



**17<sup>ο</sup>**

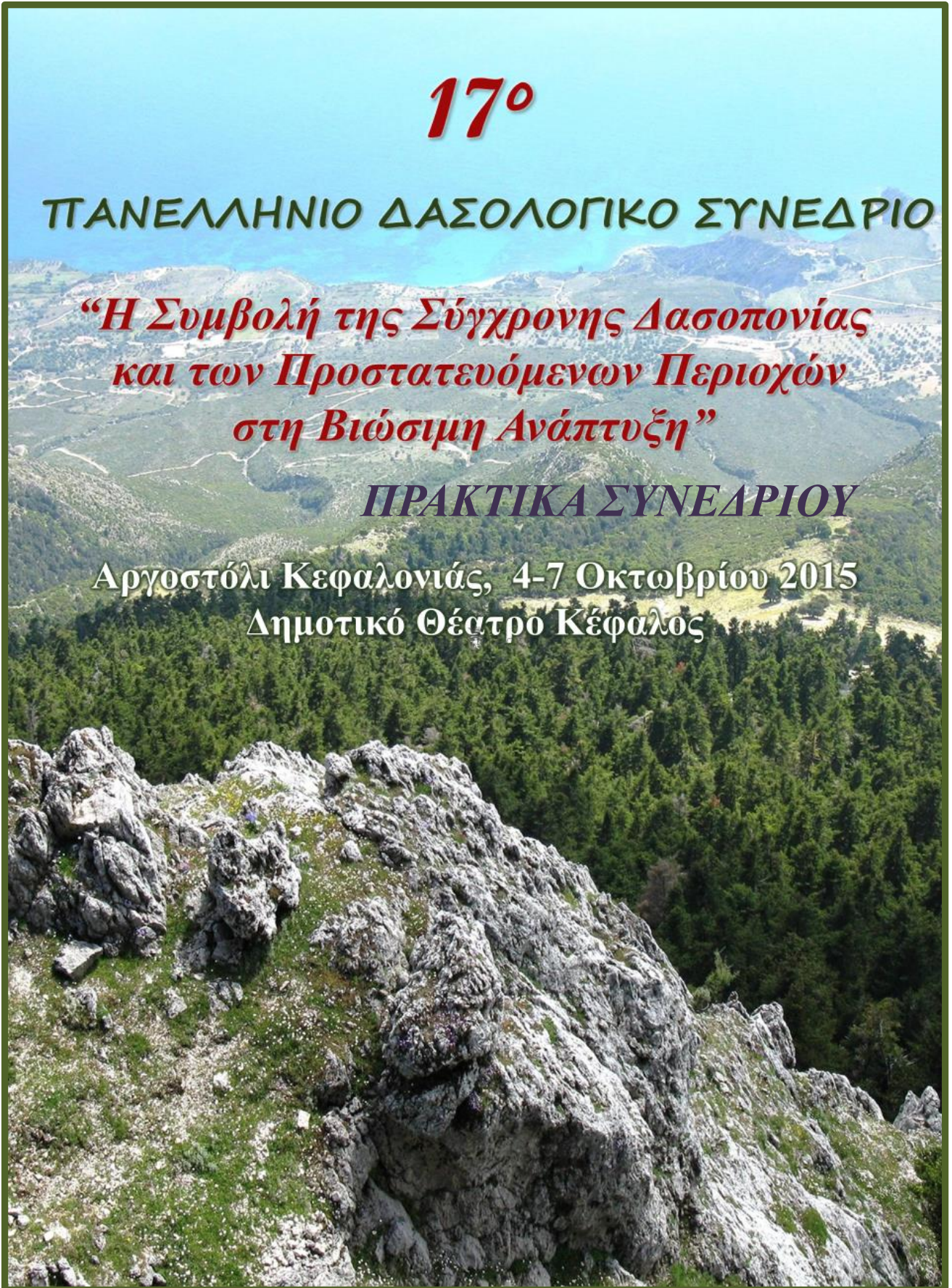
**ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**

***“Η Συμβολή της Σύγχρονης Δασοπονίας  
και των Προστατευόμενων Περιοχών  
στη Βιώσιμη Ανάπτυξη”***

**ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ**

**Αργοστόλι Κεφαλονιάς, 4-7 Οκτωβρίου 2015**

**Δημοτικό Θέατρο Κέφαλος**





Tsiroukis, A., Georghiou, K., Vergos, S. & Thanos, A. C., 2007. Conservation status of Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in Greece. Book of proceedings, 3rd Conference of the Hellenic Ecological Society; Ioannina, 16-19 November 2006. p 400-406.

Tsiroukis Achilleas, (2008). (*Reproductive Physiology and Ecology of Horse-Chestnut (Aesculus hippocastanum*.L.). PhD Thesis in National and Kapodistrian University of Athens – Faculty of Biology Department of Botany.

## Σύστημα Διαχείρισης Πυρκαγιών σε Δάση Μεσογειακών Κωνοφόρων

Μητσόπουλος, Ι.<sup>1</sup>, Τραπάτσας, Π.<sup>2</sup>, Ξανθόπουλος, Γ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ΕΛΓΟ – ΔΗΜΗΤΡΑ, Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων, Τ.Θ. 14180, Τέρμα Αλκμάνος, Ιλίσια, 11528, Αθήνα, [ioanmits@gmail.com](mailto:ioanmits@gmail.com)

<sup>2</sup>ComSys, Λεωφ. Κηφισίας 225-227, 14561, Κηφισιά Αττικής, e-mail: [p.trapatsas@ComSys.gr](mailto:p.trapatsas@ComSys.gr)

### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση και η ανάπτυξη ενός ΣΥστήματος διαχείρισης ΠΥρκαγιών σε Δάση μεσογειακών κωνοφόρων (ΣΥΠΥΔΑ), το οποίο λειτουργεί ως αυτόνομη εφαρμογή και επιτρέπει στον τελικό χρήστη να εφαρμόζει διάφορα σενάρια του πυρικού περιβάλλοντος (μετεωρολογία, τοπογραφία, καύσιμη ύλη) για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της καύσιμης ύλης σε δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης, την πρόβλεψη και πρόγνωση της συμπεριφοράς του πυρός, όπως επίσης και την εφαρμογή και αξιολόγηση διάφορων χειρισμών της καύσιμης ύλης για την αποτροπή ή/και μείωση της έντασης των πυρκαγιών στα συγκεκριμένα οικοσυστήματα. Η επιχειρησιακή εφαρμογή του συστήματος μέσω ενός φιλικού και εύχρηστου περιβάλλοντος τόσο σε Windows όσο και για tablets και smartphones θα επιτρέπει στους δασολόγους ερευνητές, στους υπαλλήλους της Δασικής και Πυροσβεστικής Υπηρεσίας και στους ιδιώτες μελετητές να αξιολογούν τη πυροεπικινδυνότητα των συστάδων και το ενδεχόμενο για έναρξη και διάδοση καταστροφικών πυρκαγιών, ειδικά σε περιοχές που βρίσκονται στη ζώνη μείξης δασών-κατοικιών.

**Λέξεις κλειδιά:** Διαχείριση πυρκαγιών, σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, χαλέπιος και τραχεία πεύκη, χειρισμοί δασικής καύσιμης ύλης, δασική διαχείριση.

### Εισαγωγή

Ο υπόροφος των μεσογειακών πευκοδασών της χώρας μας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πυκνών και υψηλών πρεμνοφυών αειφύλων-πλατύφυλλων, οι οποίοι μεταφέρουν τις πυρκαγιές από την επιφάνεια στην κόμη των πεύκων. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας διάδοσης, της θερμικής έντασης και της δημιουργίας νέων εστιών πυρκαγιών (Alexander 2011). Οι πυρκαγιές αυτές είναι δύσκολο να αντιμετωπιστούν με άμεση προσβολή (Weirth et al. 2011) και είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο ποσοστό καμένων εκτάσεων σε δάση κωνοφόρων παγκοσμίως (Pausas et al. 2008). Οι πυρκαγιές σε δάση κωνοφόρων χαρακτηρίζονται από μεγάλη θερμική ένταση και μεγάλη ταχύτητα διάδοσης και εξαπλώνονται στην εναέρια δασική καύσιμη ύλη σε συνδυασμό με την πυρκαγιά επιφανείας (Alexander 2000, Scott and Reinhardt 2001, Stocks et al. 2004, Cruz et al. 2005). Προσομοιώσεις πυρκαγιών σε δάση χαλεπίου πεύκης στην Ελλάδα κάτω από διαφορετικές συνθήκες μετεωρολογίας και υγρασίας καύσιμης ύλης είχαν ως αποτέλεσμα να παρατηρηθούν ταχύτητες διάδοσης έως 61 m/min και ποσά θερμικής έντασης που έφθαναν τα 102.000 kW/m (Mitsopoulos and Dimitrakopoulos 2007).

Η γνώση της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών είναι σημαντικός παράγοντας στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων, καθώς χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της επικινδυνότητας έναρξης πυρκαγιών, στο σχεδιασμό της στρατηγικής του αντιπυρικού αγώνα και στην πρόληψη των πυρκαγιών με χειρισμούς της καύσιμης ύλης. (Dimitrakopoulos 2002). Η εκδήλωση και διάδοση των πυρκαγιών σε δάση κωνοφόρων συνιστά ένα πολυσύνθετο φαινόμενο το οποίο επηρεάζεται από πλήθος μετεωρολογικών, τοπογραφικών και βλαστικών παραγόντων. Ένα σύστημα διαχείρισης πυρκαγιών, λοιπόν, κρίνεται απαραίτητο καθώς παρέχει κρίσιμες πληροφορίες σε τέτοια μορφή και με τέτοιο τρόπο που να υποστηρίζει τόσο την επιχειρησιακή δράση και τις αποφάσεις σε έκτακτες καταστάσεις, όσο και την εφαρμογή προληπτικών και προκατασταλτικών μέτρων.

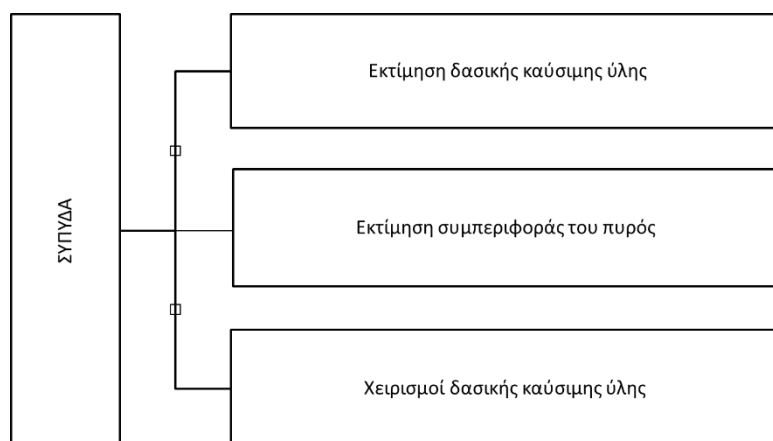
Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη συστημάτων και εξειδικευμένων λογισμικών όπως το BEHAVE plus (Andrews et al. 2005), το NEXUS (Scott 1999), το CFIS (Alexander et al. 2006) και το FuelCalc (Reinhardt et al. 2006) τα οποία ενσωματώνουν εξισώσεις μαθηματικών μοντέλων διάδοσης δασικών πυρκαγιών, μετεωρολογικών και βλαστητικών παραμέτρων, καθιστούν δυνατή την προσομοίωση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών σε επίπεδο δασικής συστάδας. Η ακρίβεια των λογισμικών εκτίμησης της συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών έχει επαληθευτεί σε περιοχές όπου αναπτύχθηκαν αρχικά (Η.Π.Α.) χρησιμοποιώντας μια μεγάλη βάση δεδομένων από πειραματικές καύσεις, πραγματικές πυρκαγιές και παρατηρήσεις πεδίου, ενώ παράλληλα ενσωματώνουν τους τύπους καύσιμης ύλης (fuel models) στους οποίους βασίστηκε η ανάπτυξη και η δημιουργία των μαθηματικών εξισώσεων διάδοσης δασικών πυρκαγιών (Rothermel 1972, Andrews 1986).

Ωστόσο, η ακρίβεια των συστημάτων διαχείρισης δασικών πυρκαγιών ενδέχεται να είναι χαμηλή, όταν χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος και βλάστησης από εκείνες για τις οποίες είχαν αρχικά αναπτυχθεί (Dimitrakopoulos 2002, De Luis et al. 2004). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση και η λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πυρκαγιών τοπικά προσαρμοσμένο για τα δαση χαλεπίου και τραχείας πεύκης της Ελλάδας.

## Υλικά και μέθοδοι

### Δομή του συστήματος

Το ΣΥΠΥΔΑ αποτελείται συνολικά από τα τρία παρακάτω υποσυστήματα (σχήμα 1):



Σχήμα 2. Δομή του ΣΥΠΥΔΑ  
Figure 1. System components

### Υποσύστημα υπολογισμού της δασικής καύσιμης ύλης σε συστάδες δασών χαλεπίου και τραχείας πεύκης

Για τη δημιουργία εξισώσεων που προβλέπουν τις παραμέτρους της καύσιμης ύλης του ανωρόφου και του υπορόφου σε δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης διενεργήθηκε δειγματοληψία σε 56 (28 σε χαλέπιο και 28 σε τραχεία) επιφάνειες μεγέθους 500 m<sup>2</sup> σε 4 διαφορετικές περιοχές της χώρας (Κασσάνδρα Χαλκιδικής, Δυτική Αττική, Τραϊανούπολη Έβρου, Έμπωνας Ρόδου). Σε κάθε μια από αυτές μετρήθηκαν παράμετροι των συστάδων (πυκνότητα, κυκλική επιφάνεια, συγκόμωση, κυρίαρχο ύψος) και τοπογραφίας (υψόμετρο, κλίση, έκθεση). Ταυτόχρονα, μετρήθηκε η οριζόντια και κάθετη κατανομή τόσο της εναέριας καύσιμης ύλης (φορτίο εναέριας καύσιμης ύλης, φαινομενική πυκνότητα εναέριας καύσιμης ύλης, ύψος έναρξης εναέριας καύσιμης ύλης) όσο και της θαμνώδους καύσιμης ύλης (φορτίο καύσιμης ύλης και μέσο ύψος καύσιμης ύλης) σύμφωνα με τις μεθοδολογίες των Mitsopoulos and Dimitrakopoulos (2014) και Xanthopoulos and Manasi (2002) για την εναέρια και την καύσιμη ύλη του υπορόφου, αντίστοιχα. Για την εκτίμηση των στατιστικά σημαντικών παραμέτρων των συστάδων που ερμηνεύουν τη διακύμανση των παραμέτρων της καύσιμης ύλης σε συνάρτηση των τοπογραφικών παραμέτρων και των παραμέτρων του ανωρόφου των συστάδων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πολλαπλής βήμα-προς-βήμα παλινδρόμησης (multiple stepwise regression analysis).

**Υποσύστημα υπολογισμού της συμπεριφοράς του πυρός σε συστάδες δασών χαλεπίου και τραχείας πεύκης**

Για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς του πυρός χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω μοντέλα:

1) Μοντέλο πιθανότητας έναρξης πυρκαγιών κόμης των Cruz et al. (2004):

$$\ln\left(\frac{P_x}{1-P_x}\right) = 3.397 + 0.370U - 0.664FSG - 4.354S_{x1} - 1.787S_{x2} - 0.286m_e$$

όπου:

$P_x$  = η πιθανότητα έναρξης πυρκαγιάς κόμης

$U$  = η ταχύτητα του ανέμου (km/h)

$FSG$  = το διάστημα μεταξύ της εναέριας καύσιμης ύλης και της καύσιμης ύλης του υπορόφου (m)

$S$  = το φορτίο της καύσιμης ύλης του υπορόφου (kg/m<sup>2</sup>)

$m_e$  = η υγρασία της λεπτής ξηρής καύσιμης ύλης (%)

Στην περίπτωση που η πυρκαγιά μεταδίδεται στην κόμη, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Cruz et al. (2005):

$$R_{ca} = 11.76U^{0.86} \rho_c^{0.18} \exp(-0.17m_e)$$

όπου:

$R_{ca}$  = η ταχύτητα διάδοσης πυρκαγιάς κόμης (m/min)

$U$  = η ταχύτητα του ανέμου (km/h)

$\rho_c$  = η φαινομενική πυκνότητα της εναέριας καύσιμης ύλης (kg/m<sup>3</sup>)

$m_e$  = η υγρασία της λεπτής ξηρής καύσιμης ύλης (%)

Στην περίπτωση που η πυρκαγιά δεν μεταδίδεται στην κόμη και παραμένει στη θαμνώδη βλάστηση του υπορόφου, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Anderson et al. (2015):

$$R_{shrub} = 3.61U^{0.91} h^{0.18} \exp(-0.076m_e)$$

όπου:

$R_{shrub}$  = η ταχύτητα διάδοσης πυρκαγιάς στον υπόροφο (m/min)

$U$  = η ταχύτητα του ανέμου (km/h)

$h$  = το μέσο ύψος της καύσιμης ύλης του υπορόφου (m)

$m_e$  = η υγρασία της λεπτής ξηρής καύσιμης ύλης (%)

Η θερμική ένταση τόσο των πυρκαγιών κόμης όσο και των πυρκαγιών που εξελίσσονται μόνο στον υπόροφο υπολογίστηκε από τη θεμελιώδη εξίσωση του Byram (1959):

$$I_B = R w_a H$$

όπου:

$I_B$  = η θερμική ένταση πυρκαγιάς (kW/m)

$R$  = η ταχύτητα διάδοσης της πυρκαγιάς (m/sec)

$w_a$  = το φορτίο της καύσιμης ύλης που καταναλώνεται ανά μονάδα επιφανείας (kg/m<sup>2</sup>)

$H$  = η θερμιδική αξία της καύσιμης ύλης (kJ/kg)

**Υποσύστημα χειρισμών της καύσιμης ύλης σε συστάδες δασών χαλεπίου και τραχείας πεύκης**

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι διαθέσιμοι χειρισμοί που το ΣΥΠΥΔΑ επιτρέπει να εφαρμόσει ο χρήστης για να εκτιμήσει την αποτελεσματικότητα τους στην αποτροπή και μείωση της σφοδρότητας των πυρκαγιών σε δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης. Οι διάφοροι χειρισμοί επιδρούν διαφορετικά στα ποσοτικά χαρακτηριστικά των παραμέτρων των συστάδων και της καύσιμης ύλης, αλλάζοντας το συνολικό φορτίο και το μέσο ύψος της καύσιμης ύλης του υπορόφου, το διάστημα μεταξύ της επιφανειακής και εναέριας καύσιμης ύλης και τη φαινομενική πυκνότητα της εναέριας καύσιμης ύλης.

**Πίνακας 3.** Συγκεντρωτικός πίνακας της επίδρασης των χειρισμών της καύσιμης ύλης.

**Table 2.** Fuel treatments effects on stand and fuel parameters

| A/A | Είδος χειρισμού      | Μονάδα  | Επίδραση   |
|-----|----------------------|---------|--|
| 1   | Αραιώσεις            | %       | Ποσοστιαία μείωση της κυκλικής επιφάνειας                    |
| 2   | Κλαδεύσεις           | m       | Αύξηση του ύψους έναρξης της εναέριας καύσιμης ύλης          |
| 3   | Απομάκρυνση υπορόφου | %       | Ποσοστιαία μείωση του φορτίου της καύσιμης ύλης του υπορόφου |
| 4   | Ελεγχόμενη βόσκηση   | NAI/OXI | Μείωση (20%) του φορτίου της καύσιμης ύλης του υπορόφου      |

| A/A | Είδος χειρισμού | Μονάδα | Επίδραση  |
|-----|-----------------|--------|---|
|     |                 |        | και μείωση (0,5 m) του μέσου ύψους της καύσιμης υλης του υπορόφου |

#### Σχεδιασμός του συστήματος

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε περιβάλλον Windows 8.1 πάνω στην πλατφόρμα .NET Framework 4.5. Για την ανάπτυξη χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) Microsoft Visual Studio στην έκδοση 2013 Professional (Σχήμα 2α). Η εφαρμογή αποτελείται από δυο κύρια μέρη: α) το γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) με τον χρήστη (front-end) και β) το μέρος που ενσωματώνει όλες τις λειτουργίες που γίνονται στο παρασκήνιο (back-end).

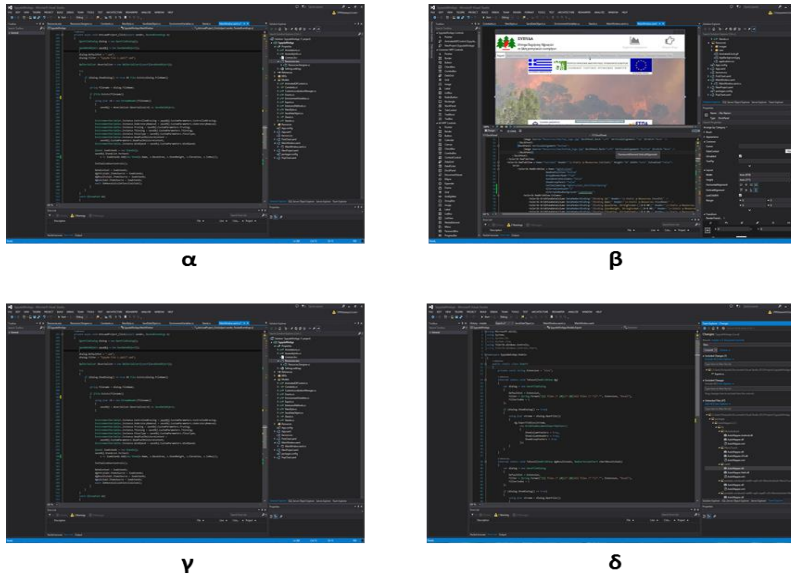
Το γραφικό κομμάτι της εφαρμογής υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του WPF (Windows Presentation Foundation), ένα γραφικό υποσύστημα διατήρησης και λειτουργίας γραφικών και περιβαλλόντων διεπαφής (User Interfaces) που ενσωματώνει πολυμέσα, γραφικά, κινούμενα σχέδια και αλληλεπίδραση σε ένα ενιαίο περιβάλλον εκτέλεσης. Ο σχεδιασμός των διαφόρων γραφικών πραγματοποιήθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού XAML. Η XAML (eXtensible Application Markup Language) είναι μια γλώσσα σήμανσης (markup) βασισμένη στην XML και χρησιμοποιείται για την κατασκευή των αντικειμένων του παραθύρου και εντείνει την ευελιξία στην κατασκευή του περιβάλλοντος διεπαφής. (Σχήμα 2β). Επιπλέον, κατά τον σχεδιασμό του του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βιβλιοθήκες λογισμικού:

- Telerik UI for WPF για το σχεδιασμό των εργαλείων του περιβάλλοντος διεπαφής
- Dave Gandy's Font Awesome για το σχεδιασμό του λογότυπου και τα γραφικά στα κουμπιά εντολών
- WPF Themes για το θέμα εμφάνισης της εφαρμογής.

Το λειτουργικό κομμάτι της εφαρμογής αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού C#. Η C# είναι μία ολοκληρωμένη αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού για γενική χρήση. (Σχήμα 2γ). Κατά την ανάπτυξη των λειτουργιών στο παρασκήνιο της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βιβλιοθήκες λογισμικού:

- AutoMapper για την αυτόματη αντιστοίχιση και μεταφορά δεδομένων μεταξύ αντικειμένων (objects).
- PostSharp εργαλείο για τον έλεγχο και τη διόρθωση του πηγαίου κώδικα.

Επίσης, για τη διαχείριση και των έλεγχου των διαφόρων εκδόσεων του κώδικα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης χρησιμοποιήθηκε το Git του Linus Torvalds. Το Git είναι ένα καταναμημένο σύστημα διαχείρισης εκδόσεων λογισμικού (Distributed Version Control System, DVCS) (Σχήμα 2δ).



Σχήμα 2. Στιγμιότυπα της ανάπτυξης του λογισμικού του συστήματος.  
Figure 2. Screenshots of the system software development

### Αποτελέσματα και συζήτηση

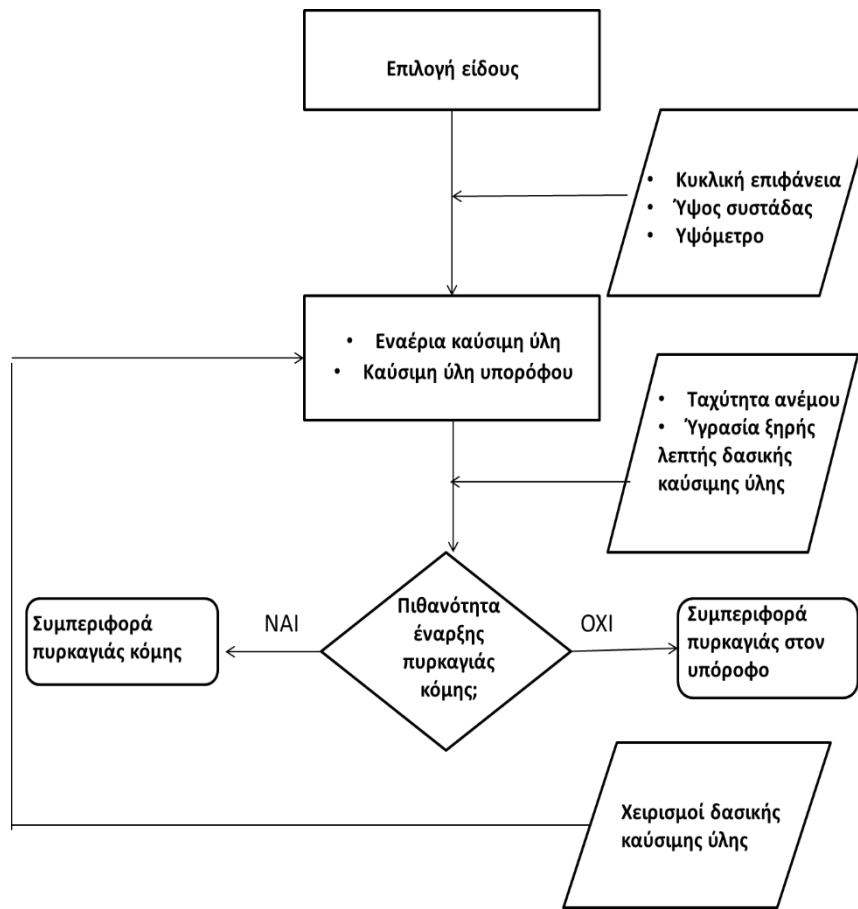
Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των εργασιών και των τριών υποσυστημάτων του ΣΥΠΥΔΑ.

Μετά την επιλογή του χρήστη για το δασικό είδος (χαλέπιος ή τραχεία) που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει, του ζητείται να εισάγει για κάθε διαθέσιμη συστάδα την κυκλική επιφάνεια, το κυρίαρχο ύψος και το υψόμετρο που αυτή βρίσκεται. Οι παραπάνω μεταβλητές ήταν αυτές που, σύμφωνα με τη μέθοδο της πολλαπλής βήμα-προς-βήμα παλινδρόμησης, ερμήνευσαν στατιστικά σημαντικά τη διακύμανση των παραμέτρων τόσο της εναέριας όσο και της καύσιμης ύλης στον υπόροφο των συστάδων της δειγματοληψίας στα δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης (πίνακας 2).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα της βηματικής πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.  
Table 2. Results of the stepwise multiple linear regression

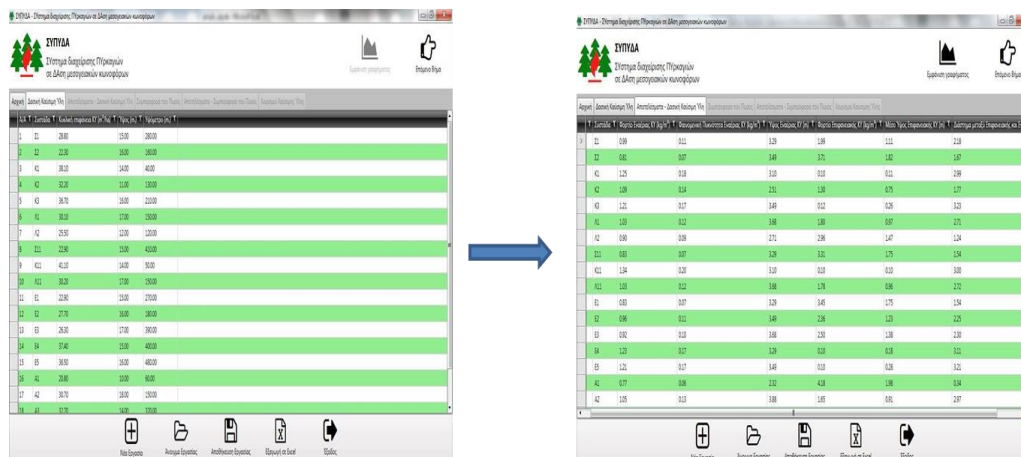
| Παράμετροι καύσιμης ύλης   | Εξίσωση                  | F     | p      | R <sup>2</sup> |
|--|--------------------------|-------|--------|----------------|
| <b>Χαλέπιος πεύκη</b>  |                          |       |        |                |
| Φορτίο εναέριας καύσιμης ύλης (kg/m <sup>2</sup> )               | = 0,187+0,03* KE         | 83,3  | <0,001 | 0,76           |
| Φαινομενική πυκνότητα εναέριας καύσιμης ύλη (kg/m <sup>3</sup> ) | = -0,087+0,007*KE        | 150,8 | <0,001 | 0,85           |
| Ύψος έναρξης εναέριας καύσιμης ύλης (m)                          | = 0,367+0,195*KY         | 19,1  | <0,001 | 0,42           |
| Μέσο ύψος καύσιμης ύλης υπορόφου (m)                             | = 4,224-0,108*KE         | 85,4  | <0,001 | 0,75           |
| Φορτίο καύσιμης ύλης υπορόφου (kg/m <sup>2</sup> )               | = 9,356-0,246*KE+0,01*Y  | 25,2  | <0,001 | 0,67           |
| <b>Τραχεία πεύκη</b>   |                          |       |        |                |
| Φορτίο εναέριας καύσιμης ύλης (kg/m <sup>2</sup> )               | = -0,446+0,048* KE       | 48,9  | <0,001 | 0,66           |
| Φαινομενική πυκνότητα εναέριας καύσιμης ύλη (kg/m <sup>3</sup> ) | = -0,140+0,008*KE        | 128,3 | <0,001 | 0,83           |
| Ύψος έναρξης εναέριας καύσιμης ύλης (m)                          | = -1,167+0,313*KY        | 27,5  | <0,001 | 0,51           |
| Μέσο ύψος καύσιμης ύλης υπορόφου (m)                             | = 3,684-0,075*KE+0,01*Y  | 26,7  | <0,001 | 0,68           |
| Φορτίο καύσιμης ύλης υπορόφου (kg/m <sup>2</sup> )               | = 10,587-0,225*KE+0,04*Y | 17,8  | <0,001 | 0,59           |

\* Η εξίσωση είναι της μορφής  $Y=A+B1*X1...Bn*Xn$ . KE: Κυκλική επιφάνεια συστάδων (m<sup>2</sup>/ha), KY: Κυρίαρχο ύψος συστάδας (m), Y: Υψόμετρο (m).



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής λειτουργίας των υποσυστημάτων του ΣΥΠΠΔΑ.  
 Figure 3. Flow chart of the fire management system components

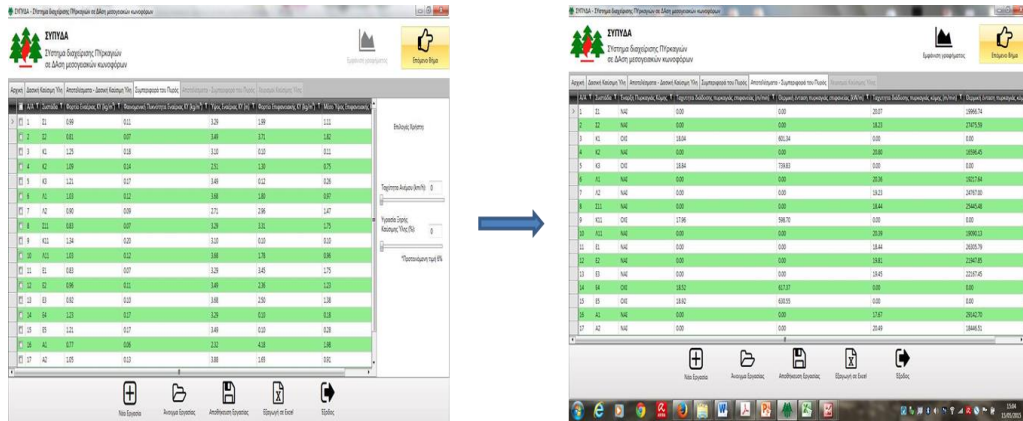
Το σχήμα 4 παρουσιάζει το υποσύστημα υπολογισμού της δασικής καύσιμης ύλης όπως εμφανίζεται στην εφαρμογή. Η εισαγωγή των δεδομένων από το χρήστη δύναται να γίνει απευθείας στις στήλες και στις σειρές της εφαρμογής ή με απευθείας εισαγωγή από αρχείο του Microsoft Excel.



Σχήμα 4. Υποσύστημα υπολογισμού της δασικής καύσιμης ύλης  
 Figure 4 System component of fuel complex characteristics estimation

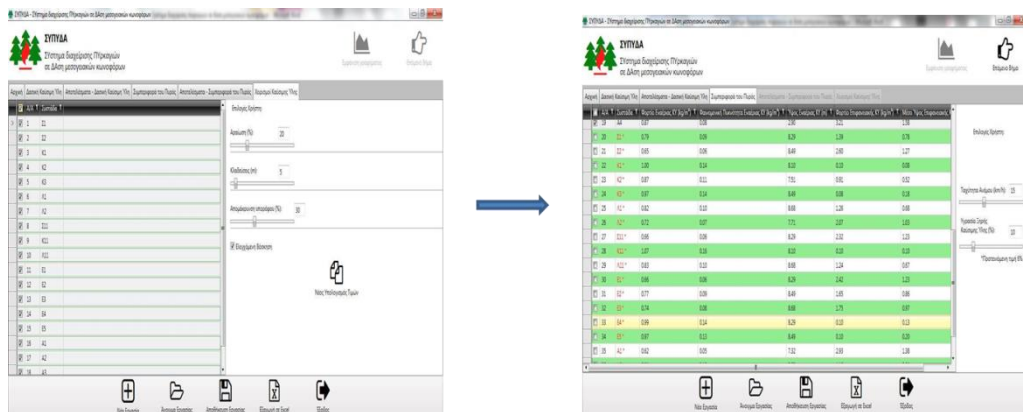
Στο επόμενο βήμα και στο υποσύστημα υπολογισμού της συμπεριφοράς του πυρός, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις μετεωρολογικές συνθήκες (ταχύτητα ανέμου) και τις συνθήκες υγρασίας της καύσιμης

ύλης (υγρασία ξηρής καύσιμης ύλης) που είναι πιθανό να επικρατούν στην περιοχή. Το ΣΥΠΥΔΑ υπολογίζει τότε την πιθανότητα έναρξης πυρκαγιάς κόμης (ΝΑΙ ή ΟΧΙ) για κάθε συστάδα, όπως επίσης την ταχύτητα διάδοσης και τη θερμική ένταση της πυρκαγιάς κόμης ή του υπορόφου (σχήμα 5).



Σχήμα 5. Υποσύστημα υπολογισμού της συμπεριφοράς του πυρός  
Figure 5 System component of fire behavior estimation

Στο υποσύστημα της διαχείρισης της καύσιμης ύλης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει όλους ή επιθυμητούς χειρισμούς και σε οποιαδήποτε συστάδα αυτός επιλέξει. Το σύστημα τότε μεταφέρει τον χρήστη στο περιβάλλον εργασίας του δεύτερου υποσυστήματος όπου εμφανίζονται οι αρχικές τιμές των παραμέτρων της καύσιμης ύλης αλλά και οι τροποποιημένες σύμφωνα με τους χειρισμούς (σχήμα 6). Ακολούθως, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει προσομοίωση της συμπεριφοράς του πυρός και να αξιολογήσει την επίδραση των χειρισμών στην αναμενόμενη συμπεριφορά των πυρκαγιών.



Σχήμα 6. Υποσύστημα υπολογισμού της αποτελεσματικότητας των χειρισμών της καύσιμης ύλης  
Figure 6. System component of fuel treatment effectiveness

Σε κάθε βήμα της εργασίας του ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει τα δεδομένα του σε αρχείο με επέκταση .sprd και να το μεταφορτώσει στην εφαρμογή οποιαδήποτε στιγμή το επιθυμεί. Όλα τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να εξαχθούν τόσο σε μορφή πίνακα όσο και γραφήματος του Microsoft Excel για περαιτέρω ανάλυση.

Τα συστήματα διαχείρισης πυρκαγιών υπολογίζουν την αναμενόμενη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών σε επίπεδο συστάδας και είναι κατάλληλα κυρίως για την εκτίμηση των χειρισμών της καύσιμης ύλης που επιτρέπουν τη μείωση ή και την αποτροπή μεγάλης έντασης πυρκαγιών σε επιλεγμένα τμήματα ενός δασικού συμπλέγματος. Το πιο διαδεδομένο σύστημα παγκοσμίως είναι το σύστημα BehavePlus, ως βελτιωμένη εξέλιξη του BEHAVE, που είναι ένα πρόγραμμα φιλικό προς το χρήστη το οποίο επιτρέπει τόσο τη δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης για τον καλύτερο προσδιορισμό της συμπεριφοράς πυρκαγιάς σε μία συγκεκριμένη θέση, όσο και την πρόβλεψη της





συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη την καύσιμη ύλη, την τοπογραφία και τις μετεωρολογικές συνθήκες (Andrews et al. 2005). Το σύστημα BehavePlus δίνει την δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε δεκατρία (13) πρότυπα Μοντέλα Καύσιμης Ύλης και τα σαράντα (40) πρόσφατα σχεδιασμένα πρότυπα Μοντέλα Καύσιμης Ύλης (Scott et al. 2005). Το καθένα από αυτά τα Μοντέλα Καύσιμης Ύλης (Μ.Κ.Υ.) έχει σχεδιαστεί για να τυποποιήσει και να ποσοτικοποιήσει μία πληθώρα παραμέτρων της καύσιμης ύλης που απαντώνται ευρέως στις ΗΠΑ. Τα χαρακτηριστικά της τοπογραφίας που συμβάλουν στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς είναι η έκθεση, η κλίση, το υψόμετρο και η διαμόρφωση του εδάφους. Το σύστημα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του πυρός σε πυρκαγιές επιφανείας και όχι κόμης. Τα κυριότερα συστήματα εκτίμησης πυρκαγιών κόμης σε κωνοφόρα είναι το NEXUS (Scott 1999) και το CFIS (Alexander et al. 2006). Και τα δύο υπολογίζουν την επικινδυνότητα έναρξης πυρκαγιών κόμης συνδυάζοντας μοντέλα προσομοίωσης των πυρκαγιών επιφανείας και κόμης. Η χρήση τους είναι αποτελεσματική και ιδανική στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να διενεργήσει χειρισμούς της καύσιμης ύλης και να υπολογίσει το ενδεχόμενο έναρξης πυρκαγιών κόμης σε επίπεδο μιας ή πολλών διαφορετικών δασικών συστάδων χωρίς όμως να έχει τη δυνατότητα ο χρήστης να εκτιμά παραμέτρους καύσιμης ύλης. Αντιθέτως, το λογισμικό FuelCalc (Reinhardt et al. 2006) λειτουργεί μέσω μιας εφαρμογής που βασίζεται σε υπολογιστικά φύλλα, τα οποία ενσωματώνουν εξισώσεις που υπολογίζουν παραμέτρους της καύσιμης ύλης σε επίπεδο δασικών συστάδων, αλλά δεν έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης της συμπεριφοράς των πυρκαγιών.

Η αξιοπιστία των προβλέψεων της συμπεριφοράς του πυρός στο ΣΥΠΥΔΑ υπόκειται στις παρακάτω παραδοχές: α) η ταχύτητα του ανέμου θεωρείται σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των προσομοιώσεων, β) το ανάγλυφο του εδάφους χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις (0-20%) και γ) δεν υπάρχει πρόβλεψη για τη συνεπιφορά του φαινομένου των «σημειακών πυρκαγιών» (spot fires) στις εκτιμώμενες παραμέτρους της συμπεριφοράς του πυρός. Το ΣΥΠΥΔΑ είναι διαθέσιμο σε λογισμικό Windows 7 και 8, ενώ αυτή τη στιγμή σχεδιάζεται ως αυτόνομη εφαρμογή για tablets και smartphones για λειτουργία στα πιο διαδεδομένα λογισμικά της αγοράς (Windows Phone και Android).

### Συμπεράσματα

Το ΣΥΠΥΔΑ είναι ένα ειδικευμένο λογισμικό που επιτρέπει τον προσδιορισμό της οριζόντιας και κάθετης κατανομής της καύσιμης ύλης σε συστάδες δασών χαλεπίου και τραχείας πεύκης, την προσομοίωση της συμπεριφοράς του πυρός κάτω από διάφορα σενάρια ταχύτητας ανέμου και υγρασίας της καύσιμης ύλης και την αποτελεσματικότητα των χειρισμών των δασών για την αποτροπή ή/και μείωση εμφάνισης καταστροφικών πυρκαγιών στα συγκεκριμένα οικοσυστήματα. Η ευχρηστία του συστήματος, η διασυνδεσιμότητά του με δημοφιλείς εφαρμογές όπως το Microsoft Excel και η ενσωμάτωση σε αυτό τοπικά τροποποιημένων παραμέτρων της καύσιμης ύλης συστάδων χαλεπίου και τραχείας πεύκης το καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό της στρατηγικής του αντιπυρικού αγώνα και την ορθολογική εφαρμογή δασοκομικών χειρισμών (αραιώσεις, υλοτομίες, κτλ) τόσο στον ανωρόφο όσο και στον υπορόφο για την εκτίμηση της επίδραση αυτών στην πυροεπικινδυνότητα των συστάδων των μεσογειακών πευκοδασών της χώρας. Ωστόσο, οι προβλέψεις του συστήματος θα πρέπει να θεωρούνται ενδεικτικές και να χρησιμοποιούνται με επιφύλαξη έως ότου γίνει η επαλήθευσή τους τόσο με περαιτέρω δειγματοληψίες της καύσιμης ύλης, όσο και με εκτεταμένες παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των πυρκαγιών σε δάση χαλεπίου και τραχείας πεύκης στην Ελλάδα.

### Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτήθηκε στα πλαίσια της πράξης «Εκπόνηση σχεδίων Ερευνητικών & Τεχνολογικών Αναπτυξιακών Έργων Καινοτομίας (ΑγροΕΤΑΚ)» MIS 453350, ΕΠ «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ, (ΕΠΑΝΑΔ,ΕΣΠΑ 2007-2013). Το έργο συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ) και από Εθνικούς πόρους (ΕΣΠΑ 2007-2014), και συντονίζεται από τον ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ.



## A Fire Management System for Mediterranean Pine Forests

Mitsopoulos, I.<sup>1</sup>; Trapatsas, P.<sup>2</sup>; Xanthopoulos, G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hellenic Agriculture Organization “Demeter”, Institute of Mediterranean Forest Ecosystems, P. O. Box: 14180, Terma Alkmanos, Ilisia, 11528, Athens, Greece. [ioanmits@gmail.com](mailto:ioanmits@gmail.com)

<sup>2</sup> ComSys, 225-227 Kifissias Avenue, 14561, Kifissia, Attiki, [p.trapatsas@ComSys.gr](mailto:p.trapatsas@ComSys.gr)

### Abstract

The main objective of this study is the design and the development of a Fire Management System for Mediterranean Pine Forests in Greece. The system operates as a standalone application and allows the end users to apply various fire environment (meteorology, topography, fuel) scenarios in order to estimate the characteristics of fuel complexes in Mediterranean conifer stands, predicting the fire behaviour, as well as the implementation and evaluation of fuel treatments in order to prevent and/or to reduce the intensity and severity of fires in such ecosystems. The system allows the end user to simulate fire behaviour (probability of crown fire initiation, type of fire, etc.) in different types of understory vegetation and stand overstory structure under different weather conditions using current well-tested fire behaviour prediction models. The operational implementation of the system has been achieved through a friendly Graphical User Interface (GUI) of Windows and it will also run as an application for tablets and smartphones. The proposed system allows forest researchers, forest service officials and land managers to evaluate fuel hazard and assess the potential for initiation and spread of wildfires in Aleppo and Calabrian pine forests in Greece.

**Key words:** Fire management, Decision Support System, Aleppo and Calabrian pine, fuel treatments, forest management.

### Βιβλιογραφία

- Alexander, M.E. 2011. A synthesis on crown fires in conifer forests is underway. *Fire Management Today* 71(1): 36.
- Alexander, M.E., Cruz, M.G., Lopes, A.M. 2006. CFIS: a software tool for simulating crown fire initiation and spread. *Forest Ecology and Management*. 234: S133.
- Alexander, M.E. 2000. Fire behaviour as a factor in forest and rural fire suppression. *Forest Research, Rotorua*, in association with the New Zealand Fire Service Commission and National Rural Fire Authority, Wellington. *Forest Research Bulletin No. 197, Forest and Rural Fire Scientific and Technical Series, Report No. 5*. 28 p.
- Anderson, W. R., Cruz, M. G., Fernandes, P. M., McCaw L., Vega J. A., Bradstock R. A., Fogarty L., Gould J., McCarthy G., Marsden-Smedley J. B., Matthews S., Mattingley G., Pearce H. G., van Wilgen B. W. 2015. A generic, empirical-based model for predicting rate of fire spread in shrublands. *International Journal of Wildland Fire*. DOI: 10.1071/WF14130
- Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem, Part 1. USDA Forest Service, Intermountain Research Station General Technical Report INT-194. Ogden, UT.
- Andrews, P. L., Bevins, C. D., Seli R. C. 2005. BehavePlus fire modeling system, version 3.0: User's Guide. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-106, Ogden, Utah. 142 p.
- Byram G.M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis K.P. (ed.), *Forest Fire: control and use*. New York, McGraw Hill Book Co, pp. 61-89.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E., Wakimoto, R.H. 2005. Development and testing of models for predicting crown fire rate of spread in conifer forest stands. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 1926-1939.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E., Wakimoto, R.H. 2004. Modeling the likelihood of crown fire occurrence in conifer forest stands. *Forest Science* 50: 640-658.



- De Luis, M., Baeza, M.J., Raventós, J., Gonzáles-Hidalgo, J.C. 2004. Fuel characteristics and fire behaviour in mature Mediterranean gorse shrublands. *International Journal of Wildland Fire* 13: 79-87.
- Dimitrakopoulos, A.P. 2002. Mediterranean fuel models and potential fire behavior in Greece. *International Journal of Wildland Fire* 11: 127-130.
- Mitsopoulos, I.D., Dimitrakopoulos, A.P. 2014. Estimation of canopy fuel characteristics of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests in Greece based on common stand parameters. *European Journal of Forest Research* 133 (1): 73-79.
- Mitsopoulos, I.D., Dimitrakopoulos, A.P. 2007. Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Annals of Forest Science* 64(3): 287-299.
- Pausas, J. C., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? -- a review. *International Journal of Wildland Fire* 17:713-723.
- Reinhardt, E., Lutes, D., Scott J. 2006. FuelCalc: A method for estimating fuel characteristics. *Proceedings of Fuels Management-How to Measure Success*. 28–30 March 2006, Portland, Oregon (US. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS P-41, Fort Collins, Colorado), pp. 273–282.
- Rothermel, R.C. 1972. A Mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT-115. Ogden, UT
- Scott, J.H. 1999. NEXUS: a system for assessing crown fire hazard. *Fire Management Notes*. 59(2): 20-24.
- Scott J. H., Burgan Robert E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p.
- Scott, J.H., Reinhardt, E.D. 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire potential. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-29, Fort Collins, USA. 59p.
- Stocks, B.J., Alexander, M.E., Wotton, B.M., Steffner, C.N., Flannigan, M.D., Taylor, S.W. 2004. Crown fire behaviour in a northern jack pine - black spruce forest. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1548-1560.
- Werth, P., Potter, B., Clements, C., Finney, M., Goodrick, S., Alexander, M., Cruz, M., Forthofer, J., McAllister, S. 2011. Synthesis of knowledge of extreme fire behavior: volume I for fire managers. General Technical Report. PNW-GTR-854. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 144 p.
- Xanthopoulos, G., Manasi, M. 2002. A practical methodology for the development of shrub fuel models for fire behavior prediction. In Proc. 4th Int. Conf. on Forest Fire Research. November 18-23, 2002. Luso-Coimbra, Portugal.

**Δασικές Πυρκαγιές σε Μεσογειακούς Θαμνώνες, Φρύγανα και Χορτολίβαδα στην Ελλάδα: Σύγκριση της Παρατηρηθείσας Συμπεριφοράς Πυρκαγιάς με τις Προβλέψεις του Behaviorplus**

**Αθανασίου, Μ.<sup>1</sup> και Ξανθόπουλος, Γ.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Γραφείο Περιβαλλοντικών Μελετών – «Μ. Αθανασίου», Θωμά Παλαιολόγου 8, 13673 Αχαρνές, [info@m-athanasiou.gr](mailto:info@m-athanasiou.gr)

<sup>2</sup>Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «ΔΗΜΗΤΡΑ», Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων, Τέρμα Αλκμάνος, Ιλίσια, 115 28Αθήνα, [gxnrct@fria.gr](mailto:gxnrct@fria.gr)

**Περίληψη**

Η παρούσα εργασία αφορά στην αξιοποίηση 95 μετρήσεων του πραγματικού ρυθμού εξάπλωσης