματοποιήσεων, δηλαδή ποσοστό 12,12%, το οποίο και χαρακτηρίζει μικρό. Παρομοίως, οι Sharma et al. (2004) προχωρούν στην εφαρμογή της μεθοδολογίας των μοντέλων ARIMA με ανάλογο ποσοστό ελλειπουσών τιμών.

Για να δημιουργηθεί η χρονολογική σειρά καθενός από τα τέσσερα αυτά προϊόντα υπολογίστηκε ο σταθμισμένος μέσος όρος της τιμής πώλησης με σταθμικό την ποσότητα που πωλήθηκε ανά τρίμηνο (Heikkinen, 2002) σε όλα τα Δασαρχεία. Ο σταθμισμένος αυτός μέσος όρος αποτέλεσε την πραγματοποίηση της χρονολογικής σειράς για κάθε τρίμηνο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν τέσσερις χρονολογικές σειρές με 68 πραγματοποιήσεις η κάθε μια από το 1ο τρίμηνο του 1988 έως το 4ο τρίμηνο του 2004 (Q1:1988 – Q4:2004). Γενικά, μια χρονολογική σειρά με 68 πραγματοποιήσεις θεωρείται ικανοποιητική για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας Box-Jenkins, όπως επιβεβαιώνουν και οι Granger και Newbold (1977) και Gaynor και Kirkpatrick (1994). Η σειρά της στρογγύλης ξυλείας δρυός που περιείχε 11 ελλείπουσες τιμές συμπληρώθηκε με τη μέθοδο της γραμμικής τάσης σε σημείο (SPSS 1999, Θεοδωροπούλου-Πιερράκου κ.ά. 2002).

Κάθε μια από τις τέσσερις σειρές ελέγχθηκε ως προς τα βασικά περιγραφικά στατιστικά που τη χαρακτηρίζουν. Επίσης, ελέγχθηκαν τα θηκογράμμά τους για να διαπιστωθούν ακραίες ή απομακρυσμένες τιμές (Παπασπυρόπουλος, 2003). Η ύπαρξη τέτοιων τιμών μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένη επιλογή μοντέλου (SPSS, 1999), γι αυτό αντικαταστάθηκαν όπως παραπάνω. Γενικά υπάρχουν και άλλοι τρόποι να συμπληρωθούν οι ελλείπουσες τιμές (Στάμου και Ανάγνος 1980, Sharma et al. 2004), ή να μην συμπληρωθούν και να κατασκευαστεί το μοντέλο διατηρώντας τα κενά αυτά (Bondon, 2005). Επειδή τα δεδομένα είναι σε ονομαστικές τιμές (nominal prices) πώλησης και στη διεθνή βιβλιογραφία συνήθως αυτές μετατρέπονται σε πραγματικές τιμές (Mills 1990), έγινε αποπληθωρισμός των πρώτων για να προκύψουν οι δεύτερες. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ως έτος βάσης το 1999,

το οποίο χρησιμοποιείται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας, ΕΣΥΕ (ΕΣΥΕ 2005). Στην ταυτόχρονη επεξεργασία με ονομαστικές και πραγματικές τιμές των ίδιων σειρών συνηγορούν και οι Linchan et al (2003), οι οποίοι εργάστηκαν με αυτόν τον τρόπο για την εκτίμηση των ονομαστικών και πραγματικών ρυθμών αύξησης των τιμών δασικών προϊόντων. Οπότε οι σειρές συμβολίστηκαν ως εξής: α) NSO: ονομαστικές στρογγύλης ξυλείας οξυάς, RSO: πραγματικές στρογγύλης ξυλείας οξυάς, β) NSD: ονομαστικές στρογγύλης ξυλείας δρυός, RSD: πραγματικές στρογγύλης ξυλείας δρυός, γ) NKO: ονομαστικές καυσόξυλων οξυάς, RKO: πραγματικές καυσόξυλων οξυάς και δ) NKD: ονομαστικές καυσόξυλων δρυός, RKD: πραγματικές καυσόξυλων δρυός.

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι χρονολογικές σειρές χωρίστηκαν σε δύο τμήματα: πρώτο αυτό της ιστορικής περιόδου, όπου χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτες 60 τιμές (Q1:1988 – Q4:2002) για να εκτιμηθεί το μοντέλο ARIMA και δεύτερο αυτό της περιόδου εφαρμογής, όπου

ελέγχθηκε η προσαρμογή του μοντέλου στις υπόλοιπες 8 τιμές (Q1:2003 – Q4:2004). Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η εκτίμηση των ARIMA μοντέλων για τις δύο σειρές της στρογγύλης ξυλείας δρυός, ενώ στο τέλος δίνονται όλα τα μοντέλα και για τις οκτώ σειρές καθώς και οι προβλέψεις που προκύπτουν από αυτά.

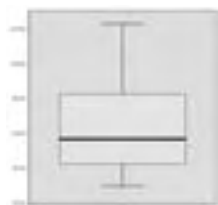
Τα περιγραφικά στατιστικά χαρακτηριστικά των δύο σειρών δίνονται στον Πίνακα Ι.

Τα θηκογράμματα των δύο σειρών παρουσιάζονται στα παρακάτω Σχήματα 1 και 2, τα οποία δείχνουν ότι η NSD έχει πέντε απομακρυσμένες τιμές, οι οποίες αντικαθίστανται, ενώ η RSD δεν παρουσιάζει τέτοιες τιμές.

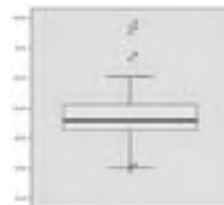
Η γραφική παράσταση των τελικών ονομαστικών και πραγματικών τιμών πώλησης στρογγύλης ξυλείας δρυός, φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 3). Η στρογγύλη ξυλεία δρυός δείχνει μια σαφώς μειούμενη τάση στις πραγματικές τιμές πώλησής της. Επίσης, ενώ η NSD φαίνεται να έχει τόσο σταθερό μέσο όρο όσο και διακύμανση, η RSD φαίνεται να μην έχει τίποτα από τα δύο σταθερό. Αυτή θα μετασχηματιστεί στο νεπέριο λογάριθμό της.

**Πίνακας Ι:** Περιγραφικά στατιστικά μεταβλητών NSD και RSD  
**Table I:** Variables' NSD and RSD descriptive statistics.

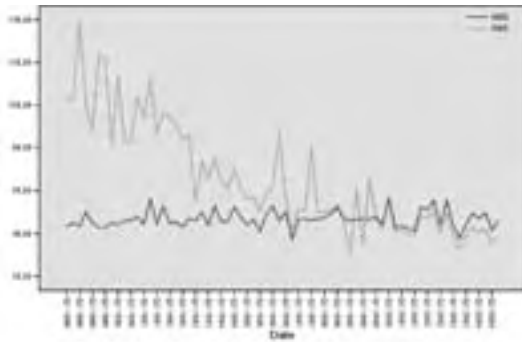
Μεταβλητή	Μέσος Όρος	Τυπικό Σφάλμα Μέσου Όρου	Μικρότερη τιμή πώλησης	Μεγαλύτερη τιμή πώλησης	Διάμεσος	Διακύμανση	Τυπική Απόκλιση
NSD	46,6216	1,24775	29,35	77,13	45,91	88,742	9,42032
RSD	63,4633	3,15685	29,87	123,22	56,9713	568,044	23,83367



**Σχήμα 1:** Θηκόγραμμα μεταβλητής NSD  
**Figure 1:** Variable's NSD boxplot



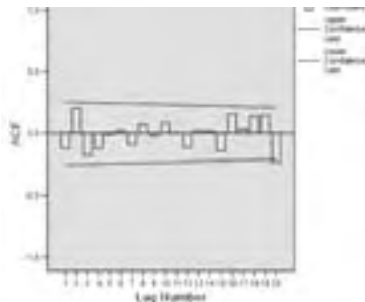
**Σχήμα 2:** Θηκόγραμμα μεταβλητής RSD  
**Figure 2:** Variable's RSD boxplot



**Σχήμα 3:** Διαχρονική εξέλιξη των NSD και RSD για την περίοδο Q1:1988 – Q4:2004

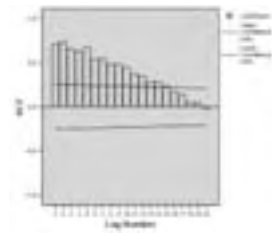
**Figure 3:** The through-time progress of NSD and RSD during Q1:1988 – Q4:2004

Για την ιστορική περίοδο των πρώτων 60 τριμήνων, όπως και στις προηγούμενες χρονολογικές σειρές, εξετάζονται οι συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης των NSD και RSD.



**Σχήμα 4:** Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (ACF) NSD

**Figure 4:** Autocorrelation function (ACF) of NSD

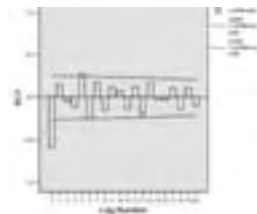


**Σχήμα 5:** Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (ACF) νεπέριων RSD

**Figure 5:** Autocorrelation function (ACF) of log-RSD

Από τα Σχήματα 4 και 5 διαπιστώνεται πως η σειρά NSD είναι σίγουρα λευκός θόρυβος, αφού όλες οι αυτοσυσχετίσεις είναι στατιστικά ίσες με μηδέν. Αντιθέτως, η σειρά RSD της στρογγύλης ξυλείας δρυός μοιάζει να είναι μη στατική, αφού μετά τη 15<sup>η</sup> υστέρηση μηδενίζονται οι αυτοσυσχετίσεις. Θα ελεγχθεί και το ADF τεστ.

Οπότε αποδεικνύεται και στατιστικά ότι η NSD είναι στατική, ενώ η RSD είναι μη στατική αφού τα κατάλοιπά της συσχετίζονται για αριθμό υστερήσεων ίσο με το 2. Η RSD λοιπόν μετασχηματίζεται στις νεπέριες πρώτες διαφορές της και εξετάζεται η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (Σχήμα 6) και μερικής αυτοσυσχέτισης (Σχήμα 7).



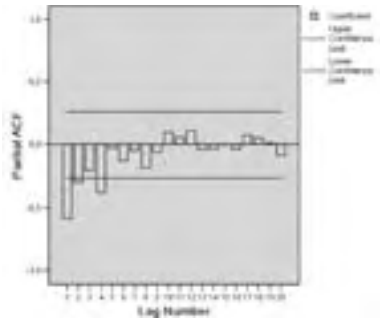
**Σχήμα 6:** Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (ACF) νεπέριων πρώτων διαφορών RSD

**Figure 6:** Autocorrelation function (ACF) for the first differences of RSD

**Πίνακας II:** ADF test για τον έλεγχο στατικότητας των NSD και RSD

**Table II:** ADF test for the stationarity control of NSD and RSD

Χρονολογική σειρά	Τιμή t του συντελεστή δ	Τάξη του ADF ελέγχου	Κριτική τιμή τ ADF ελέγχου	Έλεγχος	Αποτέλεσμα
NSD	-8.2518	0	-3,4919	$ t(\delta)  >  t $	Στατική
RSD	-2.6996	2	-3,4919	$ t(\delta)  <  t $	Μη στατική



**Σχήμα 7:** Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) νεπέριων πρώτων διαφορών RSD

**Figure 6:** Partial autocorrelation function (PACF) for the first differences of NSD

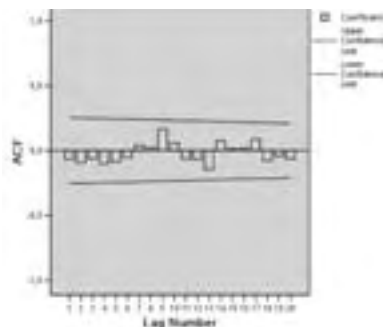
Παρατηρείται ότι υπάρχουν 3 μερικές αυτοσυσχέτισεις, η πρώτη, η δεύτερη και η τέταρτη που είναι σημαντικές. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο μπορεί να περιέχει έως και τέσσερις αυτοπαλινδρομικούς όρους. Επιλέγεται το μοντέλο  $\log\text{-ARIMA}(4,1,0)$ , γιατί το αντίστοιχο  $(2,1,0)$  έδωσε κατάλοιπα που δεν ακολουθούν το μοντέλο του λευκού θορύβου, ενώ το  $(3,1,0)$  έδωσε μεγαλύτερες ποσότητες για τα κριτήρια AIC και SBC από το επιλεχθέν. Οπότε, τα κατάλοιπα του  $\log\text{-ARIMA}(4,1,0)$  και το πώς αυτό προσαρμόζεται στην περίοδο εφαρμογής, δηλαδή για τα οκτώ τρίμηνα του 2003 και του 2004, φαίνονται στα Σχήματα 8 και 9.

Αποδεικνύεται ότι τα κατάλοιπα είναι λευκός θόρυβος. Επίσης, οι προβλεπόμενες τιμές για την

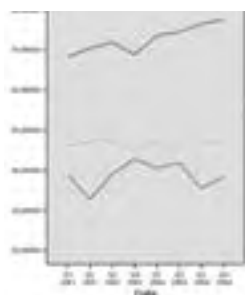
**Πίνακας III:** Τιμές παραμέτρων ARIMA μοντέλων NSD και RSD

**Table III:** The parameters of ARIMA models for NSD and RSD

Χρονολογική σειρά	NSD ~ ARIMA(0,0,0)	RSD ~ $\log\text{-ARI}(4,1)$
$\theta_1$	0	-0,84347586
Τυπικό σφάλμα $\theta_1$	-	0,12537023
$\theta_2$	0	-0,53919880
Τυπικό σφάλμα $\theta_2$	-	0,15989625
$\theta_3$	0	-0,43959164
Τυπικό σφάλμα $\theta_3$	-	0,15844054
$\theta_4$	0	-0,33830685
Τυπικό σφάλμα $\theta_4$	-	0,12565657
$\varphi$	0	0
Τυπικό σφάλμα $\varphi$	-	-
$\alpha$	0	0
Τυπικό σφάλμα $\alpha$	-	-
Μοντέλο	$Y_t = \mu$	$Y_t = 0,15652414Y_{t-1} + 0,30427706Y_{t-2} + 0,099607167Y_{t-3} + 0,10128479Y_{t-4} + 0,33830685Y_{t-5}$
Τυπικό σφάλμα μοντέλου	-	0,19669099
AIC	-	-19,372627
SBC	-	-11,062477



**Σχήμα 8:** Συνάρτηση ACF καταλοίπων της RSD  
**Figure 8:** ACF function of RSD residuals



**Σχήμα 9:** Προσαρμογή του μοντέλου log-ARI(4,1) στην περίοδο πρόβλεψης της RSD  
**Figure 9:** Fitting of log-ARI(4,1) to the validation period of RSD

περίοδο εφαρμογής συμπεριλαμβάνονται μέσα στο διάστημα εμπιστοσύνης της πρόβλεψης.

Μετά από τα παραπάνω, μπορούν να παρουσιαστούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των δύο μοντέλων στον Πίνακα III που ακολουθεί. Να σημειωθεί και πάλι, ότι αφού έχει ληφθεί ο νεπέριος λογάριθμος των πραγματικών τιμών πώλησης, τα σφάλματα του παρακάτω πίνακα είναι οι νεπέριοι αριθμοί των κανονικών σφαλμάτων.

Από τον πίνακα φαίνεται ότι η καλύτερη πρόβλεψη για το μοντέλο των ονομαστικών τιμών είναι ο αριθμητικός μέσος όρος της σειράς. Όμως, για το μοντέλο των πραγματικών τιμών δεν ισχύει το ίδιο. Η σειρά περιγράφεται από ένα log-ARIMA(4,1,0) μοντέλο. Θα ήταν αναμενόμενο πάντως οι δύο χρονολογικές σειρές να εκφράζονται με το ίδιο πάνω κάτω μοντέλο. Ως μια εξήγηση μπορεί να δοθεί ότι έπαιξε ρόλο ο μεγάλος πληθωρισμός στις αρχές τις δεκαετίας του 90. Έτσι, ενώ οι ονομαστικές τιμές κινήθηκαν όλα αυτά τα 18 χρόνια γύρω από μια μέση τιμή, χωρίς μεγάλες εκτροπές, οι πραγματικές τιμές έπεφταν παρουσιάζοντας μεγάλη μεταβλητότητα. Αυτή πάντως η διαφοροποίηση μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι υπάρχουν αρκετές ελλείπουσες τιμές. Στον Πίνακα IV φαίνονται συγκριτικά τα εκτιμώμενα μοντέλα ARIMA και οι αντίστοιχοι τύποι τους για κάθε μια από τις οκτώ χρονολογικές σειρές.

**Πίνακας IV:** Μοντέλα ARIMA και τύποι μοντέλων των 4 δασικών προϊόντων

**Table IV:** ARIMA models and their functions for the 4 forest products

Δασικό προϊόν	Χρονολογική σειρά	Μοντέλο ARIMA	Τύπος Μοντέλου
Στρογγύλη ξυλεία οξυάς	NSO	(0,1,0)	$Y_t = Y_{t-1}$
	RSO	(0,1,0)	$Y_t = Y_{t-1}$
Καυσόξυλα δρυός	NKD	(0,1,1)	$Y_t = Y_{t-1} - 0,3324u_{t-1}$
	RKD	(1,1,0)	$Y_t = 0,5550Y_{t-1} + 0,4450Y_{t-2}$
Καυσόξυλα οξυάς	NKO	(0,1,1)	$Y_t = 0,1295 + Y_{t-1} - 0,5382u_{t-1}$
	RKO	(2,0,0)	$Y_t = 0,3858Y_{t-1} + 0,4198Y_{t-2} + 3,0263$
Στρογγύλη ξυλεία δρυός	NSD	(0,0,0)	$Y_t = \mu$
	RSD	Log-(4,1,0)	$Y_t = 0,1565Y_{t-1} + 0,3043Y_{t-2} + 0,0996Y_{t-3} + 0,1013Y_{t-4} + 0,3383Y_{t-5}$

**Πίνακας V:** Δείκτες RMSE, MAPE και ASEP για τις προβλέψεις της περιόδου Q1:2003-Q4:2004  
**Table V:** RMSE, MAPE and ASEP for the forecasts of the period Q1:2003-Q4:2004

Προϊόν	Χρονολογική σειρά	RMSE	MAPE (%)	ASEP
Στρογγύλη ξυλεία οξυάς	NSO ~ I(1)			Δεν γίνονται προβλέψεις, $Y_t = Y_{t-1}$
	RSO ~ I(1)			
Καυσόξυλα δρυός	NKD ~ IMA(1,1)	0,864	3,60	0,746
	RKD ~ ARI(1,1)	0,840	3,70	0,706
Καυσόξυλα οξυάς	NKO ~ IMA(1,1)	0,467	2,32	0,218
	RKO ~ AR(2)	0,412	2,72	0,169
Στρογγύλη ξυλεία δρυός	NSD ~ ARIMA (0,0,0)	Δεν γίνονται προβλέψεις, $Y_t = \mu$		
	RSD ~ log-ARI(4,1)	5,754	12,04	33,114

Μετά από την αναγνώριση, εκτίμηση και διάγνωση των κατάλληλων για τα δεδομένα μοντέλων ARIMA για τα προϊόντα που πωλούνται στο Νομό Σερρών, πρέπει να γίνουν και προβλέψεις για τις νέες τιμές. Οπότε, αφού έχει εκτιμηθεί το μοντέλο ARIMA από την ιστορική περίοδο Q1:1988 έως Q4:2002, γίνονται με βάση αυτό οι προβλέψεις για την περίοδο εφαρμογής Q1:2003 έως Q4:2004. Να σημειωθεί εδώ ότι παρά την αύξηση της χρονολογικής σειράς από 60 πραγματοποιήσεις σε 68, χρησιμοποιούνται τα ίδια μοντέλα με αυτά που εκτιμήθηκαν με τις 60 πραγματοποιήσεις. Για παράδειγμα εάν από την ιστορική περίοδο εκτιμήθηκε το μοντέλο ARIMA (0,1,1), τότε οι συντελεστές του ίδιου μοντέλου επανεκτιμούνται και αυτοί χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των τιμών στην περίοδο πρόβλεψης. Στο ίδιο συνηγορούν και οι Thomakos και Guerard (2004). Στον Πίνακα V φαίνονται οι υπολογισμοί των τριών ποσοτήτων RMSE, MAPE και ASEP για καθένα από τα μοντέλα από τα οποία μπορεί να γίνει πρόβλεψη:

Γενικά παρατηρείται ότι οι προβλέψεις για τις σειρές των καυσόξυλων παρουσιάζουν πολύ μικρά σφάλματα, σε αντίθεση με αυτή του μοντέλου της στρογγύλης ξυλείας δρυός. Από ό,τι φαίνεται είναι λίγο καλύτερες οι προβλέψεις στα μοντέλα των πραγματικών τιμών σε σχέση με αυτά των ονομαστικών τιμών στις σειρές των καυσόξυλων, αφού το RMSE και το ASEP είναι λίγο μικρότερα. Αντιθέτως, το MAPE, το οποίο είναι και ο μόνος δείκτης που μετρά ποσοστό σφάλματος επί της κανονικής τιμής φαίνεται να είναι λίγο καλύτερο για τις ονομα-

στικές τιμές. Οι διαφορές πάντως είναι πολύ μικρές, οπότε όποιο μοντέλο και να χρησιμοποιηθεί είναι πολύ πιθανό ότι θα δώσει καλά αποτελέσματα. Η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου της στρογγύλης ξυλείας δρυός, αν και σαφώς όχι τόσο καλή όσο των άλλων μοντέλων, μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, αφού κανένα άλλο παραπλήσιο ARIMA μοντέλο δεν παρουσίασε καλύτερους δείκτες για αυτήν.

Αφού λοιπόν ελέγχθηκε η προβλεπτική ικανότητα των μοντέλων μπορεί να προχωρήσει η ανάλυση στις προβλέψεις για τα δύο πρώτα τρίμηνα του 2005. Επανεκτιμούνται τα μοντέλα για τις χρονολογικές σειρές από όλο το δείγμα των 68 πραγματοποιήσεων και γίνονται οι προβλέψεις για το 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> τρίμηνο του 2005 για τις πέντε σειρές για τις οποίες είναι δυνατόν αυτό να γίνει, τόσο σε ονομαστικό όσο και σε πραγματικό επίπεδο τιμών. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των στοιχείων έγιναν διαθέσιμες και οι δύο πραγματοποιήσεις για τρίμηνα αυτά, οπότε στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας VI), παρουσιάζονται οι προβλέψεις για τα δύο αυτά τρίμηνα ( $P_{Q1:2005}$ ,  $P_{Q2:2005}$ ), οι παρατηρούμενες τιμές των εν λόγω τριμήνων ( $A_{Q1:2005}$ ,  $A_{Q2:2005}$ ), καθώς και το πραγματικό σφάλμα  $\epsilon$  της πρόβλεψης. Για τις τιμές πρόβλεψης της σειράς των πραγματικών τιμών, οι παρατηρούμενες τιμές αποπληθωρίστηκαν σε επίπεδο τιμών του 1999 για να μπορεί να γίνει η σύγκριση με την πραγματική τιμή που δίνει το μοντέλο.

Από τον παρακάτω πίνακα, μπορεί να διαπιστώσει κανείς τα εξής:

**Καυσόξυλα δρυός.** Για τις σειρές NKD και RKD οι προβλέψεις είναι πολύ καλές, με σφάλμα μικρότε-



**Πίνακας VI:** Προβλέψεις και πραγματοποιήσεις για Q1:2005 και Q2:2005**Table VI:** Forecasts and realizations for Q1:2005 - Q4:2005

Προϊόν	Χρονολογική σειρά	$P_{Q1:2005}$	$A_{Q1:2005}$	$\epsilon_1$	$P_{Q2:2005}$	$A_{Q2:2005}$	$\epsilon_2$
Στρογγύλη ξυλεία οξυάς (€/κιμ)	NSO ~ I(1)	-	45,50	-	-	51,21	-
	RSO ~ I(1)	-	37,35	-	-	42,17	-
Καυσόξυλα δρυός (€/κιμ)	NKD ~ IMA(1,1)	19,72	18,91	-0,81	19,72	20,00	0,28
	RKD ~ ARI(1,1)	16,68	15,52	-1,16	16,70	16,47	-0,23
Καυσόξυλα οξυάς (€/κιμ)	NKO ~ IMA(1,1)	16,51	12,80	-3,71	16,66	15,87	-0,79
	RKO ~ AR(2)	14,29	10,51	-3,78	14,45	13,07	-1,38
Στρογγύλη ξυλεία δρυός (€/κιμ)	NSD ~ ARIMA(0,0,0)	-	50,00	-	-	47,00	-
	RSD ~ log-ARI (4,1)	39,46	41,04	1,58	39,33	38,70	-0,63

ρο του 1,20 €/κιμ. Ειδικά οι προβλέψεις που αφορούν το δεύτερο τρίμηνο του 2005 παρουσιάζουν σφάλμα μικρότερο των 0,30 €/κιμ. Η μεγαλύτερη απόκλιση που έχουν οι προβλέψεις για το πρώτο τρίμηνο του 2005 πιθανόν να οφείλονται στο γεγονός ότι λόγω του μικρότερου όγκου πωλήσεων ξυλείας σε αυτό το τρίμηνο (λόγω και των περιορισμένων υλοτομιών που γίνονται) μια πιθανά μικρή τιμή πώλησης να επηρέασε αρκετά το μέσο όρο του συγκεκριμένου τριμήνου.

**Καυσόξυλα οξυάς.** Για τις σειρές NKO και RKO επίσης οι προβλέψεις του δεύτερου τριμήνου παρουσιάζουν μικρότερο σφάλμα (<1,40 €/κιμ) σε σχέση με αυτές που γίνονται για το πρώτο (<3,80 €/κιμ). Εκτιμάται ότι ο ίδιος λόγος που αναφέρθηκε και προηγουμένως επηρεάζει και την τιμή του πρώτου τριμήνου για τα καυσόξυλα της οξυάς.

**Στρογγύλη ξυλεία δρυός.** Η σειρά RSD δίνει και αυτή καλύτερη πρόβλεψη για το δεύτερο τρίμηνο σε σχέση με αυτή του πρώτου, η οποία όμως είναι εξίσου καλή (<1,60 €/κιμ). Αυτή η ακρίβεια της πρόβλεψης και στο μοντέλο της στρογγύλης ξυλείας δρυός, η οποία είχε 11 ελλείπουσες τιμές, δίνει μια ένδειξη ότι αυτές συμπληρώθηκαν καλά με τη μέθοδο της γραμμικής τάσης σε σημείο.

Γενικά, φαίνεται ότι οι λίγες αγοραπωλησίες καυσόξυλων που έγιναν στο πρώτο τρίμηνο του 2005, επηρέασαν τον μέσο όρο του Νομού, με αποτέλεσμα να αποκλίνει λίγο από την πρόβλεψη.

Στον Πίνακα VII φαίνονται τα 95% και 99% διαστήματα εμπιστοσύνης για τις προβλέψεις του πρώτου και δεύτερου τριμήνου, καθώς και οι προ-

βλέψεις για το τρίτο και τέταρτο τρίμηνο του 2005 (των οποίων οι πραγματικές τιμές κατά τη διάρκεια της έρευνας ήταν άγνωστες), τόσο χωρίς την ενσωμάτωση των πραγματοποιήσεων του πρώτου και δεύτερου τριμήνου, όσο και λαμβάνοντας υπόψη της παρατηρούμενες τελικά τιμές για τα δύο αυτά τρίμηνα (οι οποίες συμβολίζονται με PA).

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει αρχικά ότι όλες οι πραγματοποιήσεις εμπεριέχονται μέσα στα διαστήματα εμπιστοσύνης που δίνει η πρόβλεψη των μοντέλων, εκτός από την τιμή του πρώτου τριμήνου των ονομαστικών τιμών καυσόξυλων οξυάς, που αδυνατούν να την συμπεριλάβουν τόσο το 95%, όσο και το 99% ΔΕ και την τιμή του πρώτου τριμήνου των πραγματικών τιμών καυσόξυλων οξυάς που την εμπεριέχει μόνο το 99% ΔΕ. Επειδή πάντως τα δύο αντίστοιχα μοντέλα NKO και RKO δείχνουν να συμπεριφέρονται καλά, εκτιμάται ότι η αδυναμία της σωστής πρόβλεψης οφείλεται στους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω και όχι σε αστοχία επιλογής του μοντέλου. Εξάλλου, επαναλήψεις που έγιναν με μοντέλα παραπλήσια των δύο παραπάνω δεν κατάφεραν να συμπεριλάβουν τις συγκεκριμένες τιμές στα διαστήματα εμπιστοσύνης. Τέλος, από τις προβλεπόμενες με δύο τρόπους τιμές  $P_{Q3:2005}$ ,  $P_{Q4:2005}$  και  $PA_{Q3:2005}$ ,  $PA_{Q4:2005}$ , φαίνεται ότι για το δεύτερο ζεύγος τιμών, το οποίο προβλέφθηκε αφού ενημερώθηκε το μοντέλο με τις πραγματοποιήσεις για το πρώτο και δεύτερο τρίμηνο του 2005, τα 95% και 99% ΔΕ έχουν μικρότερο εύρος σε σχέση με αυτά του πρώτου ζεύγους. Αυτό επιβεβαιώνει τη βιβλιογραφία, δηλαδή ότι τα εκτιμώμενα μοντέλα θα

**Πίνακας VII:** Διαστήματα εμπιστοσύνης για τις προβλέψεις  
**Table VII:** Confidence Intervals for the forecasts

Χρονολογική σειρά	NKD (€/χγκμ)	RKD (€/χγκμ)	NKO (€/χγκμ)	RKO (€/χγκμ)	RSD (€/κμ)
A <sub>Q1:2005</sub>	18,91	15,52	12,80	10,51	41,04
P <sub>Q1:2005</sub>	19,72	16,68	16,51	14,29	39,46
95% ΔΕ	17,40 – 22,04	13,13 – 20,23	14,53 – 18,49	11,39 – 17,20	26,93 – 57,80
99% ΔΕ	16,63 – 22,81	11,97 – 21,39	13,87 – 19,14	10,43 – 18,15	23,75 – 65,54
A <sub>Q2:2005</sub>	20,00	16,47	15,87	13,07	38,70
P <sub>Q2:2005</sub>	19,72	16,70	16,66	14,45	39,33
95% ΔΕ	16,94 – 22,50	12,64 – 20,76	14,45 – 18,88	11,31 – 17,58	26,68 – 57,97
99% ΔΕ	16,01 – 23,42	11,31 – 22,10	13,72 – 19,61	10,28 – 18,61	23,48 – 65,87
P <sub>Q3:2005</sub>	19,72	16,69	16,82	14,56	39,76
95% ΔΕ	16,54 – 22,90	11,83 – 21,55	14,39 – 19,25	10,97 – 18,15	26,44 – 59,79
99% ΔΕ	15,49 – 23,94	10,24 – 23,14	13,59 – 20,05	9,79 – 19,33	23,12 – 68,38
P <sub>Q4:2005</sub>	19,72	16,70	16,97	14,67	38,05
95% ΔΕ	16,19 – 23,25	11,29 – 22,10	14,34 – 19,61	10,88 – 18,47	25,10 – 57,70
99% ΔΕ	15,03 – 24,41	9,52 – 23,87	13,47 – 20,48	9,63 – 19,71	21,88 – 66,17
PA <sub>Q3:2005</sub>	19,72	16,04	15,52	12,28	40,11
95% ΔΕ	17,42 – 22,02	12,54 – 19,55	13,37 – 17,67	9,28 – 15,28	27,54 – 58,41
99% ΔΕ	16,66 – 22,78	11,39 – 20,70	12,66 – 18,38	8,29 – 16,27	24,34 – 66,09
PA <sub>Q4:2005</sub>	19,72	16,24	15,65	13,11	38,08
95% ΔΕ	16,97 – 22,47	12,23 – 20,24	13,33 – 17,98	9,87 – 16,34	26,00 – 55,79
99% ΔΕ	16,06 – 23,38	10,92 – 21,55	12,57 – 18,74	8,80 – 17,41	22,93 – 63,25

έχουν καλύτερη απόδοση, αν κάθε φορά ενημερώνονται με τη νέα πραγματοποίηση και οι συντελεστές του επαναπροσδιορίζονται (Vandaele 1983).

Από τα παραπάνω αποδεικνύεται ότι τα μοντέλα ARIMA μπορούν να βοηθήσουν στο σχεδιασμό της Δασικής Υπηρεσίας του νομού Σερρών αφού έχουν την ικανότητα να κάνουν προβλέψεις με αρκετά μεγάλη ακρίβεια για τις τιμές πώλησης δασικών προϊόντων. Οι ΑΔΣ μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις

προβλεπόμενες από τα παραπάνω μοντέλα τιμές ως τιμή βάσης στις ελεύθερες διαπραγματεύσεις που κάνουν με τους εμπόρους. Διαφορετικά, αν ο Συνεταιρισμός πωλήσει ξυλεία με δημοπρασία, τότε οι παραπάνω τιμές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως οι τιμές εκκίνησής της. Επίσης, ο εκάστοτε διαχειριστής μπορεί, γνωρίζοντας εκ των προτέρων την τιμή στην οποία θα κυμανθεί το προϊόν, να κατευθύνει την τιμή προς την επιθυμητή κατεύθυνση

με κατάλληλη προσαρμογή των υλοτομικών εργασιών. Μπορεί να ειπωθεί πάντως ότι οι εκτιμήσεις της παρούσας εργασίας μπορούν να αποδειχτούν ένα καλό διαχειριστικό εργαλείο τόσο για τη Δασική Υπηρεσία, όσο και τους ΑΔΣ της περιοχής.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της μονομεταβλητής ανάλυσης χρονολογικών σειρών σε τέσσερα δασικά προϊόντα του νομού Σερρών μπορεί να προσφέρει:

- αξιόπιστες προβλέψεις (που φτάνουν μέχρι και 1,4% κατώτατο σφάλμα ακρίβειας) για τα τρία από αυτά, οι οποίες μπορούν να αποδειχτούν πολύ χρήσιμες για τα ενδιαφερόμενα μέρη.

- επιλογή μεταξύ δύο μοντέλων πρόβλεψης, για δύο από τα προϊόντα αυτά (καυσόξυλα δρυός και οξυάς), ένα για τις ονομαστικές τιμές και ένα για τις πραγματικές. Αμφότερα δίνουν ακριβείς προβλέψεις.

- χρήση της προβλεπόμενης τιμής ως βάση για τις διαπραγματεύσεις μεταξύ ΑΔΣ και εμπόρων ξυλείας, ή ως τιμή εκκίνησης στη διενέργεια δημοπρασίας από τους ΑΔΣ.

- διαπίστωση ότι οι χρονολογικές σειρές τιμών πώλησης δασικών προϊόντων στο νομό Σερρών είναι κατά κύριο λόγο μη στατικές, δηλαδή ο μέσος όρος ή/και η διακύμανσή τους μεταβάλλονται με το χρόνο.

Η εφαρμογή των παραπάνω μπορεί να βελτιωθεί:

- Αν τα εκτιμηθέντα μοντέλα ενημερώνονται ανά τρίμηνο με τις νέες παρατηρήσεις.

- Αν υπάρξει μια συνεργασία των τριών Δασαρχείων του νομού ώστε να διατηρείται ένα ξεχωριστό κοινό αρχείο με όλες τις αγοραπωλησίες των ΑΔΣ, για να μπορεί να εξαχθεί ένας μέσος όρος τριμήνου για την περιοχή. Αυτό και θα βελτιώνει τα μοντέλα και θα επιτρέψει και άλλες στατιστικές αναλύσεις των τιμών στο μέλλον.

### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο πρώτος συγγραφέας ευχαριστεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (Ι.Κ.Υ.), του οποίου είναι Υπότροφος, για την οικονομική ενίσχυση κατά την εκπόνηση της έρευνας.

## Univariate analysis of time series data: An application to some forest products in the prefecture of Serres, Greece

K.G. Papaspyropoulos<sup>1</sup>, V. Blioumis<sup>1</sup>, G. Stamatellos<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Timber prices belong to the most important variables affecting the optimality of forest management. They are considered as economic variables, so they can be modeled using methods of univariate time series analysis, like the one of Box-Jenkins. The region of Serres, having a considerable large timber production which contributes with a large proportion to the earnings from national timber sales, was used for application of the method above. Data was collected from the three offices of Forest Service in the region, in Serres, Sidirokastro and Nigrita. The analysis was made for four forest products, round timber of beech, round timber of oak, fuelwood of beech and fuelwood of oak from the first quarter of 1988 until the fourth quarter of 2004. The mean quarter prices were extracted from the prices which were derived during the negotiations between forest associations and the wood traders. Eight time series were created, the first four included the nominal prices of the above products and the other the real prices respectively. It was proven that most of these series were integrated of order 1,  $I(1)$ , contrary to only two, which were stationary. The suitable ARIMA models for every one of these series were chosen and they gave forecasts for the first and the second quarter of 2005, as long as the 95% and 99% confidence intervals. The models resulted minimum prediction error 1,4%. The accuracy of the forecasts was tested with the means of RMSE, MAPE and ASEP. The results can offer a better negotiation of timber prices in the region of Serres.

**Key words:** forecasts, ARIMA models, timber prices, Serres.

<sup>1</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment, Laboratory of Forest Economics, P.O. Box 242, 541 24, Thessaloniki, Tel: +302310992341, fax: +302310992695, e-mail: kodafype@for.auth.gr, http://eiforia.for.auth.gr.

<sup>2</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment, Laboratory of Forest Biometry.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bondon, P., 2005. Influence of Missing Values on the Prediction of a Stationary Time Series. *Journal of Time Series Analysis*. Vol. 26 No 4, 519-525.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., 1976. *Time Series Analysis. Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco. pp. 575.
- Cho, V., 2003. A comparison of three different approaches to tourist arrival forecasting. *Tourism Management*, 24: 323-330.
- Christodoulou, A., Blioumis, V. and Stamatellos, G., 2001. Research and Statistical Analysis of Imports Value of Paper-pulp and Paper. *Proceedings of the International Conference: Forest Research: A Challenge for an Integrated European Approach*. Thessaloniki, Volume II: 759-763.
- Clements, M.P. and Hendry, D.F., 1998. *Forecasting Economic Time Series*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 368.
- Dickey, D. and Fuller, W., 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-431.
- Gaynor, P.E. and Kirkpatrick, R.C., 1994. *Introduction to Time Series Modelling and Forecasting in Business and Economics*. McGraw-Hill, Inc. New York. pp. 625.
- Gong, P., 1999. Optimal harvest policy with first – order autoregressive price process. *J. For. Econ.* 5: 413-439.
- Granger, C.W.J. and Newbold, P., 1977. *Forecasting Economic Time Series*. Academic Press, London, pp. 333.
- Gujarati, D.N., 2003. *Basic Econometrics*. Fourth Edition. McGraw-Hill International Editions, Singapore, pp. 1022.
- Heikkinen, V., 2002. Co-integration of timber and financial markets-Implications for Portfolio Selection. *Forest Science* 48(1): 118-128.
- Leskinen, P. and Kangas, J., 1998. Modelling and simulation of timber prices for forest planning calculations. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 469-476.
- Leskinen, P. and Kangas, J., 2001. Modelling future timber price development by using expert judgments and time series analysis. *Silva Fennica* 35(1): 93-102.
- Linehan, P.E., Jacobson, M.G. and McDill, M.E., 2003. Hardwood Stumpage Price Trends and Regional Market Differences in Pennsylvania. *Northern Journal of Applied Forestry* 20(3): 124-130.
- Mills, T.C., 1990. *Time Series Techniques for Economists*. Cambridge University Press, pp 377.
- Sharma, S., Lingras, P. and Zhong, M., 2004. Effect of missing values estimations on traffic parameters. *Transportation Planning and Technology* 27(2): 119-144.
- SPSS Inc., 1999. *SPSS Trends 10.0*. Chicago, pp. 318.
- Thomakos, D.D. and Guerard, J.B.Jr., 2004. Naïve, ARIMA, nonparametric, transfer function and VAR models: A comparison of forecasting performance. *International Journal of Forecasting*, 20: 56-67.
- Vandaele, W., 1983. *Applied Time Series and Box-Jenkins Models*. Academic Press, Inc, San Diego. pp. 417.
- Yin, R.S., 1999. Forecasting short-term timber prices with univariate ARIMA models. *South. J. Appl. For.* 23: 53-58.
- Zou, H., and Yang, Y., 2004. Combining time series models for forecasting. *International Journal of Forecasting*, 20: 69-84.
- Ανάγνος, Ν., 1988. Ανάλυση Τιμών (Χρονικών Σειρών) με τη Χρήση Μονομεταβλητών Μεθόδων (Χρονικές Υστερήσεις και Μέθοδος Box-Jenkins). Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 122 σελ.
- Γεωργαντά, Ζ., 1987. Η προσέγγιση Box-Jenkins στην ανάλυση και πρόβλεψη χρονολογικών σειρών. *Επιστημονικές Μελέτες* 26. Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών, Αθήνα. 306 σελ.
- ΕΣΥΕ, 2005. *Μηνιαία Εξέλιξη του Δείκτη Τιμών Καταναλωτή*. Αθήνα.
- Θαλασσινός, Ε.Ι., 1991. Ανάλυση χρονολογικών σειρών – Μεθοδολογία Box-Jenkins. Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Πειραιάς, σελ. 180.
- Θεοδωροπούλου – Πιεραράκου, Δ., Σταματέλλος, Γ. και Στάμου, Ν., 2002. Στατιστική Ανάλυση της Παραγωγής Ξύλου στο Δασικό Σύμπλεγμα Δυτικού Μαινάλου. Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, Τρίπολη, σελ. 299-305.
- Λαζαράδης, Α., 2004. Οικονομετρία Ι. Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 640 σελ.
- Μπλιούμης, Β., Σταματέλλος, Γ. και Χριστοδούλου, Α., 2001. Στατιστική Ανάλυση της Αξίας των Εισαγωγών Ξύλου και Προϊόντων του: Διαχρονική Έρευνα 1971-98. Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Στατιστικής. Ελληνικό Στατιστικό Ινστιτούτο, Αθήνα, σελ. 399-405.

- Παπασπυρόπουλος, Κ., 2003. Σύγκριση επιφανειακής και δισταδιακής δειγματοληψίας για την εκτίμηση του ξυλώδη όγκου στο Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη. Πρακτικά 11<sup>ου</sup> Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, Αρχαία Ολυμπία, σελ. 482-488.
- Παπασταύρου, Α.Κ., Γούπος, Χ.Β. και Λεφάκης, Π.Δ., 1986. Ποσοτική ανάλυση και πρόβλεψη τιμών διαφόρων κατηγοριών ξύλου και η Δασοπολιτική σκοπιά. Επιστημονική Επετηρίδα του τμήματος Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος, Τόμος ΚΘ', 38 σελ.
- Στάμου, Ν.Ι. και Ανάγνος, Ν.Ε., 1980. Η δυναμική ανάλυση των τιμών του ξύλου με τη χρήση των χρονικών υστερήσεων. Θεσσαλονίκη, 96 σελ.
- Στάμου, Ν.Ι., 1985. Οικονομική των Δασικών Εκμεταλλεύσεων. Δασική Οικονομική Ι. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 537 σελ.
- Συριόπουλος, Κ. και Λεωντίσης, Α., 2000. Χάος: Ανάλυση και Πρόβλεψη Χρονοσειρών. Εκδόσεις Ανίκουλα, Θεσσαλονίκη. 205 σελ.
- Συριόπουλος, Κ., 1996. Ανάλυση και έλεγχοι μονομεταβλητών χρηματοοικονομικών χρονολογικών σειρών. Εκδόσεις Τυπωθήτω, Αθήνα. 203 σελ.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2004. Απολογισμός Δραστηριοτήτων Δασικών Υπηρεσιών Έτους 2003. Αθήνα. 76 σελ.

## Οικοφυσιολογική συμπεριφορά φυταρίων *Q. ithaburensis* και *Q. pubescens* μετά από πυρκαγιά

Ιωάννης Ραυτογιάννης<sup>1</sup>, Αναστασία Παντέρα<sup>1</sup>, Χριστίνα Αποστόλου<sup>1</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα είδη *Quercus ithaburensis* και *Q. pubescens* υποφέρουν συχνά από ξηρασία, υψηλές θερμοκρασίες αλλά και πυρκαγιές. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της φυσιολογίας φυταρίων *Q. ithaburensis* και *Q. pubescens* μετά από πυρκαγιά για να εντοπιστούν οι πιθανοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και επιβίωσή τους. Η περιοχή μελέτης ήταν στο δημόσιο δάσος «Μάνινα» Ξηρομέρου Αιτωλοακαρνανίας. Οι μετρήσεις του υδατικού δυναμικού και της φθοριζουσας χλωροφύλλης, σε φυτάρια και των δύο δρυών καθώς και ώριμων ατόμων, κυμάνθηκαν σε όρια που δείχνουν ότι τα φυτά δεν υπέφεραν από έντονη υδατική καταπόνηση.

**Λέξεις κλειδιά:** επιβίωση, ξηρασία, υδάτινο δυναμικό.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η *Quercus ithaburensis* Decne. εξαπλώνεται στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου από την Ιταλία, την Αλβανία και την Ελλάδα στην Τουρκία, τη Συρία, το Λίβανο και το Ισραήλ (Tutin κ.α., 1993). Η συνολική έκταση των δασών της *Q. ithaburensis* στην Ελλάδα είναι 29631 Ha και σχηματίζουν κυρίως μικρές συστάδες. Ο βιοτόπος της περιλαμβάνει ανοικτά δάση σε λόφους ή μεμονωμένα δέντρα, συνήθως σε ξηρές θέσεις. Αυξάνεται κυρίως σε ασβεστόλιθο από τη στάθμη της θάλασσας μέχρι και τα 1000 m, αλλά συνήθως μέχρι 600 m. (Παντέρα και Παπαναστάσης, 2003). Η *Quercus pubescens* Willd., είναι ένα ευρωπαϊκό είδος δρυός, με ευρεία εξάπλωση από το Βέλγιο ως τη Γεωργία και από τη Γερμανία ως την Ελλάδα (Tutin κ.α., 1993). Αυξάνεται σε δάση, κυρίως πάνω σε πυριτικά και ασβεστολιθικά πετρώματα.

Στο μέλλον, τα ελληνικά δάση θα εκτεθούν συχνότερα σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις λόγω της αλλαγής του κλίματος. Τα κλιματολογικά μοντέλα για την περίοδο 2070-2100, προβλέπουν για την Ελλάδα, μία αύξηση στις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα μεταξύ 4-8°C, αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων και μείωση (μέχρι 20%) της θερινής βροχόπτωσης (Sanchez κ.α., 2004). Τα είδη *Q. ithaburensis* και *Q. pubescens*

εξαπλώνονται σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από ξηρασία, υψηλές θερμοκρασίες αλλά και πυρκαγιές. Η *Q. ithaburensis* θεωρείται είδος ανθεκτικό στην ξηρασία, που αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε αβαθή και φτωχά εδάφη ενώ η *Q. pubescens* αποδεικνύεται περισσότερο ανθεκτική στην ξηρασία από την *Q. ithaburensis* (Fotelli κ.α., 2000). Οι μηχανισμοί προσαρμογής σε καταπονήσεις των δύο μελετούμενων δρυών δεν είναι ευρέως γνωστές και η γνώση της οικοφυσιολογίας τους μπορεί να βοηθήσει στη διευκρίνιση των μηχανισμών προσαρμογής.

Ο στόχος της εργασίας μας ήταν η μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς φυταρίων *Q. ithaburensis* και *Q. pubescens* μετά από μια πυρκαγιά και κατά τη διάρκεια ενός ξηρού καλοκαιριού.

### ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

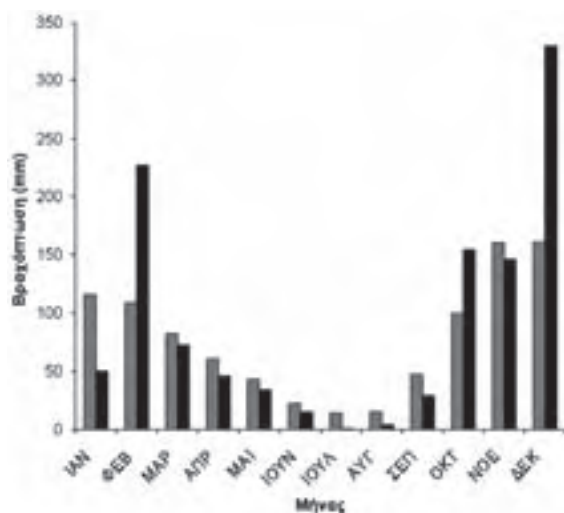
#### Περιγραφή περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρισκόνταν στο δημόσιο δάσος «Μάνινα» Ξηρομέρου Αιτωλοακαρνανίας (B 38°35'10", A 21°11'32"), 15 χλμ. δυτικά της πόλης του Αγρινίου. Αυτό είναι το μεγαλύτερο δάσος *Q. ithaburensis* στην Ελλάδα με μια έκταση 14000 Ha. Η περιοχή κάηκε στις 3-9-1997, από πυρκαγιά μεγάλης έντασης που κατέστρεψε 300 Ha. Η περιοχή έχει νοτιοανατολική έκθεση και μέσο υψόμετρο 50

<sup>1</sup> Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Λαμίας, Καρπενήσι 36100, Τηλ.:2237025063.

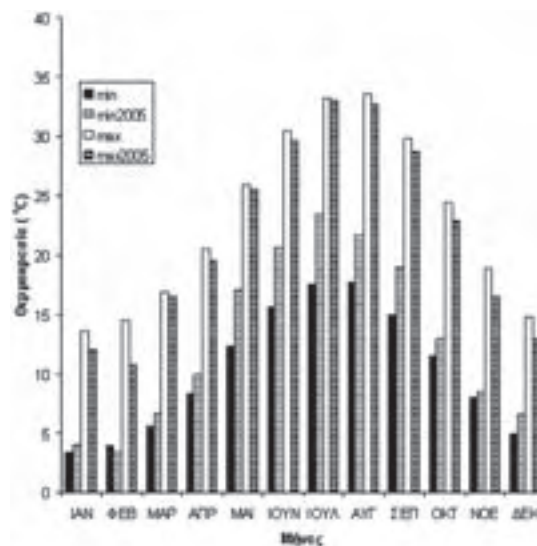
m. Το έδαφος αναπτύσσεται πάνω σε ασβεστόλιθο, είναι αβαθές και με πολλές εμφανίσεις βράχων (5-20% της εδαφοκάλυψης).

Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι μεσογειακό, με μέση ετήσια βροχόπτωση 931 mm, μέση ελάχιστη θερμοκρασία 3,4°C και μέση μέγιστη 33,6°C. Τα κλιματολογικά στοιχεία αφορούν το μετεωρολογικό σταθμό Αγρινίου, που βρίσκεται 15 km νοτιοανατολικά της περιοχής μας και σε παρόμοιο υψόμετρο. Οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών του 2005 ήταν πολύ χαμηλές, σχεδόν ένα τρίτο των μέσων θερινών βροχοπτώσεων (Σχήμα 1). Εντούτοις, το έτος 2005 παρουσίασε αύξηση 20% στη συνολική βροχόπτωση έναντι του μέσου όρου, κυρίως λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων που συνέβησαν στο τέλος Οκτωβρίου και Δεκεμβρίου. Οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρα ήταν γύρω από τις μέσες τιμές, αλλά οι ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα παρουσίασαν μία αύξηση ακόμη και 35%, ειδικά κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Σχήμα 2).



**Σχήμα 1.** Μέση μηνιαία βροχόπτωση (γκρί στήλες) και μηνιαία βροχόπτωση για το 2005 (μαύρες στήλες). Τα στοιχεία προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό Αγρινίου (1984-2004).

**Figure 1.** Mean monthly rainfall (grey columns) and monthly rainfall for the year 2005 (black columns). Data were obtained from the Agrinio Meteorological Station (1984-2004).



**Σχήμα 2.** Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (μαύρη στήλη), μέση ελάχιστη θερμοκρασία για το 2005 (στήλη με γκρι ρίγες), μέση μέγιστη θερμοκρασία (λευκή στήλη) και μέση μέγιστη θερμοκρασία για το 2005 (στήλη με μαύρες ρίγες). Τα στοιχεία προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό Αγρινίου (1984-2004).

**Figure 2.** Mean minimum temperature (black column), mean minimum temperature for the year 2005 (column with grey rays), mean maximum temperature (white column) and mean maximum temperature for the year 2005 (column with black rays). Data were obtained from the Agrinio Meteorological Station (1984-2004).

### Μετρήσεις φυσιολογίας

Οι μετρήσεις υδατικού δυναμικού και φθορίζουσας χλωροφύλλης πραγματοποιήθηκαν σε 12 ημέρες από τον Ιούνιο μέχρι τον Οκτώβριο του 2005. Σε τέσσερις επιλεγμένες ημέρες μετρήθηκαν οι ημερήσιες πορείες των ανωτέρω μεταβλητών. Η επιλογή των δειγμάτων έγινε ως εξής: δύο άκαντα μεγάλα δέντρα *Q. ithaburensis* (μέσο ύψος 12 m, στηθιαία διάμετρος 38 cm), τρία τυχαία φυτάρια *Q. ithaburensis* (μέσο ύψος φυταρίων 50 cm) και τρία τυχαία φυτάρια *Q. pubescens* (μέσο ύψος φυταρίων 40 cm). Στα ώριμα άκαντα δέντρα, επιλέχθηκαν φύλλα από τη νότια έκθεση της κόμης και σε ύψος 1,5 m από το έδαφος, ενώ στα φυτάρια από το μέσο της κόμης τους.

Το υδατικό δυναμικό ( $\Psi$ ) τριών ακραίων κλαδιών φυταρίων, μετρήθηκε με φορητό θάλαμο πίεσης (SKPM 1400 σειρές, Skye Instruments Limited, UK).

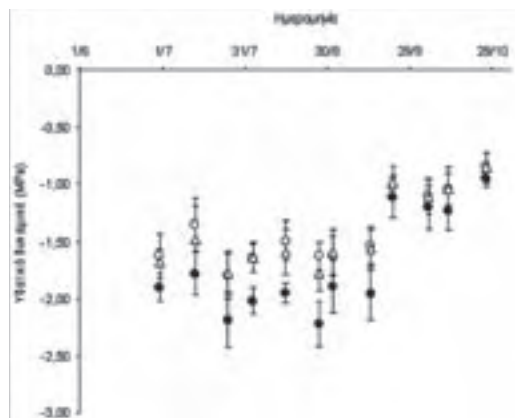
Οι μετρήσεις φθορισμού χλωροφύλλης έγιναν με φορητό φθοροόμετρο (OS- 30p, OPTI-SCIENCES, INC.). Πέντε φύλλα ανά δείγμα προσαρμόστηκαν στο σκοτάδι για τουλάχιστον 30 sec, με ειδικά ελάσματα. Μετά μετρήθηκαν ο ελάχιστος φθορισμός ( $F_0$ ) και ο μέγιστος φθορισμός ( $F_m$ ), χρησιμοποιώντας μια λάμψη του κορεσμού του φωτός ( $> 3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Από τις δύο αυτές μεταβλητές υπολογίστηκε η φωτοχημική αποδοτικότητα των φυτών ως το πηλίκο  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ . Το  $F_v/F_m$  είναι ένα μέτρο της μέγιστης αποδοτικότητας του δεύτερου φωτοσυστήματος, PSII (δηλ. η κβαντική αποδοτικότητα εάν όλα τα κέντρα PSII ήταν ανοικτά). Μια αλλαγή στο  $F_v/F_m$  οφείλεται σε μια αλλαγή στην αποδοτικότητα της μη-φωτοχημικής απόσβεσης. Οι σκοτεινές προσαρμοσμένες τιμές του  $F_v/F_m$  απεικονίζουν την πιθανή κβαντική αποδοτικότητα PSII και χρησιμοποιούνται ως ευαίσθητος δείκτης της φωτοσυνθετικής απόδοσης φυτών, με τις βέλτιστες τιμές, για τα περισσότερα φυτά, περίπου 0,83 (Maxwell και Johnson, 2000). Όταν οι μετρούμενες τιμές είναι χαμηλότερες από 0,83, σημαίνει ότι τα φυτά βρίσκονται σε κατάσταση καταπόνησης και η φωτοσυνθετική τους ικανότητα μειώνεται.

Οι στατιστικές διαφορές μεταξύ των μέσων προσδιορίστηκαν από τη δοκιμή Bonferroni, με επίπεδο σημαντικότητας  $p \leq 0,05$ .

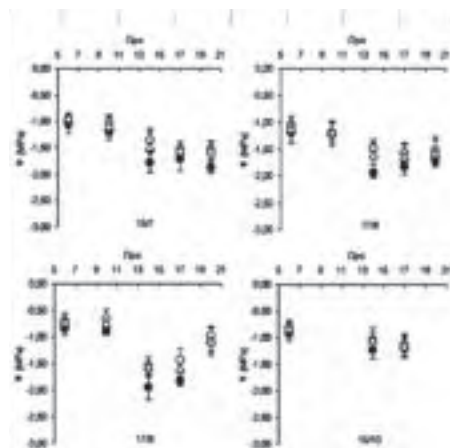
### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το εποχιακή μεταβολή του υδατικού δυναμικού ( $\Psi$ ) και των δύο ειδών δρυός ήταν παρόμοια καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και οι μέσες τιμές κυμάνθηκαν από -1,3 MPa μέχρι 2,2 MPa (Σχήμα 3). Τα δέντρα *Q. ithaburensis* παρουσίασαν χαμηλότερο  $\Psi$  για τις περισσότερες ημέρες και αυτή η διαφορά ήταν σημαντική για τις μισές από τις ημέρες παρατήρησης (2/7, 27/7, 5/8, 17/8, 29/8, 17/9). Στις τελευταίες τέσσερις ημέρες παρατήρησης, μετά από τις 25 του Σεπτεμβρίου, το  $\Psi$  αυξήθηκε και σταθεροποιήθηκε πάνω από -1,5 MPa για όλα τα φυτά. Τα ημερησία στοιχεία υδατικού δυναμικού έδειξαν ότι και τα δύο είδη αποκρίθηκαν ομοίως κατά τη διάρκεια της ημέρας και οι σημαντικές διαφορές βρέθηκαν κυρίως το μεσημέρι (15/7, 17/8 και 17/9), σε μια περίπτωση στις 20 μ.μ. (15/7), ενώ την τελευταία ημέρα παρατήρησης (τα 15/10) καμία

σημαντική διαφορά μεταξύ των ειδών δεν βρέθηκε (Σχήμα 4). Το υδατικό δυναμικό όλων των χειρισμών ήταν γύρω ή επάνω από -1 MPa το πρωί και έκοτε μειώθηκε.



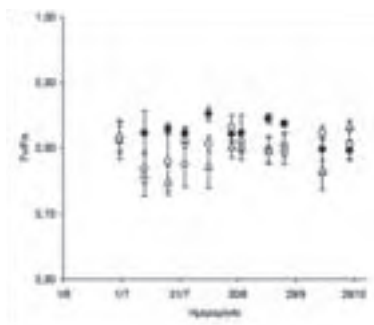
**Σχήμα 3.** Εποχιακή μεταβολή του υδατικού δυναμικού ώριμων δέντρων *Q.ithaburensis* (●), φυταρίων *Q.ithaburensis* (○) και φυταρίων *Q.pubescens* (Δ). **Figure 3.** Seasonal change of water potential for *Q.ithaburensis* mature trees (●), *Q.ithaburensis* seedlings (○) and *Q.pubescens* seedlings (Δ).



**Σχήμα 4.** Ημερήσια μεταβολή του υδατικού δυναμικού ώριμων δέντρων *Q.ithaburensis* (●), φυταρίων *Q.ithaburensis* (○) και φυταρίων *Q.pubescens* (Δ). **Figure 4.** Daily change of water potential for *Q.ithaburensis* mature trees (●), *Q.ithaburensis* seedlings (○) and *Q.pubescens* seedlings (Δ).

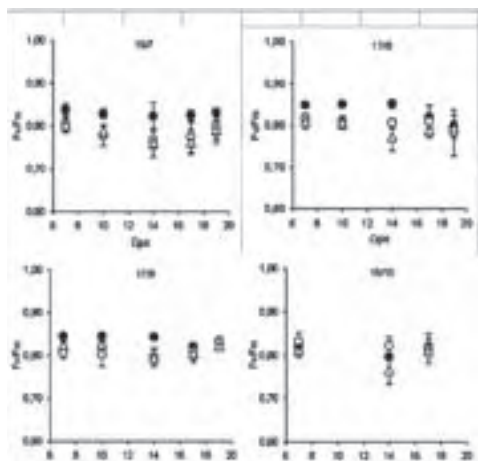


Οι μετρήσεις φθορίζουσας χλωροφύλλης (Fv/Fm) παρουσίασαν πολύ σταθερές ημερήσιες και εποχιακές πορείες για όλους τους χειρισμούς. Οι πρωινές και μεσημβρινές τιμές της φωτοχημικής απόδοσης του PSII (Fv/Fm) δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των χειρισμών ή των ημερομηνιών (Σχήματα 5, 6). Καμία σημαντική σχέση μεταξύ υδατικού δυναμικού και της φθορίζουσας χλωροφύλλης δεν μπορούσε να ανιχνευθεί για όλους τους χειρισμούς (Σχήμα 7).



**Σχήμα 5.** Εποχιακή μεταβολή της φθορίζουσας χλωροφύλλης ώριμων δέντρων *Q.ithaburensis* (●), φυταρίων *Q.ithaburensis* (○) και φυταρίων *Q.pubescens* (Δ).

**Figure 5.** Seasonal change of chlorophyll fluorescence for *Q.ithaburensis* mature trees (●), *Q.ithaburensis* seedlings (○) and *Q.pubescens* seedlings (Δ).



**Σχήμα 6.** Ημερήσια μεταβολή της φθορίζουσας χλωροφύλλης ώριμων δέντρων *Q.ithaburensis* (●), φυταρίων *Q.ithaburensis* (○) και φυταρίων *Q.pubescens* (Δ).

**Figure 6.** Daily change of chlorophyll fluorescence for *Q.ithaburensis* mature trees (●), *Q.ithaburensis* seedlings (○) and *Q.pubescens* seedlings (Δ).

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα μελέτη, το υδατικό δυναμικό και των δύο ειδών δρυός δεν μειώθηκε ποτέ κάτω από -2,0 MPa. Άλλες μελέτες έχουν παρουσιάσει τιμές -6,0 MPa για την *Q. ithaburensis* και -5,0 MPa για την *Q. pubescens* (Tognetti *κ.α.*, 1999, Fotelli *κ.α.*, 2000) ενώ στη νότια Γαλλία, το Ψ ώριμων δέντρων του *Q. pubescens* έφθασε σε μια ελάχιστη μέση τιμή -2,7 MPa και στο τέλος της περιόδου ξηρασίας, οι πρώτες βροχές συνέβαλλαν σε μια γρήγορη άνοδο του Ψ προς τιμές κοντά σε -0,5 MPa (Damesin *κ.α.*, 1998). Οι μετρήσεις μας δεν διέφεραν από τις τιμές που αναφέρθηκαν για τα σπορόφυτα *Q. ithaburensis* που φυτεύτηκαν σε γλαστρίδια και ποτίστηκαν αλλά ήταν υψηλότερες από τα μη ποτισμένα που παρουσίασαν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές Ψ (Παντέρρα, 2001). Οι χαμηλές τιμές Ψ μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτη ζημία σε φυτάρια αλλά όχι σε μεγάλα δέντρα, τα οποία ακόμη και αν ξεραθούν μπορούν να ριζοβλαστήσουν την επόμενη αυξητική περίοδο (Tognetti *κ.α.*, 1998, Tognetti *κ.α.*, 1999). Στην περιοχή μελέτης μας, με τις βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού να είναι μικρότερες από ένα τέταρτο των αντίστοιχων βροχοπτώσεων που αναφέρθηκαν για την ιταλική περιοχή, οι φυτά δεν υπέφεραν όπως φαίνεται τόσο από τις τιμές του υδατικού δυναμικού όσο και από τις τιμές της φθορίζουσας χλωροφύλλης.

Οι τιμές της φθορίζουσας χλωροφύλλης ήταν μέσα στα όρια (0.75 - 0.85) που έχουν δημοσιευθεί για φυτά που δεν υποφέρουν από έλλειψη νερού (Bjorkman και Demmig, 1987). Επιπλέον, οι μεσημβρινές τιμές Fv/Fm ήταν μόνο ελαφρώς χαμηλότερες από τις πρωινές, γεγονός που δείχνει ότι τα φυτά δεν έχαναν την φωτοσυνθετική τους αποτελεσματικότητα σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται για την *Q. ilex* μετά από την πυρκαγιά (Fleck *κ.α.*, 1998). Οι *Q. ithaburensis* και *Q. pubescens* ριζοβλαστάνουν μετά από μια πυρκαγιά. Τα ριζοβλαστήματα αυξάνουν γρήγορα κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών λόγω του μειωμένου ανταγωνισμού και της υψηλής πρόσληψης των θρεπτικών ουσιών και του νερού. Προηγούμενες μελέτες, σε μεσογειακά είδη, έδειξαν ότι η φωτοσυνθετική ικανότητα και η στοματική αγωγιμότητα ήταν υψηλότερα στα φυτάρια των καμένων περιοχών απ' ότι στα φυτάρια των άκαυτων περιοχών (Fleck *κ.α.*, 1998).

Από τα αποτελέσματα της μελέτης μας φαίνεται ότι τα φυτάρια *Q. ithaburensis* και *Q. pubescens* δεν αντιμετώπισαν υδατική καταπόνηση κατά τη διάρκεια

μίας αυξητικής περιόδου που χαρακτηρίστηκε από έντονη ξηρασία. Παράλληλα, η φωτοσυνθετική τους ικανότητα ήταν ικανοποιητική και τα φυτά κατάφεραν να διατηρήσουν μία υψηλή παραγωγικότητα. Η επιτυχημένη αναγέννηση και αύξηση αυτών των δρυών μετά από πυρκαγιά, οφείλεται βασικά στο ριζικό τους σύστημα το οποίο παραμένει ζωντανό και τροφοδοτεί με μεγάλη ποσότητα θρεπτικών στοιχείων και νερού, τα μικρά ριζοβλαστήματα (Chiatante κ.α., 2006).

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία συντάχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Οικολογία των δασών βαλανιδιάς (*Quercus ithaburensis*) στην Ελλάδα», «Περιβάλλον – Αρχιμήδης II – Ενίσχυση ερευνητικών ομάδων του ΤΕΙ Λαμίας» ΕΠΕΑΕΚ II (2005-2006).

Yannis Raftoyannis, Anastasia Pantera, Hristina Apostolou.

## Post-fire ecophysiological response of *Q. ithaburensis* and *Q. pubescens* seedlings

Yannis Raftoyannis<sup>1</sup>, Anastasia Pantera<sup>1</sup>, Hristina Apostolou<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The tree species *Q. ithaburensis* and *Q. pubescens*, quite often suffer from drought, high temperatures and wildfires. The aim of this study was to investigate the physiology of *Q. ithaburensis* and *Q. pubescens* seedlings after a wildfire, in order to identify possible environmental factors that affect their survival and growth. The study area was located in the public forest “Manina”, in Xiromero, Aitolokarnania. The results of water potential and chlorophyll fluorescence measurements of both species seedlings and mature trees, showed that the sampling plants did not suffer from intense water stress.

**Key words:** survival, drought, water potential.

### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Björkman O., Demmig B. 1987. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170:489-504.
- Chiatante D, Di Iorio A, Sciandra S, Scippa GS, Mazzoleni S. 2006. Effect of drought and fire on root development in *Quercus pubescens* Willd. and *Fraxinus ornus* L. seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 56:190-197.
- Damesin C, Rambal S, Joffre R. 1998. Co-occurrence of trees with different leaf habit: a functional approach on Mediterranean oaks. *Acta Oecologica* 19:195-204.
- Fleck I, Hogan KP, Llorens L, Abadia A, Aranda X. 1998. Photosynthesis and photoprotection in *Quercus ilex* resprouts after fire. *Tree Physiology* 18:607-614.
- Fotelli MN, Radoglou KM, Constantinidou HIA. 2000. Water stress responses of seedlings of four Mediterranean oak species. *Tree Physiology* 20:1065-1075.
- Maxwell K, Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51:659-668.
- Παντέρα Α. 2001. Αναγέννηση της βαλανιδιάς (*Quercus ithaburensis* Decaisne subsp. *macrolepis* Kotschy), σε συνθήκες ανταγωνισμού με ποώδη βλάστηση σε αγρολιβαδικά οικοσυστήματα. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παντέρα Α., Παπαναστάσης Β. 2003. Απογραφή της βαλανιδιάς *Quercus ithaburensis* Decaisne subsp. *macrolepis* (Kotschy) Hedge & Yalt. στην Ελλάδα. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 14, Τεύχος 1, 33-44.
- Sanchez E, Gallardo C, Gaertner MA, Arribas A, Castro M. 2004. Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. *Global and Planetary Change* 44:163-180.
- Tognetti R, Longgobucco A, Raschi A. 1998. Vulner-

<sup>1</sup> Department of Forestry and Environmental Management, TEI Lamias, Karpenisi, 36100.

- ability of xylem to embolism in relation to plant hydraulic resistance in *Quercus pubescens* and *Q. ilex* co-occurring in a Mediterranean coppice stand in central Italy. *New Phytologist* 139:437-447.
- Tognetti R, Longgobucco A, Miglietta F, Raschi A. 1999. Water relations, stomatal response and transpiration of *Quercus pubescens* trees during summer in a Mediterranean carbon dioxide spring. *Tree Physiology* 19:261-270.
- Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Valentine DH, Moore DM. 1993. *Flora Europaea*. Cambridge University Press; 2 edition.

## Η επίδραση της φυσικής σκίασης με αναρριχώμενα φυτά στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου

Άγγελος Δ. Τζαχάνης<sup>1</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την παρούσα εργασία διερευνήθηκε θεωρητικά και πειραματικά η εφαρμογή παθητικής ηλιακής προστασίας, με χρήση αναρριχώμενων φυτών, στη νότια πρόσοψη ενός πειραματικού θαλάμου. Σχεδιάστηκε αρχικά το φυσικό μοντέλο της σκίασης και κατόπιν αναπτύχθηκαν μοντέλα αριθμητικής προσομοίωσης, για τον προσδιορισμό των μεγεθών ροής ηλιακού θερμικού κέρδους στο παθητικό ηλιακό στοιχείο φυτών-θαλάμου, καθώς και των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων σε ηλιασμένη και σε σκιασμένη περιοχή του οικίσκου. Αναπτύχθηκε κατόπιν η πειραματική διάταξη για την μέτρηση των θερμοφυσικών μεγεθών που συνθέτουν τα θερμικά κέρδη του θαλάμου. Προσδιορίστηκε η ανάκλαση των φύλλων και υπολογίστηκε το ενεργειακό αποτέλεσμα της φυσικής σκίασης. Διαπιστώθηκε ότι τα φυτά αποτελούν μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδο σκίασης κτιρίων, με εξαιρετική συνεισφορά στη μείωση του ανεπιθύμητου ηλιακού θερμικού φορτίου. Τέλος, αποτελέσματα προσομοίωσης και πειραμάτων συγκρίθηκαν και διαπιστώθηκαν άριστες συγκλίσεις.

**Λέξεις κλειδιά:** Φυσική σκίαση, Παθητική ηλιακή προστασία, Προσομοίωση

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φυσική σκίαση των κτιρίων κατά την θερινή περίοδο αποτελεί μια εφαρμογή παθητικού ηλιακού σχεδιασμού ιδιαίτερα σημαντική για τη χώρα μας. Ειδικότερα, ο παθητικός δροσισμός με χρήση φυλλοβόλων δέντρων ή αναρριχώμενων φυτών ικανοποιεί διαχρονικές απαιτήσεις θερμικής άνεσης, περιορίζοντας τα ανεπιθύμητα ηλιακά θερμικά φορτία το καλοκαίρι, ενώ κατά το χειμώνα, παρέχει ελευθερία διέλευσης του επιθυμητού ηλιακού κέρδους στο κτιριακό κέλυφος. Κατά συνέπεια, η φυσική σκίαση συμβάλλει στον περιορισμό της χρήσης κλιματιστικών συσκευών με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης (European Passive Solar Handbook 1986, Energy in Architecture 1993).

Παράλληλα με την συνεισφορά τους στην προσέγγιση συνθηκών θερμικής άνεσης στο εσωτερικό του κτιρίου και την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, τα φυτά ενσωματώνονται και δένουν αρμονικά με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, προσφέροντας ένα άριστο και αποδεκτό αισθητικό αποτέλεσμα.

Αποτελέσματα επιστημονικών ερευνών παρουσιάζουν την συνδυασμένη επίδραση φυσικής σκίασης

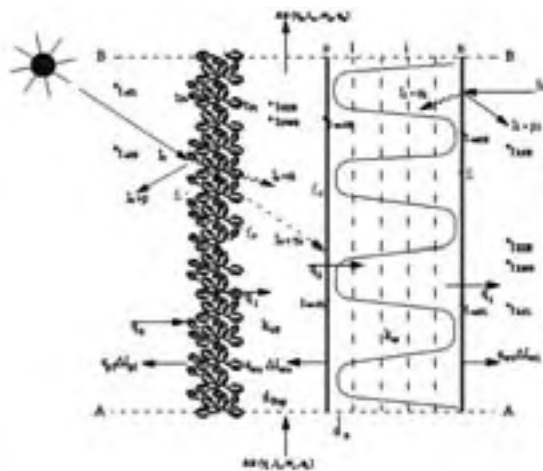
και διαπνοής των φυτών, ως αποδοτική μέθοδο περιορισμού ψυκτικών φορτίων στα κτίρια. Ειδικότερα, αναφέρεται ότι η προσθήκη ενός δέντρου ανά κατοικία αντιστοιχεί σε μειώσεις φορτίων 12-24%, ενώ τρία δέντρα μειώνουν τα ψυκτικά φορτία μεταξύ 17 και 57% (Akbari 1997, Raissi, και Taheri 1999).

Πειραματική διερεύνηση της σκίασης κτιρίου με δέντρα που πραγματοποιήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο της Αθήνας, έδειξε ότι τα δέντρα περιορίζαν το ηλιακό θερμικό φορτίο σε ώρα αιχμής από 600 W/m<sup>2</sup> σε 180 W/m<sup>2</sup>, ενώ οι θερμοκρασίες σε ηλιαζόμενη και σε σκιαζόμενη περιοχή του κτιρίου μετρήθηκαν σε 42°C και 33°C αντίστοιχα (Papadakis κ.α 2001). Η επίδραση της σκίασης των δέντρων στη διαμόρφωση του μικροκλίματος του αστικού περιβάλλοντος, διερευνήθηκε επίσης πειραματικά κατά το θέρος σε πάρκο της Θεσσαλονίκης. Διαπιστώθηκαν σημαντικές σχετικές μεταβολές των δεικτών θερμοκρασίας (έως ≈ 24%), υγρασίας (έως ≈ 41%) και δυσφορίας (μέχρι ≈ 16%), (Georgi και Zafiriadis 2006). Η επίδραση του πρασίνου στο μικροκλίμα του περιβάλλοντος αστικών πάρκων διερευνήθηκε ακόμη και με μοντελοποίηση της μορφολογίας βλάστησης και περιβάλλοντος (Dimoudi και

<sup>1</sup> Αναπληρωτής Καθηγητής, ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Μηχανολογίας, GR-41110 Λάρισα, tzach@teilar.gr

Nikolopoulou 2003). Με βάση τα τυπικά κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας πραγματοποιήθηκαν στα μοντέλα παραμετρικές μελέτες με χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής ανάλυσης, γνωστής ως CFD, και διατυπώθηκαν κατά περίπτωση οι προβλεπόμενες μεταβολές στις ρευστοθερμικές συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί σε πραγματικές συνθήκες θέρους η ενεργειακή αποδοτικότητα της σκίασης με φυλλοβόλα αναρριχώμενα φυτά, *Parthenocissus quinquefolia*, τοποθετημένα σε πλέγμα στην νότια πρόσοψη ενός πειραματικού οικίσκου. Ειδικότερα, να σχεδιαστεί αρχικά το φυσικό μοντέλο της σκίασης και να προσδιοριστούν οι μηχανισμοί μεταφοράς και μετατροπής ενέργειας (ακτινοβολία, μεταφορά, ανάκλαση, απορρόφηση), σε ηλιασμένη και σε σκιαζόμενη επιφάνεια του οικίσκου. Να προσομοιωθούν κατόπιν με χρήση αριθμητικών μοντέλων οι περιοδικές μεταβολές των υπό εξέταση φυσικών παραμέτρων που συνθέτουν τη ροή ηλιακού θερμικού κέρδους και την μετατροπή του σε θερμοκρασιακή αύξηση στις επιφάνειες του θαλάμου και των φυτών. Να δημιουργηθεί τέλος η πειραματική υποδομή με σκοπό την διενέργεια μετρήσεων των διαφόρων ενεργειακών παραμέτρων στο παθητικό ηλιακό σύστημα οικίσκου-φυτών και να συγκριθούν τα πειραματικά αποτελέσματα με τις θεωρητικές προσεγγίσεις.



**Σχήμα 1:** Καθορισμός των ενεργειακών παραμέτρων στο φυσικό μοντέλο του παθητικού ηλιακού στοιχείου.

**Fig. 1:** The physical model and the determination of the various energy flows through the passive solar element.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

Για τον θεωρητικό προσδιορισμό των ενεργειακών παραμέτρων που επιδρούν στο παθητικό σύστημα οικίσκου-φυτών σχεδιάστηκε αρχικά η διάταξη του φυσικού μοντέλου όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**. Καθορίστηκαν τα μεγέθη που συνθέτουν την εξέλιξη του φυσικού φαινομένου μεταφοράς ηλιακού και αισθητού θερμικού κέρδους στο παθητικό στοιχείο και αναπτύχθηκε το μαθηματικό μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης για μεταβατική και περιοδικά σταθερή κατάσταση (ASHRAE 1993, Tzachanis και Sdravopoulou 2002).

Το υπολογιστικό μοντέλο αναπτύχθηκε κυρίως για την επίλυση μεταβατικών καταστάσεων μετάδοσης θερμότητας κάτω από την επίδραση ηλιακών φορτίων με βάση την μεθοδολογία της ASHRAE (ASHRAE 1993, Kuehn κ.α. 1998). Η επίλυση εστιάζεται αρχικά στον σχηματισμό του ενεργειακού ισοζυγίου και κατόπιν στον προσδιορισμό της θερμοκρασιακής αύξησης που θα επιφέρει στις επιφάνειες του παθητικού στοιχείου η σύνθεση θερμικών φορτίων αισθητών και ακτινοβολίας (ηλιακής και υπέρυθρης). Η αύξηση της θερμοκρασίας εξωτερικής επιφάνειας υπό την επίδραση ηλιακού και αισθητού θερμικού κέρδους, αφαιρουμένης της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπει η επιφάνεια, ονομάζεται ηλιακή θερμοκρασία αέρα *Sol-air Temperature* (ASHRAE 1993, Kuehn κ.α. 1998). Η μεταβολή της θερμοκρασίας αυτής αποτελεί κατά την θεωρητική προσέγγιση του θέματος, μέτρο σύγκρισης της θερμότητας που απορροφά η σκιασμένη και η ηλιαζόμενη επιφάνεια.

Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίστηκαν με τις συναρτήσεις του βελτιωμένου μοντέλου καθαρού ουρανού της ASHRAE. Οι τριγωνομετρικές σχέσεις για τον υπολογισμό των ηλιακών γωνιών προσδιορίστηκαν με ανυσματική ανάλυση (Tzachanis και Sdravopoulou 2002, Tzachanis 2006). Για την προσομοίωση της ημερήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος εφαρμόστηκε η μέθοδος πολυωνυμικής προσαρμογής έχοντας ως βάση το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος.

Το υπολογιστικό μοντέλο διαθέτει τα πιο κάτω συγκριτικά πλεονεκτήματα:

- Διερευνά τα ηλιακά θερμικά φορτία σε συνάρτηση τοπικών κλιματικών παραμέτρων.
- Οδηγεί με ακρίβεια στα χρονικά μεταβαλλόμενα θερμικά κέρδη όπως αυτά εξελίσσονται χρονικά και μεταφέρονται στους εσωτερικούς χώρους, παίρνοντας υπόψη φυσικές παραμέτρους που επηρεάζουν το φαινόμενο.

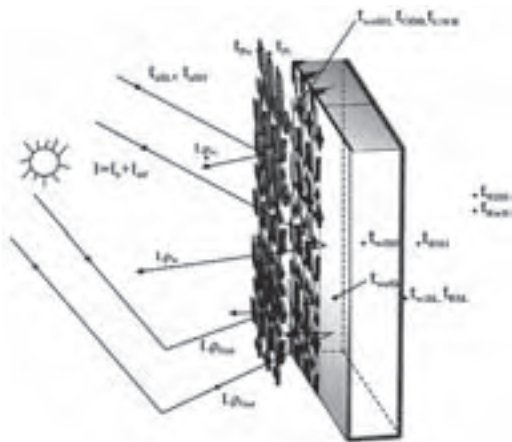
- Μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε τύπο δομικών στοιχείων με σταθερές θερμοφυσικές ιδιότητες και είναι κατάλληλο για την αξιολόγηση ηλιακών παθητικών στοιχείων δομικών κατασκευών.

Μετά από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι για ερευνητικούς σκοπούς είναι πιο χρήσιμος ένας κώδικας ίδιας κατασκευής από ένα εμπορικό πακέτο κλειστής πηγής στην οποία ο χρήστης δεν έχει πρόσβαση για σημαντικές αλλαγές ή για προσαρμογή σε νέες καταστάσεις.

### 3. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ

#### 3.1. Υλικά και μέθοδοι

Με βάση το φυσικό μοντέλο του παθητικού στοιχείου (**Σχήμα 1**), σχεδιάστηκε η πειραματική διάταξη όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2**, με στόχο την διενέργεια μετρήσεων και την σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τις θεωρητικές προβλέψεις.



**Σχήμα 2:** Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης με προσπίπτοντα και ανακλώμενα ηλιακά φορτία και σημεία μέτρησης θερμοκρασιών στην σκιασμένη και στην ηλιασμένη επιφάνεια.

**Fig. 2:** Schematic arrangement of the experimental set up indicating the incident solar heat gains and the positioning of the t-sensors.

Παράμετροι, που επηρεάζουν τη ροή και μεταφορά θερμικού κέρδους στο παθητικό στοιχείο, όπως οι συντελεστές ανάκλασης του εδάφους, του τοίχου και των φύλλων, οι συντελεστές μεταφοράς και εκπομπής τοίχου και φύλλων και ο συντελεστής θέας, προσδιορίστηκαν και εισήχθησαν ως οριακές συνθήκες στον κώδικα προσομοίωσης.

Το θεωρητικό μοντέλο προσομοίωσης της ροής ηλιακού θερμικού κέρδους που αναπτύχθηκε, εφαρμόστηκε αρχικά και αξιολογήθηκε στην ηλιασμένη επιφάνεια του οικίσκου με άριστες συγκλίσεις θεωρητικών και πειραματικών προσεγγίσεων (Tzachanis 2006, Tzachanis κ.α. 2006, Tzachanis και Sdravopoulou 2002).

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια μιας ιδιαίτερα θερμής θερινής περιόδου με την ακόλουθη σειρά οργάνων:

- Πυρανόμετρο μέτρησης της ολικής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.
- Πυρανόμετρο με στεφάνη σκίασης για τη μέτρηση της διάχυτης ακτινοβολίας.
- Δύο πυρανόμετρα σε διάταξη μέτρησης της προσπίπτουσας σε κατακόρυφο επίπεδο και της ανακλώμενης ακτινοβολίας.
- Δύο πυρανόμετρα σε διάταξη μέτρησης της προσπίπτουσας στα φυτά και της ανακλώμενης από αυτά ακτινοβολίας.
- Δύο πυρανόμετρα σε διάταξη μέτρησης της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας (albedo).
- Μια ομάδα από αυτοκόλλητα θερμοζεύγη NiCr για την μέτρηση θερμοκρασιών σε προκαθορισμένα σημεία των φύλλων και του τοίχου του οικίσκου.
- Ένα αισθητήρα Pt100 σε κλωβό για την μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
- Ένα θερμοανεμόμετρο για την μέτρηση της ταχύτητας του αέρα στις εξωτερικές επιφάνειες τοίχου και φύλλων καθώς και στο διάκενο μεταξύ αυτών.

Οι παραπάνω αισθητήρες συνδέθηκαν με συσκευή καταγραφής και επεξεργασίας μετρήσεων, όπου αποθηκευτήκαν οι στιγμιαίες και οι μέσες ωριαίες τιμές.

#### 3.2. Ο πειραματικός θάλαμος

Στην οροφή του εργαστηρίου Ήπιες Μορφές Ενέργειας τοποθετήθηκε ένας τροχήλατος οικίσκος με κυβικό σχήμα και αεριζόμενη οροφή, με επιφάνεια δαπέδου 11m<sup>2</sup> και όγκο 30m<sup>3</sup> περίπου (**Σχήμα 3**). Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε συρόμενη πλατφόρμα με μεταλλικό πλέγμα αναρρόχισης, έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν μερικώς ή ολικώς σε απόσταση 15cm περίπου, την νότια πλευρά του θαλάμου. Στο εσωτερικό του οικίσκου τοποθετήθηκε το σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων.



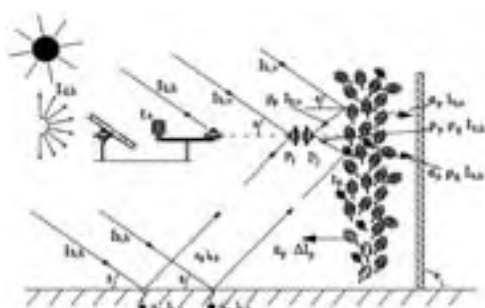
**Σχήμα 3:** Απεικόνιση του παθητικού στοιχείου αποτελούμενο από τον πειραματικό θάλαμο και τα αναρριχώμενα φυτά.

**Fig. 3:** A front view of the passive solar element consisting of the test cell and the climbing plant.

#### 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

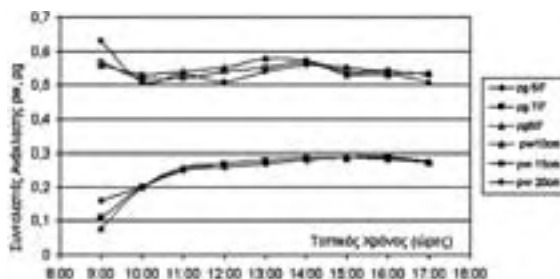
##### 4.1. Οι συντελεστές ανάκλασης

Με τη διάταξη των πυρανομέτρων, που διακρίνεται στα **Σχήματα 3 και 4**, προσδιορίστηκαν πειραματικά οι συντελεστές ανάκλασης εδάφους τοίχου και φυτών. Επιπλέον, για να εξακριβωθεί η επίδραση της ακανόνιστης επιφάνειας του ανάγλυφου των φύλλων στον εγκλωβισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, μετρήθηκε και ο συντελεστής ανάκλασης σε στρώμα επίπεδων φύλλων σε ευφωτομετρική διάταξη, κολλημένων σε περιβάλλουσα απορροφητική επιφάνεια το ένα δίπλα στο άλλο και σε επαφή μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στα **Σχήματα 5 και 6**.



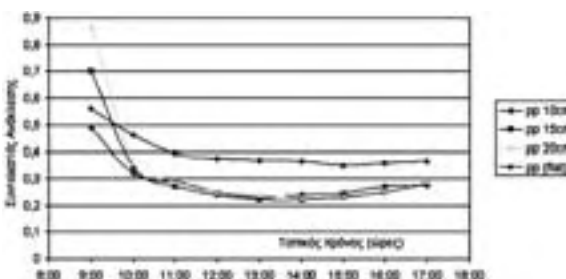
**Σχήμα 4:** Σχηματική διάταξη των πυρανομέτρων για τη μέτρηση των συντελεστών ανάκλασης τοίχου ( $\rho_w$ ), φυτών ( $\rho_p$ ) και εδάφους ( $\rho_g$ ).

**Fig. 4:** Schematic arrangement of the pyranometers measuring the wall ( $\rho_w$ ), the plant ( $\rho_p$ ), and the ground reflectance ( $\rho_g$ ).



**Σχήμα 5:** Συντελεστές ανάκλασης του τοίχου ( $\rho_w$ ), σε συνάρτηση με την απόσταση του αισθητήρα από την επιφάνεια και του εδάφους ( $\rho_g$ ), σε τρεις συνεχόμενες ημέρες.

**Fig. 5:** The wall reflectance ( $\rho_w$ ), measured by changing the sensor spacing, and the ground reflectance ( $\rho_g$ ), measured in 3 consecutive days.



**Σχήμα 6:** Συντελεστής ανάκλασης των φύλλων σε φυσική ανάγλυφη διάταξη ( $\rho_p$ ) και σε επίπεδη κανονική διάταξη ( $\rho_p$  (flat)).

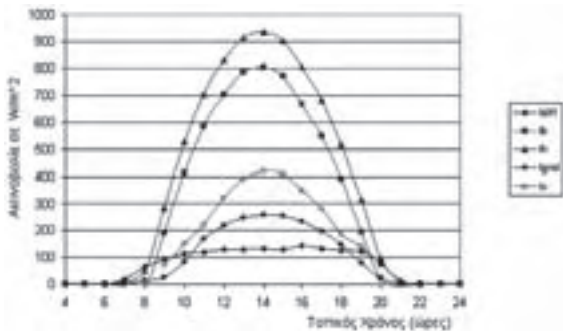
**Fig. 6:** Plant reflectance measured on the natural irregular shape of the leaves ( $\rho_p$ ), and on the regular flat shape ( $\rho_p$  (flat)).

Σύμφωνα με το **Σχήμα 6**, ο μέσος συντελεστής ανάκλασης στα ανάγλυφα ακανόνιστα φύλλα υπολογίστηκε σε 0,26 και σε 0,38 στα επίπεδα κανονικά φύλλα, δηλαδή το 12% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην φυσική διάταξη των φύλλων διαχέεται μεταξύ τους ή μέρος αυτής διαπερνά το φύλλωμα αν αυτό θεωρηθεί ημιδιαπερατό. Υπάρχει λοιπόν μια επιβαρυντική συσσώρευση ανεπιθύμητου ηλιακού φορτίου στο πλέγμα των φύλλων εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή ανάκλασης.

## 4.2. Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας

Με την πειραματική υποδομή που αναφέρθηκε πιο πάνω, πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες μετρήσεις κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος – Σεπτέμβριος). Ένα μικρό δείγμα των πειραματικών αποτελεσμάτων αποτελούν οι παρακάτω εικόνες. Στο **Σχήμα 7** διακρίνονται οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας (μέσες ωριαίες τιμές), που μετρήθηκαν σε οριζόντιο και σε κατακόρυφο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό στις 30 Ιουνίου (Ημέρα 181).

Διευκρινίζεται ότι η ολική ακτινοβολία  $I_v$ , που μετρήθηκε στο κατακόρυφο επίπεδο με ένταση αιχμής  $422 \text{ W/m}^2$ , αναφέρεται στις επιφάνειες του οικίσκου και των φυτών με νότιο προσανατολισμό. Ως εκ τούτου γίνεται φανερό ότι η ακτινοβολία που δέχονται οι κάθετες νότιες επιφάνειες την περίοδο αυτή δεν προέρχεται κατά το μεγαλύτερο τμήμα της από την άμεση συνιστώσα, αλλά από την ανακλώμενη από το έδαφος στην οποία μετέχει και το τμήμα της διάχυτης ακτινοβολίας κατά το ήμισυ της στερεάς γωνίας ( $\pi$ ).



**Σχήμα 7:** Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_{dif}$  = Διάχυτη,  $I_b$  = Άμεση και  $I_h$  = Ολική στο οριζόντιο επίπεδο,  $I_v$  = Ολική στο κατακόρυφο,  $I_{gnd}$  = Ανακλώμενη από το έδαφος).

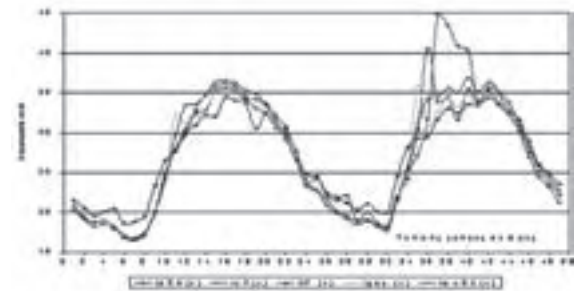
**Fig. 7:** Measured solar radiation components incident on the passive solar element ( $I_{dif}$  = Diffuse,  $I_b$  = Beam and  $I_h$  = Global, all on the horizontal plane.  $I_v$  = Global on the vertical plane,  $I_{gnd}$  = Ground reflected irradiance).

## 4.3. Μετρήσεις θερμοκρασιών

Οι διακυμάνσεις των θερμοκρασιών που μετρήθηκαν στο ανάγλυφο πλέγμα των φύλλων, στο διάκενο 12-15cm περίπου μεταξύ φυτών και οικίσκου και

στο τμήμα της σκιασμένης και ηλιασμένης επιφάνειας του θαλάμου εμφανίζονται στα **Σχήματα 8** και **9**.

Επισημαίνεται ότι για την μέτρηση των θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκαν ευαίσθητα και ελαφρά αυτοκόλλητα θερμοστοιχεία NiCr που επικολλήθηκαν στα φύλλα της εξωτερικής (προς τον ήλιο) και της εσωτερικής πλευράς του πλέγματος των φύλλων, στο διάκενο μεταξύ τοίχου και φυτών και στην σκιαζόμενη επιφάνεια του θαλάμου. Διακρίνουμε στο **Σχήμα 8**, ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος (**taSH**) παραμένει σε υψηλότερο επίπεδο από όλες τις άλλες κατά τη νύχτα και σε χαμηλότερο κατά την ημέρα, πιθανόν λόγω της θέσης του αισθητήρα σε αεριζόμενο κλωβό.



**Σχήμα 8:** Διακύμανση θερμοκρασιών περιβάλλοντος (taSH), φύλλων (toP,tiP), διάκενου (tgap) και σκιασμένης επιφάνειας οικίσκου (twoSH), Λάρισα, ημέρα 188 και 189.

**Fig. 8:** Temperature variation on the plant: (taSH)=Ambient, (toP,tiP)=Outer, inner surface of the leaves, (tgap)=Gap, (twoSH)= Shaded wall surface, Larissa, day 188&189.

Η σκιασμένη επιφάνεια του θαλάμου θερμαίνεται περισσότερο από την επιφάνεια των φύλλων που εκτίθεται στον ήλιο (**twoSH > toP**) κατά την ημέρα, ενώ οι θερμοκρασίες στην εσωτερική πλευρά των φύλλων και στο διάκενο δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτες διαφορές. Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα ηλιαζόμενα φύλλα καταφέρνουν να διατηρούν τη θερμοκρασία τους σε επίπεδο θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αποβάλλοντας θερμότητα με εξατμιστική ψύξη και συναγωγή. Όμως, οι ταχύτητες του αέρα που μετρήθηκαν στο διάκενο μεταξύ του τοίχου και των φύλλων, δεν ξεπερνούσαν τα  $0,5 \text{ m/s}$ , που σημαίνει ότι δεν επικρατούσε αξιόλογο ανοδικό ρεύμα μεταφοράς

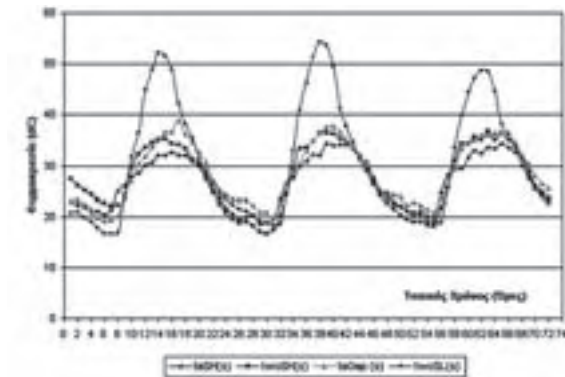


θερμότητας με συναγωγή, τύπου ηλιακής καμινάδας, μεταξύ τοίχου και φύλλων.

Μια σημαντική διαπίστωση ακόμα, είναι ότι η θερμοκρασία στις επιφάνειες των φύλλων εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους. Αυτό φαίνεται στο **Σχήμα 8**, όταν τη δεύτερη μέρα στρέψαμε ή προσανατολίσαμε το φύλλο με τον αισθητήρα, άμεσα προς τον ήλιο, με αποτέλεσμα την μεταβολή του θερμοκρασιακού του προφίλ. Παρατηρήθηκε τέλος, ότι τα περισσότερα φύλλα διατηρούσαν μια διάταξη που να μη προβάλλει μεγάλη μετωπική επιφάνεια στον ήλιο.

#### 4.4. Η επίδραση της σκίασης στη ροή θερμικού κέρδους

Για να εκτιμηθεί η επίδραση της φυσικής σκίασης των φυτών, στη μείωση του ηλιακού θερμικού φορτίου στον οικίσκο, συγκρίθηκαν τα μεγέθη των θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν στην σκιασμένη και στην ηλιασμένη περιοχή, κατά το τριήμερο (από 20-22 Αυγούστου) που επιλέχθηκε με βάση τη σχετικά σταθερή περιοδικότητα και ένταση των φαινομένων. Στο **Σχήμα 9** διακρίνεται άμεσα η θερμοκρασιακή αύξηση στην ηλιασμένη επιφάνεια, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά τη νύχτα οι θερμοκρασίες συγκλίνουν αρκετά λίγο πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.



**Σχήμα 9:** Θερμοκρασίες σκιασμένης από τα φυτά και ηλιασμένης περιοχής του οικίσκου (taSH=Θερμοκρασία περιβάλλοντος, twoSH=Σκιασμένης επιφάνειας, taGap= Διάκενου φύλλων-τοίχου, twoSL=Ηλιασμένης επιφάνειας). Λάρισα, 20-22 Αυγούστου.

**Fig. 9:** Temperatures measured on the plant shaded and on the sunlit wall area (taSH=Ambient, twoSH=Shaded area, taGap=Gap, twoSL=Sunlit area).

Η θερμοκρασία στη σκιασμένη επιφάνεια εμφανίζεται μέχρι 18 βαθμούς χαμηλότερη στις δύο το μεσημέρι (τοπική ώρα), ενώ τη νύχτα προσεγγίζει την θερμοκρασία του ηλιασμένου τοίχου, παραμένοντας χαμηλότερη από τη θερμοκρασία στο διάκενο. Αυτό σημαίνει, ότι τα φύλλα ενώ την ημέρα αποκόπτουν το ηλιακό φορτίο, κατά τη νύχτα, δεν σχηματίζουν θερμομονωτικό στρώμα εμποδίζοντας την αποβολή θερμότητας κατά τη νύχτα.

Με βάση τα προφίλ θερμοκρασιών, που αναπτύχθηκαν στις δύο επιφάνειες κατά τη διάρκεια του τριημέρου, υπολογίστηκε η διαφορά στη ροή θερμικού κέρδους μεταξύ ηλιασμένης και σκιασμένης περιοχής, που οφείλεται στη σκίαση των φυτών. Με ολοκλήρωση της επιφάνειας που περιλαμβάνουν οι δύο θερμοκρασίες όπως σκιαγραφείται στο **Σχήμα 10**, προέκυψαν οι βαθμο-ώρες θερμικής έντασης. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο ολικός συντελεστής μεταφοράς στις δύο επιφάνειες ως αποτέλεσμα συναγωγής και ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, λαμβάνοντας υπόψη τις επικρατούσες συνθήκες ροής του αέρα, τις θερμοκρασιακές κλίσεις και τους συντελεστές επιφανειακής εκπομπής. Το θερμικό κέρδος προέκυψε κατόπιν ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας ως γινόμενο βαθμο-ωρών και συντελεστή μεταφοράς.



**Σχήμα 10:** Οι βαθμο- ώρες φραγής της ροής ηλιακού θερμικού κέρδους, ως αποτέλεσμα της φυσικής σκίασης των φυτών σε διάρκεια τριών ημερών.

**Fig. 10:** The degree-hours of the excessive solar heat gain filtered through natural shading in 3 consecutive days.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας υπολογισμού έδειξαν κατά την πρώτη ημέρα μια μείωση της ροής ενέργειας εξαιτίας της φυσικής σκίασης ύψους 105,44 βαθμο-ωρών που μεταφράζεται σε

ημερήσιο ενεργειακό όφελος 1212 Wh/m<sup>2</sup>day. Σε όλο το τριήμερο τα φυτά απέκοψαν συνολικά 3,33 kWh/m<sup>2</sup> που αντιστοιχεί σε μέσο ημερήσιο ενεργειακό όφελος σκίασης ύψους 1,1 kWh/m<sup>2</sup>day. Τα μεγέθη αυτά δείχνουν αναμφισβήτητα την μεγάλη και σημαντική συνεισφορά του παθητικού ηλιακού στοιχείου στο ισοζύγιο ενέργειας, στην μείωση των ηλιακών φορτίων, στο φυσικό δροσίσιμα του χώρου και στην εξοικονόμηση ενέργειας κλιματισμού.

## 5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

### 5.1 Η πρόβλεψη της προσπίπτουσας έντασης ηλιακής ακτινοβολίας

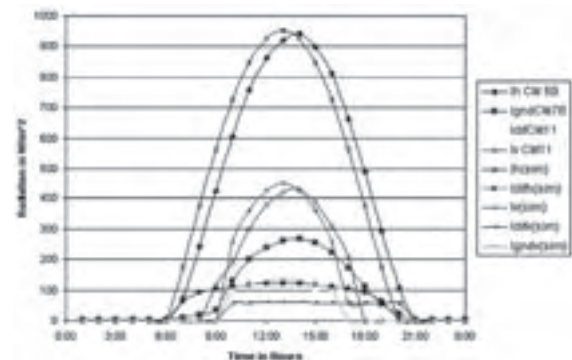
Με βάση το υπολογιστικό μοντέλο που περιγράψαμε στην ενότητα 2, δημιουργήθηκε ένας αριθμητικός κώδικας, ο οποίος προσομοιώνει την χρονικά μεταβαλλόμενη εξέλιξη των φυσικών φαινομένων, που διαμορφώνουν τα θερμοκά φορτία στο παθητικό στοιχείο. Ειδικότερα ο κώδικας περιλαμβάνει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Καθορίζονται οι παράμετροι του τόπου, του χρόνου και της επιφάνειας αναφοράς.
- Προσομοιώνεται η χρονικά μεταβαλλόμενη ηλιακή γεωμετρία, σε συνάρτηση με την επιφάνεια αναφοράς.
- Υπολογίζονται και σχεδιάζονται οι συνιστώσες της προσπίπτουσας στην επιφάνεια αναφοράς ηλιακής ακτινοβολίας, στη διάρκεια της ηλιοφάνειας.
- Υπολογίζεται και σχεδιάζεται η καμπύλη μεταβολής της ηλιακής θερμοκρασίας στην επιφάνεια αναφοράς.

Το **Σχήμα 11** απεικονίζει διαφορές μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων (sim) και πειραματικών μετρήσεων σε συνιστώσες της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις 8 Ιουλίου. Η χρονική μετατόπιση που διακρίνεται στις καμπύλες οφείλεται στη διαφορά της ηλιακής ώρας, που χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση και της τοπικής ώρας του πειράματος.

Όπως βλέπουμε υπάρχει μια εξαιρετική σύγκλιση μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων και πειραματικών μετρήσεων, σε όλες της συνιστώσες της ηλιακής έντασης. Σαν παράδειγμα, στο οριζόντιο επίπεδο, η μέγιστη τιμή της ολικής έντασης που προβλέψαμε κατά την ημέρα του πειράματος Ih(s), είναι 955 W/m<sup>2</sup>, ενώ 941 W/m<sup>2</sup> η αντίστοιχη τιμή που μετρήθηκε. Επίσης οι διαφορές μεταξύ προ-

σομοίωσης και πειράματος, στις μέγιστες τιμές της άμεσης έντασης, είναι 32 W/m<sup>2</sup> και της διάχυτης Idifh(s) μόνο 9 W/m<sup>2</sup>. Στο κατακόρυφο επίπεδο η προσομοιωμένη συνιστώσα της διάχυτης έντασης Idifv(s), είναι πράγματι όπως περιμέναμε σχεδόν στο μισό της διάχυτης, που μετρήθηκε στο οριζόντιο επίπεδο IdifCM11, εξ αιτίας του δείκτη της στερεάς γωνίας που είναι 0,5. Επίσης η ανακλώμενη από το έδαφος σε κατακόρυφο επίπεδο προσομοιωμένη ένταση Igvndv(sim), βρίσκεται σχεδόν στο μισό της έντασης IgvndvCM7B που μετρήθηκε από το πυρανόμετρο CM7B, του οποίου ο θόλος αντίκριζε το έδαφος.

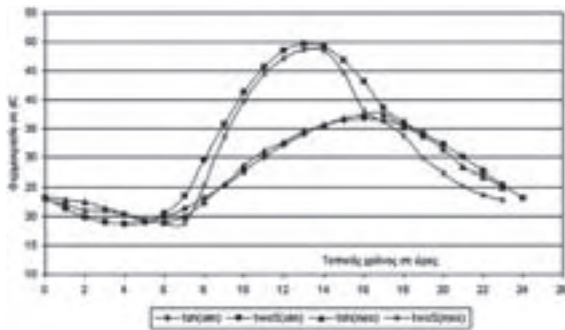


**Σχήμα 11:** Οι συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας. Θεωρητικές προβλέψεις (sim) και μετρήσεις σε οριζόντιο (h) και κατακόρυφο (v) επίπεδο, στις 8 Ιουλίου.

**Fig. 11:** The components of solar radiation incident on horizontal (h) and on vertical plane. Theoretical predictions (sim), vs. measurements taken on July 8<sup>th</sup>.

### 5.2. Προσομοίωση της θερμοκρασιακής διακύμανσης και σύγκριση με πειραματικές μετρήσεις

Στο **Σχήμα 12** παρουσιάζεται η σύγκριση θεωρητικών προβλέψεων, ως αποτέλεσμα της αριθμητικής προσομοίωσης και πειραματικών μετρήσεων, που πραγματοποιήθηκαν στο ηλιασμένο και στο σκιαζόμενο τμήμα της νότιας πλευράς του οικίσκου κατά την 22<sup>α</sup> Αυγούστου. Γενικά διακρίνουμε μια πολύ καλή σύγκλιση θεωρίας και πειράματος. Ειδικότερα, κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ 9.30 και 15.30 που ο νότιος τοίχος δέχεται ηλιακά φορτία, η σύγκλιση είναι εξαιρετική.



**Σχήμα 12:** Σύγκριση θεωρητικής (tsh(sim), twos(sim)) και πειραματικής μεταβολής (tsh(mes), two(mes)) της θερμοκρασίας, στην ηλιασμένη και στην σκιασμένη με φυτά περιοχή του οικίσκου κατά την 22<sup>η</sup> Αυγούστου.

**Fig.12:** A comparison between theoretical predictions (tsh(sim), twos(sim)) and experimental measurements of the temperature variation at the sunlit and at the green shaded wall area of the test cell taken on 22<sup>nd</sup> of August.

Η πρόβλεψη της μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου έγινε επίσης δυνατή μετά από σύνθεση της μεταβατικής ροής ηλιακού και αισθητού θερμικού κέρδους στο εσωτερικό του οικίσκου. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η διαδικασία αριθμητικής προσομοίωσης με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη τιμή της ημερήσιας θερμοκρασίας στο εσωτερικό του οικίσκου προβλέπεται κατά τη χρονική αυτή περίοδο να εμφανιστεί περίπου στις 19.30 το απόγευμα. Επίσης οι πλευρές που θα εμφανίσουν τις μεγαλύτερες θερμοκρασιακές αυξήσεις είναι η νότια και η δυτική. Συνεπώς κάθε παρέμβαση σκίασης ενεργητική ή παθητική, φυσική ή τεχνητή, θα πρέπει να ακολουθεί κατά προτεραιότητα τους πιο πάνω προσανατολισμούς.

Τέλος, η προσπάθεια σύγκρισης της παρούσας έρευνας με αποτελέσματα άλλων ερευνητικών εργασιών έδειξε ότι τα αποτελέσματα δεν είναι συγκρίσιμα λόγω ασυμβατότητας των πραγματικών περιβαλλοντικών και οριακών συνθηκών. Εξαιρέση αποτελεί η ηλιακή ακτινοβολία αιχμής σε κατακόρυφο επίπεδο με νότιο προσανατολισμό που μετρήθηκε σε 427 W/m<sup>2</sup> (βλέπε Σχήμα 11), έναντι 600 W/m<sup>2</sup> (Papadakis κ.α 2001), τιμή μάλλον υψηλή για την εποχή.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την πειραματική και θεωρητική διερεύνηση της επίδρασης της φυσικής σκίασης, με αναρριχώμενα φυλλοβόλα φυτά, στο ισοζύγιο ενέργειας ενός οικίσκου:

- Σχεδιάστηκε το φυσικό μοντέλο του παθητικού ηλιακού στοιχείου, προσδιορίστηκαν τα ηλιακά και αισθητά θερμικά φορτία που συνθέτουν το ενεργειακό ισοζύγιο και αναπτύχθηκαν αριθμητικές διαδικασίες για τη προσομοίωση της μεταβατικής ροής θερμικού κέρδους σε δομικά στοιχεία και για τη μετατροπή ηλιακών φορτίων σε περιοδική μεταβολή θερμοκρασίας.
- Δημιουργήθηκε πειραματικό μοντέλο του παθητικού συστήματος, ικανό να παρέχει δυνατότητα πειραματικής αξιολόγησης του αλγορίθμου προσομοίωσης και σύγκριση αποτελεσμάτων θεωρίας-πειράματος.
- Με δημιουργία πειραματικής υποδομής αισθητήρων και συστήματος καταγραφής - επεξεργασίας δεδομένων πραγματοποιήθηκαν κατά τη θερινή περίοδο μετρήσεις. Προσδιορίστηκαν μεταξύ άλλων οι συντελεστές ανάκλασης εδάφους-τοιχίου-φυτών και εισήχθησαν ως οριακές συνθήκες στον αλγόριθμο για ακριβέστερη εξομοίωση των μεταβατικών φαινομένων. Μετρήθηκαν οι συνιστώσες της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και οι μεταβολές των θερμοκρασιών στη σκιασμένη και στην ηλιασμένη περιοχή του πειραματικού οικίσκου.
- Υπολογίστηκε σε 1,1 kWh/m<sup>2</sup>day η μέση μείωση του ηλιακού φορτίων ανά μονάδα σκιασμένης επιφάνειας κατά το τριήμερο 20-22 Αυγούστου. Αποδείχθηκε ως ιδιαίτερα σημαντική και αποτελεσματική η χρήση των φυτών ως στοιχείο παθητικού δροσισμού σε κτιριακές επιφάνειες με νότιο, νοτιοδυτικό και δυτικό κυρίως προσανατολισμό.
- Τέλος, η σύγκριση θεωρητικών προβλέψεων και μετρήσεων, σε ότι αφορά τις μεταβολές θερμοκρασιών, ως αποτέλεσμα ηλιακών και αισθητών θερμικών φορτίων, κατέδειξε άριστες συγκλίσεις, πιστοποιώντας έτσι την εγκυρότητα του αλγορίθμου προσομοίωσης μεταβατικών ηλιακών φαινομένων, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της έρευνας.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και από Εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ – II) ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ

# The contribution of natural shading with climbing plants to the energy balance of a building

Angelos D. Tzachanis<sup>1</sup>

## ABSTRACT

This work is devoted to research into thermal behaviour of passive solar elements, the aim being to enrich the existing methodologies for analysis and prediction. The interest is focused on solar control through natural shading with deciduous plants. This provides a natural means of incorporating all advantages of its passive behaviour, available throughout the year, in a natural way. A considerable part of the work is directed towards simulation of the dynamic energy performance of building elements, starting with a physical modelling of the various energy conversion and transport mechanisms (e.g., solar radiation, heat gains, convection and conduction), and followed by a numerical modelling of the considered physical effects. Moreover, an experimental investigation of using plants as a passive solar system for solar control of building elements by natural shading is carried out. Along these lines, an experimental model is designed consisting of a test cell having its south façade partially shaded by plants, and a set of instruments - placed at the shaded and at the sunlit wall area - is used, which is supported by a data - acquisition system. Several physical parameters for a hot summer period are measured, allowing both the experimental validation of the developed simulation programme and the comparison of the results on heat transmission obtained through theoretical predictions and through measurements. Profiles of the daily measured solar radiation components and of the temperatures on the wall surfaces taken on days with high sky clearness showed a very good agreement with the predicted values. Comparisons of the temperatures on the shaded and on the sunlit wall surface showed that plants constitute an excellent passive system for solar control in buildings offering significant advantages over conventional artificial sunscreens.

**Key words:** Natural shading, Passive solar control, Simulation.

## ACKNOWLEDGEMENT

The project is co-funded by the European Social Fund and National Resources (EPEAEK II) ARCHIMEDES.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akbari H., Kurn D.M., Bretz S.E., Hanford J.W., Peak power and cooling energy shavings of shade trees. *Energy and Buildings* 25 (1997), 139-148.
- ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (N.Y. 1993).
- Dimoudi A., Nikolopoulou M., Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35 (2003), 69-76.
- Energy in Architecture, Batsford for the Commission of the European Communities, (1993), Chapter 6, 91-101.
- European Passive Solar Handbook, Commission of the European Communities D.G. XII for Science, Research and Development, Preliminary Edition (1986), Section 4, 4.1-4.14.
- Georgi N. J., Zafiriadis K., The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystem* (2006) 9: 195-209.
- Kuehn T.H., Ramsey J.W., Threkeld J.L., Thermal Environmental Engineering, Prentice- Hall, Inc. (1998), Chapter 15, 472-503.
- Papadakis G., Tsamis P., Kyritsis S., An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings, *Energy and Buildings* 33 (2001): pp 831-836..
- Rauissi S., Taheri M., Energy saving by proper tree plantation, *Building and Environment* 34 (1999): pp 565-570.

<sup>1</sup> Assoc. Professor, TEI of Larissa, GR 41110 Larissa, tzach@teilar.gr.

- Tzachanis, A., Sdravopoulou, C., Calculation of the Total Solar Irradiation using Computer Simulation, Proceedings of the second IASTED, International Conference Power and Energy Systems (Euro PES), 2002 : pp 382-387.
- Tzachanis, A., The Contribution of Passive Solar Elements to the Energy Balance of Buildings, Ph.D. Thesis, Technological Engineering Faculty, Transilvania University of Brasov- Romania 2006.
- Tzachanis A., Chassiotis P. Kitsakis K., Solar Heat Flow. A Simulation Model validated through Test-Cell Experiments, Proceedings of the 15<sup>th</sup> IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling (ASM 2006): pp 302-309.
- Tzachanis A., Sdravopoulou C., Simulation of the periodic steady heat gain in buildings, Proceedings. of the 2<sup>nd</sup> IASTED International Conference Power and Energy Systems (Euro PES 2002): pp 388-394.

## Χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) στον εντοπισμό θέσεων κατάσβεσης με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις

Τσακαλίδης Σπυρίδων<sup>1</sup>, Γήτας Ιωάννης<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μία από τις κυριότερες μεθόδους καταστολής δασικών πυρκαγιών είναι η χρήση πυροσβεστικών εγκαταστάσεων από υδροφόρα οχήματα. Η ανάπτυξη των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων προϋποθέτει την οδική πρόσβαση στον τόπο της πυρκαγιάς ενώ η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται πρωτίτως από την δυνατότητα μεταφοράς του νερού στο σημείο κατάσβεσης με ικανοποιητική πίεση. Η δυνατότητα αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων που συντελούν στην απώλεια πίεσης μέσα στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν, ο εντοπισμός με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ - GIS) των θέσεων όπου είναι δυνατή η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες απώλειας πίεσης.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι είναι δυνατή η χρήση των ΣΓΠ για τον υπολογισμό της απώλειας πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις και η απόκτηση “a priori” πληροφορίας όσον αφορά τη δυνατότητα κατάσβεσης στα διάφορα σημεία μιας περιοχής.

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση του θέματος που μπορεί, υπό προϋποθέσεις - παραδοχές, να αποτελέσει ένα επιχειρησιακό εργαλείο λήψης αποφάσεων κατά την έναρξη μιας δασικής πυρκαγιάς αναφορικά με τον τρόπο οργάνωσης του κατασβεστικού αγώνα (φάση προκαταστολής) αλλά και κατά την εξέλιξη του συμβάντος σχετικά με την δυνατότητα χρήσης πυροσβεστικών εγκαταστάσεων στα διάφορα τμήματα μιας πυρκαγιάς (φάση καταστολής).

**Λέξεις κλειδιά:** Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ - GIS), Αντιπυρικός Σχεδιασμός, Πυροσβεστικές Εγκαταστάσεις.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν έναν καθοριστικό ρυθμιστικό παράγοντα της εξέλιξης και διαμόρφωσης των δασικών οικοσυστημάτων στη Μεσογειακή ζώνη. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται εκθετική αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών στην περιοχή αυτή (Pausas και Vallejo 1999). Η αύξηση αυτή, μεταξύ άλλων, σχετίζεται με τις πρόσφατες κοινωνικο-οικονομικές αλλαγές που έγιναν στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου καθώς και με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Πιο συγκεκριμένα οι πρόσφατες αλλαγές στον τρόπο ζωής στις Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης οδήγησαν στην εγκατάλειψη μεγάλου μέρους των αγρο-

τικών εκτάσεων και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την επανεμφάνιση της φυσικής βλάστησης και συνεπώς την αύξηση συγκέντρωσης της καύσιμης ύλης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την άναρχη τουριστική ανάπτυξη της υπαίθρου είχε ως αποτέλεσμα τη δραματική αύξηση της συχνότητας των πυρκαγιών (Παπανικολάου και Γήτας, 2002).

Παρά τα μέτρα πρόληψης που λαμβάνονται κάθε χρόνο, τεράστιες εκτάσεις αποτεφρώνονται, προκαλώντας ανυπολόγιστες ζημιές στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη οικονομία. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα στην καταστολή των δασικών πυρκαγιών η αποτελεσματικότητα της οποίας μπορεί να βελτιωθεί σημα-

<sup>1</sup> Msc Δασολόγος / Τεχνολόγος Δασοπονίας, Αρχιπυροσβέστης στο Π.Κ. Κ. Νευροκοπίου Δράμας.

<sup>2</sup> Επίκουρος Καθηγητής - Δασολόγος, Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης της Σχολής Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

ντικά με τη βοήθεια ενός πλήρους και ενημερωμένου, επιχειρησιακού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών που θα συμβάλει στη βελτίωση του αντιπυρικού σχεδιασμού και στη σωστότερη λήψη αποφάσεων κατά την κατάσβεση. Μία από τις σημαντικότερες πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο κατά το στάδιο της προκαταστολής όσο και κατά το στάδιο της καταστολής είναι η δυνατότητα κατάσβεσης της πυρκαγιάς με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις. Η ανάπτυξη πυροσβεστικών εγκαταστάσεων αποτελεί έναν από τους κυριότερους και αποτελεσματικότερους τρόπους κατάσβεσης. Παρόλα αυτά πρέπει να αναφερθεί, ότι κατά την ανάπτυξη των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την επάρκεια πίεσης και κατ'επέκταση τη χρησιμότητά τους. Αυτό συμβαίνει κυρίως εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων παροχής πίεσης από τα υδροφόρα οχήματα αλλά και λόγω παραγόντων που προκαλούν απώλεια πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις όπως είναι η μεγάλη, πολλές φορές, απόσταση ή υψομετρική διαφορά μεταξύ της θέσης στάθμευσης του οχήματος και της θέσης κατάσβεσης. Έτσι δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων αν η πίεση επαρκεί ώστε να προσβληθεί η πυρκαγιά, με αποτέλεσμα να κινητοποιούνται συχνά υδροφόρα οχήματα αντί πεζοπόρων τμημάτων, τα οποία τελικά διαπιστώνεται ότι δεν μπορούν να συμβάλλουν στο κατασβεστικό έργο και να χάνεται πολύτιμος χρόνος με την ανάπτυξη ανεπιτυχών εγκαταστάσεων.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν ένα από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία για τη συγκέντρωση και αξιοποίηση χρήσιμης, από επιχειρησιακή άποψη, χωρικής πληροφορίας. Μία από αυτές τις πληροφορίες θα μπορούσε να είναι και η δυνατότητα κατάσβεσης με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις στα διάφορα σημεία μιας περιοχής. Μέχρι σήμερα έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος εφαρμογών που στηρίζονται στη χρήση των ΣΓΠ, όπως μεταξύ άλλων, για την εκτίμηση του κινδύνου έναρξης δαισιών πυρκαγιών (Darmawan et al., 2001), τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης (Keane et al., 1999), την ταξινόμηση της βλάστησης με σκοπό τη διάκριση κατηγοριών δαισιμής καύσιμης ύλης (Κούτσιας και Καρτέρης, 2003) και τον εντοπισμό θέσεων προτεραιότητας επεμβάσεων μετά από πυρκαγιά (Gallardo et al., 2004). Παρόλα αυτά, έπειτα από εκτενή αναζήτηση της σχετικής βιβλιογραφίας, δεν βρέθηκαν εφαρμογές σχετικά με τη διερεύνηση της δυνατότητας κατάσβεσης με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες απώλειας πίεσης, ο εντοπισμός με τη χρήση ΣΓΠ (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών), των θέσεων όπου είναι δυνατή η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις.

Οι επιμέρους στόχοι ήταν:

- η εύρεση, από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, και η περιγραφή των παραμέτρων απώλειας πίεσης των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων, και
- η παρουσίαση εφαρμογής στα ΣΓΠ για τον υπολογισμό των παραμέτρων απώλειας πίεσης, καθώς και τον εντοπισμό και τη χαρτογραφική απεικόνιση των θέσεων όπου είναι δυνατή η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις.

#### **ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

Η εύρεση των παραμέτρων απώλειας πίεσης των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων στηρίχθηκε στην αναζήτηση της σχετικής βιβλιογραφίας κατά την οποία διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν ελάχιστες αναφορές. Ελληνικά ή ξενόγλωσσα επιστημονικά άρθρα σχετικά με τον υπολογισμό της απώλειας πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις δεν βρέθηκαν. Το γεγονός αυτό εξηγείται ίσως κατά ένα μεγάλο μέρος από το ότι πρόκειται για ένα καθαρά επιχειρησιακού ενδιαφέροντος θέμα και ως αποτέλεσμα έχουν ασχοληθεί με αυτό κυρίως άνθρωποι της πράξης και όχι ερευνητές. Έτσι η συλλογή πληροφοριών βασίστηκε σε ιστοσελίδες Πυροσβεστικών Υπηρεσιών των Η.Π.Α. και της Μ. Βρετανίας (βλ. σχετική βιβλιογραφία), σε ιστοσελίδες συζητήσεων και σε ξενόγλωσσα βιβλία.

Ο Wieder (2005) αναφέρει ότι, για την πραγματοποίηση υπολογισμών σχετικά με την απώλεια πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις, πρέπει να χρησιμοποιείται ο τύπος που δίνει την «συνολική παραγόμενη από την αντλία πίεση, η οποία απαιτείται, προκειμένου να τροφοδοτηθεί μία πυροσβεστική εγκατάσταση με νερό και να φτάσει αυτό στο σημείο προσβολής με ικανοποιητική πίεση». Ο τύπος αυτός αναφέρεται επίσης σε διάφορες ιστοσελίδες, όπως σε αυτήν της Π.Υ. του Houston, της υπηρεσίας πυρκαγιάς/διάσωσης του New Westminster καθώς και σε άλλες όπου γίνεται συζήτηση για το αντικείμενο αυτό (forums). Ο τύπος αυτός έχει ως εξής:

## **EP = NP + FL +Appliance +/- Elevation**

όπου:

**EP** = η απαιτούμενη, από μέρους της αντλίας, πίεση (Engine Pressure) σε psi (pounds per square inch),

**NP** = η απαιτούμενη πίεση στον αυλό σε psi (Nozzle Pressure),

**FL** = η απώλεια πίεσης λόγω τριβής του νερού στα τοιχώματα των σωλήνων σε psi (Friction Loss).

**Appliance** = η απώλεια πίεσης σε psi λόγω συνδέσεων διαφόρων τύπων όπως, συστολές μείωσης διαμέτρου και πολλαπλές (δηλ. δίκρουνα, τρίκρουνα),

**Elevation** = η απώλεια ή αύξηση πίεσης σε psi λόγω υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του σημείου εξόδου του νερού από την αντλία και του σημείου προσβολής.

Εκτός των παραμέτρων απώλειας πίεσης που προαναφέρθηκαν, ο Teic (1994) αναφέρει ότι θα πρέπει να λαμβάνεται επίσης υπόψη και η απώλεια πίεσης που δημιουργείται από την πρόσκαιρη μείωση της διαμέτρου που συμβαίνει στην σύνδεση των σωλήνων μεταξύ τους (στους συνδετικούς κρίκους). Η παράμετρος αυτή αναφέρεται ως “**Linkages**”. Επομένως ο τύπος υπολογισμού της συνολικής απαιτούμενης πίεσης διαμορφώνεται τελικά ως εξής:

## **EP= NP+ FL+ Appliance +/-Elevation + Linkages**

όπου:

**Linkages**: η απώλεια πίεσης που δημιουργείται από την πρόσκαιρη μείωση της διαμέτρου που συμβαίνει στα, μεταξύ των σωλήνων, κουμπώματα (συνδετικοί κρίκοι).

Σύμφωνα με τα παραπάνω η απώλεια πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις οφείλεται σε 4 παράγοντες:

- στηντριβή του νερού μέσα στα τοιχώματα των σωλήνων,
- στηνυψομετρική διαφορά μεταξύ αντλίας και σημείου προσβολής,
- στιςτριβές του νερού που δημιουργούνται στους διάφορους συνδέσμους που χρησιμοποιούνται είτε για να ενωθούν σωλήνες ποικίλων διαμέτρων μεταξύ τους, είτε για να δημιουργηθούν από μία αρχικά σωλήνα, δύο ή και περισσότερες γραμμές κατάσβεσης, και

- στην ανακοπή της ταχύτητας του νερού λόγω μείωσης της διατομής στους συνδετικούς κρίκους των σωλήνων.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά όλοι οι παράμετροι του τύπου που αναφέρθηκε.

### **EP (Engine Pressure / απαιτούμενη παραγόμενη, από μέρους της αντλίας, πίεση)**

Ως Engine Pressure (EP) ορίζεται η παραγόμενη από την αντλία πίεση η οποία απαιτείται προκειμένου να τροφοδοτηθεί η πυροσβεστική εγκατάσταση με νερό και να φτάσει αυτό στον αυλό με ικανοποιητική πίεση. Το μέγεθος της πίεσης αυτής ορίζεται συναρτήσει των παραγόντων που βρίσκονται στο δεξιό μέρος του τύπου. Η μέγιστη απαιτούμενη, για την κατάσβεση, πίεση θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από την μέγιστη παραγόμενη από μέρους της αντλίας προκειμένου να είναι δυνατή η κατάσβεση.

### **NP (Nozzle Pressure / απαιτούμενη πίεση στον αυλό)**

Ως Nozzle pressure (NP) ορίζεται η ελάχιστη πίεση την οποία πρέπει να έχει το νερό όταν φτάσει στο άκρο της εγκατάστασης ώστε να είναι δυνατή η κατάσβεση της πυρκαγιάς. Η πίεση αυτή εξαρτάται από το είδος του αυλού που χρησιμοποιείται.

Αναλυτικά οι περιπτώσεις που αναφέρονται από την Π.Υ. του Houston είναι:

Για αυλό βολής ομίχλης υψηλής πίεσης (Fog nozzle) => 100 psi

Για αυλό βολής ομίχλης χαμηλής πίεσης (Low pressure fog nozzle) => 50 psi

Για αυλό διασκορπισμένης βολής (Vindicator nozzle) => 50 psi

Για αυλό χειρός συμπαγούς βολής (Solid stream handline) => 50 psi

Για σταθερό αυλό συμπαγούς βολής (Solid stream master) => 80 psi

### **FL (Friction Loss / απώλεια πίεσης λόγω τριβής)**

Ως Friction Loss (FL) ορίζεται η απώλεια πίεσης λόγω τριβής του κινούμενου νερού με τα τοιχώματα των σωλήνων. Αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως, τη διάμετρο της σωλήνας, το ρυθμό ροής του ύδατος μέσα από αυτήν (flow rate), το μήκος της εγκατάστασης, την ηλικία των σωλήνων και την κατάσταση της εγκατάστασης (καμπυλώσεις, γωνιάσματα κ.λ.π.)



Ο τύπος ο οποίος δίνει τις απώλειες λόγω τριβής του νερού στα τοιχώματα των σωλήνων αναφέρεται σε όλες τις προαναφερθείσες πηγές και είναι ο εξής:

$$FL = C * Q^2 * L$$

όπου,

FL = απώλειες λόγω τριβών σε psi

C = μία σταθερά η οποία εξαρτάται από την διάμετρο των σωλήνων

Q = ο ρυθμός ροής του ύδατος μέσα στην εγκατάσταση σε εκατοντάδες γαλόνια ανά λεπτό (flow rate in gallons per minute, gpm) και

L = το μήκος της εγκατάστασης σε εκατοντάδες πόδια (hundreds of feet)

Σύμφωνα με τον Wieder (2005), η σταθερά C, παίρνει διάφορες τιμές ανάλογα με τη διάμετρο των σωλήνων όπως φαίνεται στον Πίνακα I (μία ίντσα (inch) ισούται με 2,54 εκατοστά).

Η παράμετρος L που αφορά το συνολικό μήκος της εγκατάστασης σε εκατοντάδες πόδια δεν απαιτεί περαιτέρω διευκρινίσεις. Αρκεί να αναφερθεί ότι ένα πόδι (foot) ισούται με 0,3048 m.

Τέλος η μεταβλητή Q αφορά τον ρυθμό ροής του νερού μέσα στην εγκατάσταση και εκφράζεται σε εκατοντάδες γαλόνια ανά λεπτό (gpm). Όπως αναφέρεται από τον Wieder και την Π.Υ. του Houston για τον υπολογισμό του ρυθμού ροής (Q) ισχύει ο τύπος:

$$GPM = 29.7 * d^2 * \sqrt{NP}$$

όπου,

GPM = ο ρυθμός ροής σε γαλόνια ανά λεπτό (gallons per minute),

d = η διάμετρος της οπής του ακροφύσιου του αυλού (tip diameter) σε ίντσες, και

NP = η πίεση νερού στον αυλό (nozzle pressure)

Πρέπει να αναφερθεί ότι ένα γαλόνι ισούται με 3,78541 λίτρα

**Πίνακας I.** Τιμές της σταθεράς “C” ανάλογα με τη διάμετρο της σωλήνας

**Table I.** Values of “C” coefficient in relation to the fire hose diameter

ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΣΩΛΗΝΩΝ ΣΕ ΙΝΤΣΕΣ	ΤΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ C
0,75”	1.100
1”	150
1,25”	80
1,5”	24
1,75”	15,5
2”	8
2,5”	2
3” σωλήνα (hose) με συνδετικούς κρικούς 2,5”	0,8
3” σωλήνα (hose) με συνδετικούς κρικούς 3”	0,677
3,5”	0,34
4”	0,2
4,5”	0,1
5”	0,08
6”	0,05

### Appliances (Pressure loss / απώλεια πίεσης λόγω συνδέσμων)

Η ανάπτυξη μιας πυροσβεστικής εγκατάστασης απαιτεί πολλές φορές τη χρήση διαφόρων τύπων ειδικών συνδέσμων, όπως δίκρουνα, τρίκρουνα, με τη βοήθεια των οποίων από μία αρχικά σωλήνα που ξεκινά από την αντλία του οχήματος μπορεί να δημιουργούνται 2 ή και περισσότερες γραμμές προσβολής. Επίσης κατά μήκος των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιούνται συχνά σωλήνες με διαφορετική διάμετρο, ξεκινώντας την εγκατάσταση με σωλήνα μεγάλης διαμέτρου και συνεχίζοντας με μικρότερη. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση “συστολών” στα σημεία σύνδεσης των σωλήνων. Για κάθε τύπο εξαρτήματος που τοποθετείται στην εγκατάσταση η απώλεια πίεσης μπορεί να είναι διαφορετική όμως ως γενικός κανόνας από τον Wieder (2005) και την Πυροσβεστική Υπηρεσία του Houston αναφέρεται ότι σε περιπτώσεις όπου ο ρυθμός ροής του νερού μέσα στην πυροσβεστική εγκατάσταση είναι μικρότερος από 350 gpm τότε η απώλεια πίεσης λόγω συνδέσμων είναι ασήμαντη. Εάν ο ρυθμός ροής είναι μεγαλύτερος από 350 gpm τότε θα πρέπει να υπολογίζεται απώλεια ίση με 10 psi για κάθε σύνδεσμο.

### Elevation (Pressure Loss-Gain / απώλεια ή κέρδος σε πίεση λόγω υψομετρικής διαφοράς)

Οι επιχειρήσεις κατάσβεσης δασικών πυρκαγιών πολλές φορές απαιτούν την χρήση πυροσβεστικών εγκαταστάσεων σε διάφορα σημεία του ανάγλυφου, που σημαίνει διάφορες υψομετρικές διαφορές ως προς την αντλία του οχήματος. Η αύξηση ή μείωση της πίεσης του νερού που δημιουργείται από τις υψομετρικές διαφορές μεταξύ του αυλού κατάσβεσης και της αντλίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό της συνολικής απώλειας πίεσης (Wieder, 2005). Όταν επιχειρείται κατάσβεση σε υψόμετρο μεγαλύτερο της αντλίας, αυτή η πίεση ασκείται προς τα πίσω κατά της αντλίας. Άρα στην συνολική απώλεια πίεσης που συμβαίνει λόγω των παραγόντων που προαναφέρθηκαν θα πρέπει να προστεθεί και η απώλεια λόγω θετικής υψομετρικής διαφοράς. Αντιθέτως όταν επιχειρείται κατάσβεση σε σημείο το οποίο βρίσκεται χαμηλότερα της αντλίας δημιουργείται πίεση και πάλι λόγω υψομετρικής διαφοράς η οποία αυτή τη φορά ασκείται κατά του αυλού κατάσβεσης. Στην περίπτωση αυτή για να βρεθεί

η συνολική απώλεια πίεσης αφαιρείται από την απώλεια πίεσης λόγω λοιπών παραγόντων (λόγω τριβής, συνδέσμων) το κέρδος σε πίεση που δημιουργείται λόγω της αρνητικής υψομετρικής διαφοράς (Wieder, 2005). Τόσο ο Wieder (2005) όσο και ο Stryker (2005) αναφέρουν ότι η απώλεια ή αύξηση πίεσης είναι ίση με 0,433 psi ανά ft (πόδι) υψομετρικής διαφοράς. Επομένως εφόσον 1 πόδι (foot) είναι 0,3048 m συνεπάγεται ότι η αύξηση ή μείωση πίεσης λόγω υψομετρικής διαφοράς είναι **1,42 psi / m**.

### Linkages (Pressure loss/ απώλεια πίεσης λόγω των συνδετικών κρίκων των σωλήνων)

Οι πυροσβεστικοί σωλήνες φέρουν στα άκρα τους συνδετικούς κρίκους με διάμετρο μικρότερη από αυτή των σωλήνων. Στα σημεία αυτά παρεμποδίζεται η απρόσκοπτη διέλευση του νερού και συντελείται απώλεια πίεσης. Η απώλεια πίεσης υπολογίζεται σε 5 psi για κάθε ένωση (Teie, 1994). Επίσης κατά την εκτέλεση υπολογισμών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνδέσεις ένωσης της αντλίας με την πρώτη σωλήνα καθώς και ένωσης της τελευταίας σωλήνας με τον αυλό.

### **ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΥΘΥΝΗΣ ΤΟΥ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΚΙΟΥ ΚΑΤΩ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙΟΥ**

Για να φανεί ο τρόπος υπολογισμού των παραμέτρων απώλειας πίεσης των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων στα ΣΓΠ αναπτύχθηκε εφαρμογή για τμήμα της περιοχής ευθύνης του Πυροσβεστικού Κλιμακίου Κάτω Νευροκοπίου. Ο σκοπός της εφαρμογής ήταν να βρεθούν οι θέσεις, στην περιοχή μελέτης, όπου είναι δυνατή η κατάσβεση με ανάπτυξη πυροσβεστικών εγκαταστάσεων.

Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

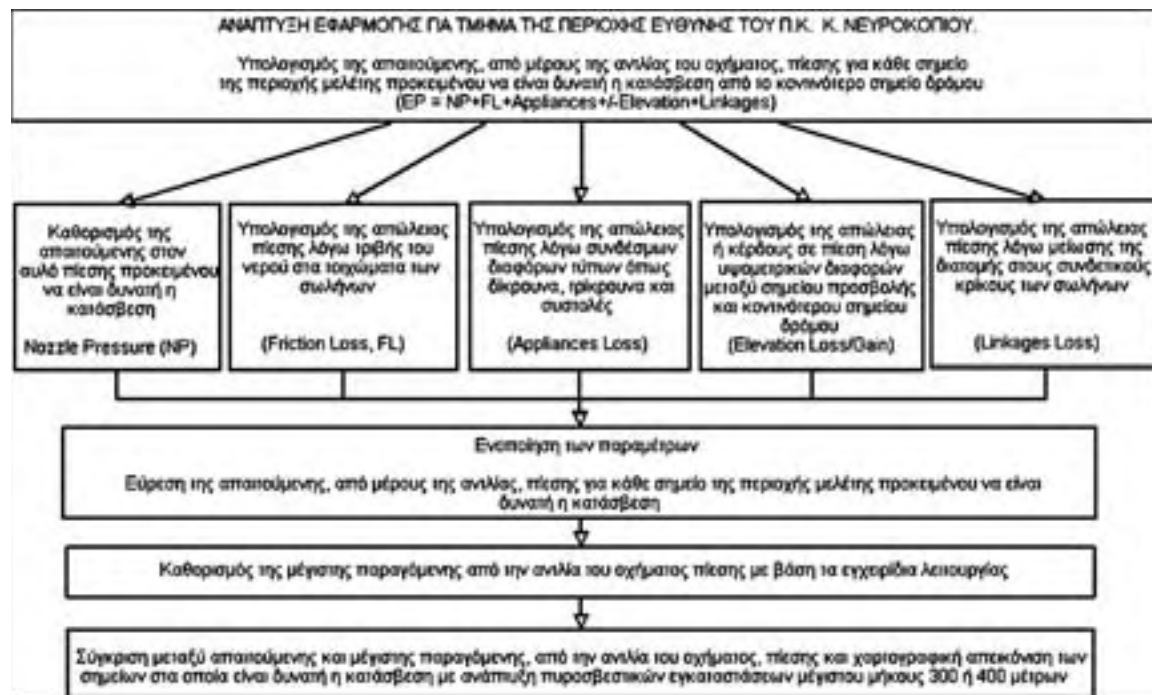
- το πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός της απώλειας πίεσης λόγω των παραγόντων που αναφέρθηκαν για κάθε σημείο (εικονοστοιχείο) της περιοχής μελέτης, θεωρώντας μια πιθανή πυροσβεστική εγκατάσταση από το κοντινότερο σημείο δρόμου,
- στη συνέχεια το αποτελέσματα των υπολογισμών για κάθε παράγοντα απώλειας πίεσης προστέθηκαν ώστε να προκύψει η συνολική απαιτούμενη, από την αντλία του οχήματος, πίεση

ση προκειμένου να είναι δυνατή η κατάσβεση,

- τέλος η συνολική απαιτούμενη, προκειμένου να είναι δυνατή η κατάσβεση, πίεση που βρέθηκε για κάθε σημείο της περιοχής, συγκρίθηκε με τη μέγιστη ικανότητα παραγωγής πίεσης από την αντλία (με βάση τα εγχειρίδια λειτουργίας) και έγινε χωρο-

τογραφική απεικόνιση των σημείων στα οποία είναι δυνατή η κατάσβεση με ανάπτυξη πυροσβεστικών εγκαταστάσεων μέγιστου μήκους τριακοσίων ή τετρακοσίων m.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των εργασιών (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής των εργασιών  
Figure 1. Work Flowchart

## ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του Δήμου Νευροκοπίου του Ν. Δράμας και ανήκει στον τομέα ευθύνης του οικείου Πυροσβεστικού Κλιμακίου (Σχήμα 2).

Επιλέχθηκε ορεινή περιοχή προκειμένου να υπάρξουν έντονες διακυμάνσεις του ανάγλυφου και κατά συνέπεια έντονη διακύμανση της απώλειας ή αύξησης πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις λόγω υψομετρικών διαφορών. Χρησιμοποιήθηκαν: Ένα σημειακό ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου της περιοχής (Digital Terrain Model), πυκνότητας 20 m, ορθοφωτογραφίες της περιοχής κάλυψης 1996, γενικότεροι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 και εγχειρίδια λειτουργίας – συντήρησης αντλιών

πυροσβεστικών οχημάτων. Για την επεξεργασία στα ΣΓΠ χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGis 8.3 της ESRI. Τέλος χρησιμοποιήθηκε αυλός συμπαγούς βολής χαμηλής πίεσης με δικλείδα του Πυροσβεστικού Κλιμακίου Κ. Νευροκοπίου, κατάλληλος για διάμετρο σωλήνων 25 mm, προκειμένου να μετρηθεί η διάμετρος του και να χρησιμοποιηθεί η τιμή αυτή στους υπολογισμούς.

Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών στην περιοχή μελέτης θεωρήθηκε ομοιογενής πυροσβεστική εγκατάσταση (χωρίς αυξομειώσεις της διαμέτρου των σωλήνων), αποτελούμενη από σωλήνες χαμηλής πίεσης, διαμέτρου 25 mm και μήκους 25 m, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στην κατάσβεση των δασικών πυρκαγιών.



**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΑ Σ.Γ.Π. ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ**

Ο τύπος υπολογισμού της συνολικής απαιτούμενης, από μέρους της αντλίας, πίεσης όπως προαναφέρθηκε είναι ο εξής:

$$EP = NP + FL + \text{Appliance} +/- \text{Elevation} + \text{Linkages}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος εκτίμησης των παραγόντων του τύπου στα ΣΓΠ.

**NP (Nozzle Pressure)**

Στην Ελλάδα για την κατάσβεση των δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιούνται κυρίως αυλοί ρυθμιζόμενοι, προπετάσματος, με πρόσθετο προστόμιο ή και με δικλείδα. Σε σχέση με τον τρόπο ρύψης του νερού οι αυλοί κατάσβεσης διακρίνονται σε: α) αυλούς συμπαγούς βολής, και β) ρυθμιζόμενους οι οποίοι μπορούν να πραγματοποιήσουν όλους τους τρόπους ρύψης, ήτοι, συμπαγή βολή, διασκορπισμένη και βολή ομίχλης.

Σύμφωνα με την Πυροσβεστική Υπηρεσία του Houston και τον Wieder (FireGround Hydraulics 2005) για να έχουμε ικανοποιητική ρύψη νερού από τον αυλό θα πρέπει να υπάρχει, για τους αυλούς χειρός χαμηλής πίεσης, συμπαγούς βολής και βολής ομίχλης, πίεση νερού τουλάχιστον ίση με 50 psi (pounds per square inch).

Επειδή ως επί το πλείστον για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιούνται οι σωλήνες χαμηλής πίεσης διαμέτρου 25 mm και σε αυτές χρησιμοποιείται αυλός με δικλείδα συμπαγούς βολής, η απαιτούμενη πίεση ορίστηκε ίση με 50 psi. Με το Raster Calculator του λογισμικού ArcGIS 8.3 της ESRI υπολογίστηκε συνεπώς ένα raster (ψηφιδωτή μορφή εικόνας) με τιμή 50 για κάθε εικονοστοιχείο (ψηφίδα).

**FL (Friction Loss)**

Η διάμετρος των σωλήνων της εγκατάστασης επιλέχθηκε ίση με 25 mm. Έτσι με βάση τον πίνακα που παρατέθηκε η σταθερά C πήρε τιμή ίση με 150.

Ο ρυθμός ροής (Q) υπολογίστηκε από τον τύπο

$$GPM = 29.7 * d^2 * \sqrt{NP} \quad \text{ως εξής:}$$

Καταρχήν μετρήθηκε η διάμετρος της οπής του ακροφύσιου ενός αυλού και βρέθηκε ίση με 0,4 cm. Αυτό αντιστοιχεί σε 0,157 ίντσες. Άρα ο τύπος διαμορφώθηκε ως εξής:  $GPM = 29,7 * (0,157)^2 * \sqrt{50} = 5,176 \text{ gpm}$  και  $Q = 5,176/100 = 0,0517$

Βάζοντας τις τιμές αυτές στον τύπο της απώλειας λόγω τριβών έχουμε:

$$FL = C * Q^2 * L \Leftrightarrow FL = 150 * (0,0517)^2 * L \Leftrightarrow FL = 0,4018 * L \text{ (hundreds of feet), και επειδή } 100 \text{ ft ισοδυναμούν με } 30,48 \text{ m, } FL = (0,4018/30,48) * L \Leftrightarrow FL = 0,013 * L \text{ (m).}$$

Το L (μήκος της εγκατάστασης) για να απεικονιστεί χωρικά και να είναι δυνατή η εκτέλεση των υπολογισμών ορίστηκε ως, η απόσταση κάθε σημείου (εικονοστοιχείου) της περιοχής από το κοντινότερο σημείο δρόμου. Για να πλησιάσει η υπολογιζόμενη τιμή την πραγματική, υπολογίστηκε αντί της προβολικής (οριζόντιας) απόστασης, η κεκλιμένη απόσταση κάθε εικονοστοιχείου από το κοντινότερο σημείο δρόμου ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά ψηφιοποιήθηκε το οδικό δίκτυο από τις ορθοφωτογραφίες της περιοχής και υπολογίστηκε η προβολική απόσταση κάθε σημείου από το κοντινότερο σημείο δρόμου,
- δημιουργήθηκαν ζώνες (buffer zones) 2 m αριστερά και δεξιά από το οδικό δίκτυο. Στη συνέχεια με χρήση του Spatial Analyst εφαρμόστηκε η IDW (Inverse Distance Weighted) και έγινε Interpolation το raster των σημείων του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DTM) αφού ορίστηκε ως extend το πλάτος των 4 m του οδικού δικτύου,
- με την εντολή allocation αποδόθηκε σε κάθε σημείο (εικονοστοιχείο) της περιοχής το υψόμετρο του κοντινότερου σημείου δρόμου,
- αφαιρέθηκε από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου της περιοχής το εξαγόμενο από την εντολή allocation, raster και βρέθηκε η υψομετρική διαφορά κάθε εικονοστοιχείου της περιοχής μελέτης από το κοντινότερο σημείο δρόμου,
- η κεκλιμένη απόσταση υπολογίστηκε ως εξής:

$$\text{Κεκλιμ. Απόσταση} = \sqrt{\text{Προβ. Απόσταση}^2 + \text{Υψομ. Διαφορά}^2}$$

- Τέλος οι τιμές κεκλιμένης απόστασης που υπολογίστηκαν προσαυξήθηκαν κατά 20% λόγω γενικότερων διακυμάνσεων και μικροδιακυμάνσεων του ανάγλυφου τις οποίες ακολουθεί αναγκαστικά μία πυροσβεστική εγκατάσταση.

Με τον τρόπο που περιγράφηκε και με τη βοήθεια του Raster Calculator προέκυψε ένα raster που εκφράζει την παράμετρο (L) του τύπου υπολογισμού της απώλειας πίεσης λόγω τριβής (Friction Loss). Η απώλεια πίεσης λόγω τριβής εκφράστηκε τελικά με τη βοήθεια ενός raster, το οποίο υπολογίστηκε με το Raster Calculator του λογισμικού χρησιμοποιώντας, με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν, τον παρακάτω τύπο:

$$FL \text{ εικονοστοιχείου } Xi = 0,013 * Li \text{ όπου,}$$

Li = η κεκλιμένη απόσταση κάθε εικονοστοιχείου από το κοντινότερο σημείο δρόμου προσαυξημένη κατά 20%.

### Appliances (Pressure loss)

Η πυροσβεστική εγκατάσταση θεωρήθηκε ομοιογενής, ότι αποτελείται δηλαδή σε όλο το μήκος της από σωλήνες ίσης διαμέτρου (25 mm) και ότι δεν διακλαδίζεται σε περισσότερες γραμμές προσβολής. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι τέτοιου τύπου και επομένως δεν υπάρχει αντίστοιχη απώλεια πίεσης.

### Elevation (Pressure Loss/Gain)

Κατά τη διαδικασία εύρεσης της κεκλιμένης απόστασης υπολογίστηκε ένα raster στο οποίο κάθε εικονοστοιχείο (pixel) έφερε ως τιμή την υψομετρική διαφορά του από το κοντινότερο σημείο δρόμου. Το raster αυτό χρησιμοποιώντας το Raster Calculator πολλαπλασιάστηκε με την τιμή 1,42, η οποία εκφράζει την αύξηση ή απώλεια πίεσης λόγω υψομετρικής διαφοράς ενός μέτρου. Με τον τρόπο αυτό προέκυψε ένα νέο raster στο οποίο κάθε εικονοστοιχείο (pixel) έφερε ως τιμή την απώλεια ή την αύξηση πίεσης σε psi λόγω της υψομετρικής διαφοράς του από το κοντινότερο σημείο δρόμου. Το raster που προέκυψε είχε τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές. Οι αρνητικές τιμές εκφράζουν κέρδος σε πίεση ενώ οι θετικές απώλεια.

### Linkages (Pressure loss)

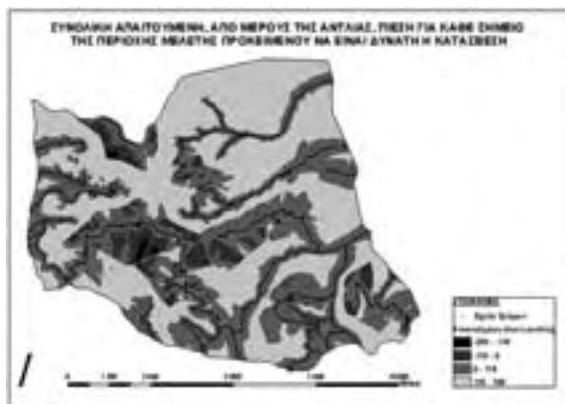
Για τον υπολογισμό της απώλειας πίεσης λόγω αυτού του παράγοντα χρησιμοποιήθηκε η κεκλιμένη, προσαυξημένη κατά 20 %, απόσταση κάθε σημείου της περιοχής από το κοντινότερο σημείο δρόμου, η οποία στη συνέχεια διαιρέθηκε με το 25 (που αντιστοιχεί στο μήκος των σωλήνων διαμέτρου 25 mm), προκειμένου να βρεθεί ο αριθμός των σωλήνων που απαιτείται για να φτάσει η εγκατάσταση

στο σημείο κατάσβεσης. Ο αριθμός αυτός προσαυξημένος κατά ένα, λόγω της ένωσης της πρώτης σωλήνας με την αντλία, αντιστοιχεί στον αριθμό των κουμπωμάτων της εγκατάστασης (ενώσεων). Ο αριθμός των κουμπωμάτων πολλαπλασιάστηκε τελικά με την τιμή 5, που εκφράζει την απώλεια πίεσης σε psi για κάθε σύνδεση (κούμπωμα) ώστε να προκύψει η απώλεια πίεσης λόγω του παράγοντα linkages για κάθε σημείο της περιοχής. Το αποτέλεσμα ήταν ένα raster στο οποίο κάθε σημείο της περιοχής (εικονοστοιχείο) έφερε και μία τιμή απώλειας πίεσης.

Τέλος για να υπολογιστεί η συνολική απαιτούμενη, από μέρους της αντλίας, πίεση ώστε να είναι δυνατή η κατάσβεση σε κάθε σημείο (εικονοστοιχείο) της περιοχής μελέτης (Engine Pressure), προστέθηκαν όλα τα raster που υπολογίστηκαν (Nozzle Pressure, Friction Loss, Elevation Loss και Linkages Loss).

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την άθροιση των raster των παραγόντων απώλειας πίεσης προέκυψε ένα νέο raster που εκφράζει την παραγόμενη, από μέρους της αντλίας, πίεση (EP, Engine Pressure) για κάθε σημείο της περιοχής μελέτης, η οποία απαιτείται ώστε να είναι δυνατή η κατάσβεση. Το raster αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 3.



**Σχήμα 3.** Συνολική απαιτούμενη, από μέρους της αντλίας, πίεση για κάθε σημείο της περιοχής μελέτης προκειμένου να είναι δυνατή η κατάσβεση  
**Figure 3.** Total requisite pump pressure for every point of the study area

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν σημεία με θετικές αλλά και σημεία με αρνητικές τιμές. Τα σημεία με θετικές τιμές εκφράζουν περιοχές για τις οποίες προκειμένου να γίνει κατάσβεση απαιτείται παραγωγή πίεσης από την αντλία του οχήματος ενώ στις περιοχές με αρνητικές τιμές το νερό μπορεί να φτάσει ακόμα και με ελεύθερη ροή.

Η μέγιστη παραγόμενη, από την αντλία των οχημάτων, πίεση ορίστηκε ίση με 8 bar ή 116 psi σύμφωνα με τα εγχειρίδια λειτουργίας και χρήσης των αντλιών τύπου Ziegler των οχημάτων Steyer, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατάσβεση δασικών πυρκαγιών. Συνεπώς σε όσα σημεία (εικονοστοιχεία) της περιοχής μελέτης η απαιτούμενη πίεση είναι μικρότερη από 116 psi, υπάρχει δυνατότητα κατάσβεσης με ανάπτυξη πυροσβεστικών εγκαταστάσεων. Τα σημεία αυτά στο Σχήμα 3 απεικονίζονται με σκούρο γκρι έως μαύρο χρώμα.

Από τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε προέκυψε η δυνατότητα κατάσβεσης για όλη την περιοχή μελέτης (Σχήμα 3) χωρίς να τεθεί περιορισμός στο μήκος που μπορεί να έχει μία πυροσβεστική εγκατάσταση. Επειδή το μήκος αυτό όμως στην πράξη δεν μπορεί να είναι απεριόριστο, ορίστηκαν δύο ζώνες (buffers) εκατέρωθεν του δρόμου σε αποστάσεις 300 και 400 m αντίστοιχα, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν και ως μέγιστες για την κατασκευή πυροσβεστικών εγκαταστάσεων. Για την δημιουργία των ζωνών χρησιμοποιήθηκε η κεκλιμένη απόσταση κάθε σημείου (εικονοστοιχείου) της περιοχής από το κοντινότερο σημείο δρόμου προσαυξημένη κατά 20%. Επίσης όπως προαναφέρθηκε σύμφωνα με τα εγχειρίδια λειτουργίας της αντλίας, η μέγιστη παραγόμενη πίεση είναι 8 bar, ήτοι 116 psi. Έτσι υπολογίστηκαν δύο raster, τα οποία απεικονίζουν θέσεις με μέγιστη απαιτούμενη πίεση μικρότερη ή ίση με 116 psi και με μέγιστη απόσταση από το κοντινότερο σημείο δρόμου 300 και 400 m αντίστοιχα. Τα raster που προέκυψαν από τον υπολογισμό αυτό φαίνονται στα Σχήματα 4 και 5.

Με σκούρο γκρι χρώμα στους τελικούς χάρτες αποτυπώνονται οι περιοχές όπου μπορεί να πραγματοποιηθεί κατάσβεση με ικανοποιητική πίεση στον αυλό (50 psi). Παρατηρούμε ότι η απόσταση από το κοντινότερο σημείο δρόμου στην οποία μπορούμε να φτάσουμε με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις ποικίλλει σημαντικά. Σημειώνεται ότι θα πρέπει πάντα να γίνεται έλεγχος, μέσα



**Σχήμα 4.** Σημεία στα οποία είναι δυνατή η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις και για μέγιστη, κεκλιμένη (προσαυξημένη κατά 20%) απόσταση από τον κοντινότερο οδικό άξονα 300 m  
**Figure 4.** Areas with 300 m maximum 3d distance from the nearest road, where forest fire suppression is possible by hoseline deployment



**Σχήμα 5.** Σημεία στα οποία είναι δυνατή η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις και για μέγιστη, κεκλιμένη (προσαυξημένη κατά 20%) απόσταση από τον κοντινότερο οδικό άξονα 400 m  
**Figure 5.** Areas with 400 m maximum 3d distance from the nearest road, where forest fire suppression is possible by hoseline deployment

στην περιοχή όπου είναι δυνατή η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις, για σημεία όπου η συνολική απαιτούμενη πίεση αντλίας είναι μικρότερη από -116. Μεγάλες αρνητικές τιμές μπορεί να παρατηρηθούν σε σημεία προσβολής που βρίσκονται χαμηλότερα από την θέση της αντλίας και οφείλονται στη μεγάλη υψομετρική διαφορά από αυτήν. Για τα σημεία αυτά θα πρέπει να δημιουργηθεί τεχνητά μείωση της πίεσης κατά μήκος της πυροσβεστικής εγκατάστασης διότι διαφορετικά μπορεί να συντελεστεί καταστροφή των σωλήνων και αδυναμία χειρισμού της εγκατάστασης από τον αυλοφόρο.

Κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης αυτής της εργασίας παρατηρήθηκαν οι παρακάτω δυσκολίες οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται ως παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου:

- Ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να υπολογιστεί η πραγματική στο έδαφος απόσταση (surface distance ή 3d distance) που ακολουθεί μία πυροσβεστική εγκατάσταση λαμβάνοντας υπόψη τις μικροανωμαλίες του εδάφους ή και τις γενικότερες διακυμάνσεις του ανάγλυφου μεταξύ κάθε σημείου της περιοχής μελέτης και του κοντινότερου σημείου δρόμου και επομένως αντί αυτής της απόστασης υπολογίστηκε η κεκλιμένη απόσταση, η οποία προσαυξήθηκε κατά 20 %.

- Στην περίπτωση που, κατά μήκος της πυροσβεστικής εγκατάστασης το υψόμετρο αυξάνει μέχρι ενός σημείου και κατόπιν μειώνεται για να καταλήξει στον αυλό σε σημείο χαμηλότερο, θα πρέπει να υπολογίζονται οι απώλειες λόγω υψομέτρου με βάση το υψηλότερο σημείο και όχι με βάση το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται ο αυλός. Η παράμετρος αυτή δεν ήταν δυνατό να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς.

- Όταν η απόσταση μεταξύ των οδικών αξόνων είναι μικρότερη από 2 X 300m ή 2 X 400m ανάλογα με το επιλεγμένο μέγιστο μήκος εγκατάστασης μπορεί κάποιο σημείο της περιοχής να είναι πλησιέστερα σε έναν οδικό άξονα, αλλά να είναι προσβάσιμο από κάποιον άλλο λόγω της ισχυρής επίδρασης του παράγοντα “elevation” στα αποτελέσματα. Στην εργασία αυτή ως σημείο στάθμευσης του πυροσβεστικού οχήματος και κατά συνέπεια απαρχής της πυροσβεστικής εγκατάστασης θεωρήθηκε το κοντινότερο, σε κάθε περίπτωση, σημείο δρόμου.

- Υπάρχει δυσκολία στην εκτίμηση της ακρίβειας. Για να συμβεί αυτό απαιτείται διάθεση πυροσβεστικού οχήματος από την Πυροσβεστική Υπηρεσία και ανάπτυξη δοκιμαστικών πυροσβεστικών εγκαταστάσεων σε διάφορα σημεία του ανάγλυφου, ενώ με ειδικό όργανο θα καταγράφεται η πίεση στο τέλος της πυροσβεστικής εγκατάστασης.

## ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η χρήση πυροσβεστικών εγκαταστάσεων από υδροφόρα οχήματα αποτελεί έναν από τους κυριότερους τρόπους κατάσβεσης των δασικών πυρκαγιών. Για το λόγο αυτό η απόκτηση γνώσης σχετικά με τη δυνατότητα κατάσβεσης με ανάπτυξη πυροσβεστικών εγκαταστάσεων στα διάφορα σημεία του ανάγλυφου μιας περιοχής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον από επιχειρησιακή άποψη.

Η επιχειρησιακή χρησιμότητα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εργασία αυτή συνοψίζεται στα παρακάτω:

- Η πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί κατά το στάδιο του αντιπυρικού σχεδιασμού. Όταν είναι γνωστό εκ των προτέρων ότι η πυρκαγιά βρίσκεται σε σημείο όπου δεν είναι δυνατή η κατάσβεση με νερό, θα πρέπει να οργανώνονται πεζοπόρα τμήματα τα οποία θα μεταβαίνουν στην περιοχή με οχήματα μεταφοράς προσωπικού. Με τον τρόπο αυτό προλαμβάνεται η άσκοπη μετακίνηση υδροφόρων οχημάτων η οποία και κοστίζει αλλά και μειώνεται αναίτια η επιχειρησιακή ικανότητα στις περιοχές από τις οποίες καλούνται τα οχήματα αυτά.

- Κατά τη φάση της καταστολής (με χρήση των συσκευών εντοπισμού θέσης (GPS) που διαθέτει το πυροσβεστικό σώμα), είναι δυνατή η εύρεση των συντεταγμένων της θέσης της πυρκαγιάς ενώ στη συνέχεια με χρήση του χάρτη μπορεί να ελεγχεται η δυνατότητα κατάσβεσης με ανάπτυξη πυροσβεστικών εγκαταστάσεων.

- Για τα σημεία με δυνατότητα κατάσβεσης είναι δυνατόν να εντοπίζεται, με χρήση ενός χάρτη κατεύθυνσης (εύκολα υπολογιζόμενου στα ΣΓΠ), η γωνία μεταξύ σημείου πυρκαγιάς και κοντινότερου σημείου δρόμου, προκειμένου να καθορίζεται η κατεύθυνση προς την οποία θα πρέπει να δημιουργηθεί η εγκατάσταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή, λόγω δένδρων ή έντονου ανάγλυφου, μεταξύ σημείου πυρκαγιάς και κοντινότερου σημείου δρόμου.

- Εκτιμώντας την ταχύτητα και κατεύθυνση της πυρκαγιάς, είναι δυνατή η πρόβλεψη της θέσης που θα έχει αυτή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Η κατάσβεση με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις στα νέα σημεία εξάπλωσης της πυρκαγιάς μπορεί να ελεγχεται με τη βοήθεια του χάρ-

τη λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη το κατ'επίκτηση χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάπτυξη τους.

- Αποφεύγονται οι άσκοπες δοκιμές, κατά συνέπεια η απώλεια πολύτιμου χρόνου κατά την κατάσβεση με ανάπτυξη ανεπιτυχών πυροσβεστικών εγκαταστάσεων, ενώ προλαμβάνεται η λανθασμένη χρήση του, πολλές φορές, μικρού σε αριθμό προσωπικού.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε ότι με χρήση των ΣΓΠ είναι δυνατή η απόκτηση γνώσης εκ των προτέρων όσον αφορά τη δυνατότητα κατάσβεσης με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις στα διάφορα σημεία του ανάγλυφου μιας περιοχής.

Η απώλεια πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις οφείλεται:

- στην τριβή του νερού μέσα στα τοιχώματα των σωλήνων
- στην υψομετρική διαφορά μεταξύ αντλίας και σημείου προσβολής
- στις τριβές του νερού που δημιουργούνται στους συνδέσμους (δίκρουνα, τρίκρουνα, συστολές), και
- στην ανακοπή της ταχύτητας του νερού λόγω μείωσης διαμέτρου στους συνδετικούς κρίκους των σωλήνων.

Κατά την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δεν βρέθηκαν εφαρμογές ΣΓΠ στο αντικείμενο της απώλειας πίεσης στις πυροσβεστικές εγκαταστάσεις. Η μέθοδος που παρουσιάζεται αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση του θέματος που μπορεί, υπό προϋποθέσεις - παραδοχές, να αποτελέσει ένα επιχειρησιακό εργαλείο λήψης αποφάσεων κατά την έναρξη μιας δασικής πυρκαγιάς αναφορικά με τον τρόπο οργάνωσης του κατασβεστικού αγώνα (φάση προκαταστολής) αλλά και κατά την εξέλιξη του συμβάντος σχετικά με την δυνατότητα χρήσης πυροσβεστικών εγκαταστάσεων στα διάφορα τμήματα μιας πυρκαγιάς (φάση καταστολής).

Οι χάρτες δυνατότητας κατάσβεσης με πυροσβεστικές εγκαταστάσεις που προέκυψαν δεν απαιτούν συχνή ανανέωση αφού όλοι οι παράμετροι απώλειας πίεσης που αναλύθηκαν δεν μεταβάλλονται στο χρόνο, παρά μόνο στην περίπτωση που υπάρχει μεταβολή του οδικού δικτύου.



# Use of Geographic Information Systems (GIS) in forest fire fighting hoseline deployment

Spiridon Tsakalidis<sup>1</sup>, Ioannis Gitas<sup>2</sup>

## ABSTRACT

One of the most applied forest fire suppression techniques is the deployment of hoselines from fire trucks. Water inside hoselines undergoes pressure loss due to a number of factors. As a result uncertainty arises in relation to pressure sufficiency and fire stream efficiency.

The aim of this work was to take into account the total pressure loss in order to locate, by means of the Geographical Information Systems, the spots where fire suppression through hoseline deployment is feasible.

The main objectives were:

- to identify and describe the pressure loss causing agents based on literature review, and
- to develop a case study in order to demonstrate the way G.I.S. can be employed in the mapping of the spots where fire suppression through hoseline deployment is feasible

Pressure loss in hoselines can be attributed to the following factors: a) elevation differential between pump and nozzle, b) friction of water against the interior walls of pipes, c) friction of water against hoseline appliances and d) friction of water against hoseline linkages.

It is concluded from this work that G.I.S. can be employed in order to estimate the total pressure loss caused by the aforementioned factors, and subsequently to locate the spots where fire suppression through hoseline deployment is feasible by taking into account the maximum pressure generation capacity of the pump.

The extracted information can be incorporated and utilised inside a Forest Fire Decision Support System (FFDSS) as well as in forest fire suppression planning.

**Key words:** GIS, Pre-fire planning and management, hoseline deployment.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, Πυροσβεστική Ακαδημία, 1999. *Πυροσβεστική Εκπαίδευση*.
- Darmawan M., Aniya M., Tsuyuki S., 2001. Forest Fire Hazard Model Using Remote Sensing and GIS: Toward understanding of Land and Forest Degradation in Lowland areas of East Kalimantan, Indonesia. Presented at the 22<sup>nd</sup> Asian Conference of Remote Sensing.
- Fire & Rescue Department, Training Division, 2005. Hydraulics. <http://www.lincoln.nc.gov/city/fire/train/manuals/hydraul.htm>. [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- Firehouse forums-Firefighting discussion-hydraulics, 2005. <http://forums.firehouse.com/archive/index.php/+20690.html>. [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- Gallardo J., Castano S., Calera A., 2004. Application of remote sensing and GIS to locate priority intervention areas after wildland fires in Mediterranean systems: a case study from south-eastern Spain. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 13, pp. 241-252.
- Houston Fire Department Continuing Education, 2005. Hydraulics, Code CE0006, <http://www.houstontx.gov/fire/firefighterinfo/cc/2000/June/Junc00CE.htm>. [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- Ιστοσελίδα Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδας. <http://www.fireservice.gr>. [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- Ιστοσελίδες στις οποίες βασίστηκε η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις παραμέτρους απώλειας πίεσης των πυροσβεστικών εγκαταστάσεων. <http://www.lincoln.nc.gov/city/fire/train/manuals/hydraul.htm>, [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- <http://forums.firehouse.com/archive/index.php/+20690.html>, [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]

<sup>1</sup> Msc Forester, Firefighter in Kato Nevrokopi fire Department, Drama, Hellenic Fire Service.

<sup>2</sup> Assistant Professor - Forester, Laboratory of Forest Management and Remote Sensing, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

- <http://www.houstontx.gov/fire/firefighterinfo/ce/2000/June/June00CE.htm>, [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- <http://www.irrigationtutorials.com/sprinkler11.htm>, [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- <http://www.firedept.newwestminster.bc.ca/TRAINING%20PAGES/FIREGROUND%20HYDRAULICS.htm>, Teic, William C. 1994). [Ελέγχθηκε 08 Μαΐου 2007]
- Κούτσιας Ν., Καρτέρης Μ., 2003. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24(15), pp. 3093-3104
- Παπανικολάου Δ., Γήτας Ι., 2002. Δορυφόροι πυροσβέστες. *Εβδομαδιαίο περιοδικό Γεωτρόπιο της Έ*, τεύχος 125.
- Προμοστ Ε.Ι. Λαϊνόπουλος Α.Ε.. *Οδηγίες χρήσεως αντλίας Ziegler Τύπου : FP 16/8 -IHH*.
- Pausas J. G., & Vallejo, V. R. (1999). The role of fire in European Mediterranean ecosystems. In E. Chuvieco (Ed.), *Remote sensing of large wild-fires* (pp. 3– 16). Berlin7 Springer-Verlag.
- Rosenbauer International. *Operation and Service manual*, NH 20.
- Stryker J., 2005. Elevation Pressure Loss. Landscape Sprinkler Design Tutorial.<http://www.irrigation-tutorials.com/sprinkler11.htm>. [Ελέγχθηκε 08 Ιουλίου 2008]
- Teic W. C., 1994. Firefighter's handbook on Wildland firefighting; strategy, tactics and safety. Deer Valley Press, California, USA. 313 p.
- Wieder M., 2005. FireGround Hydraulics, IFSTA/Fire Protection Publications, New Westminister, <http://www.firedept.new-westminster.bc.ca/TRAINING%20PAGES/FIREGROUND%20HYDRAULICS.htm>. [Ελέγχθηκε 08 Μαΐου 2007]