



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ www.forestry.gr



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

ΧΟΡΗΓΟΙ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης
και Τροφίμων



ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ
ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ



ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
**Μακεδονίας
Θράκης**



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ "ΔΗΜΗΤΡΑ"



REGION OF
CENTRAL MACEDONIA
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



RESEARCH COMMITTEE
ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΠΕΛΛΑ
REGIONALITY OF
PELLA



Δήμος
Θεσσαλονίκης



ΔΗΜΟΣ ΕΔΕΣΣΑΣ



ΚΥΝΗΓΕΤΙΚΗ
ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΘΡΑΚΗΣ

ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΩΠΙΑΣ



Grand Hotel Palace

ΔΑΣΟΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ



16ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ & Annual Meeting of Prosilva Europe

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΔΑΣΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΟ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ
Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΑΣΟΠΟΝΙΑΣ

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

Θεσσαλονίκη 6-9(13)
Οκτωβρίου 2013
Grand Hotel Palace

ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ &
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ
ΑΛΛΑΓΗΣ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

ΠΡΑΚΤΙΚΑ

16^{ου} ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

&

Annual Meetig Pro Silva Europe

**Προστασία - Διαχείριση των Ελληνικών Δασών σε
περίοδο οικονομικής κρίσης και η πρόκληση της
Φυσικής Δασοπονίας**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 6-9 (13) ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2013

Σύγκριση προβλέψεων του συστήματος εκτίμησης της διάδοσης δασικών πυρκαγιών EFP με δεδομένα πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιών στην Ελλάδα και την Τουρκία

Νίκος Γραμμαλιδής¹, Κοσμάς Δημητρόπουλος¹, Μιλτιάδης Αθανασίου²,
Γαβριήλ Ξανθόπουλος³

¹ Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών, Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, 57001 Θεσσαλονίκη, e-mail: ngramm@iti.gr, dimitrop@iti.gr

² Γραφείο Περιβαλλοντικών Μελετών – “Μ. Αθανασίου”
Θωμά Παλαιολόγου 8, 13673 Αχαρνές, e-mail: info@m-athanasiou.gr

³ Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «ΔΗΜΗΤΡΑ»
Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων
και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων
Τέρμα Αλκμάνος, Ιλίσια, 115 28 Αθήνα, e-mail: gxnrta@fria.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διαδραστική εφαρμογή λογισμικού για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών EFP (Estimation of Fire Propagation). Η εφαρμογή αυτή επιτρέπει στον χρήστη να εκτελέσει παραμετροποιημένες προσομοιώσεις διάδοσης πυρκαγιών και απεικονίζει τα αποτελέσματα σε ένα φιλικό στον χρήστη 2-Δ/3-Δ περιβάλλον που βασίζεται στο Google-Earth™. Οι υπολογισμοί της διάδοσης της πυρκαγιάς βασίζονται στον δημοφιλή αλγόριθμο του Rothermel (1972) που είναι ενσωματωμένος στο σύστημα πρόβλεψης συμπεριφοράς της φωτιάς BEHAVE, αλλά υποστηρίζονται σημαντικές επεκτάσεις και πρόσθετες λειτουργίες. Η εφαρμογή παράγει απεικονίσεις των δεδομένων εξόδου της εκτίμησης διάδοσης πυρκαγιάς: οι χρόνοι ανάφλεξης παρουσιάζονται ως πλέγματα κυψελών με κωδικοποιημένα χρώματα, ενώ μπορούν να παραχθούν επίσης 3-Δ γραφικές αναπαραστάσεις (animations) του μήκους φλόγας. Επίσης, το λογισμικό επιτρέπει την εκτίμηση και χρήση βελτιωμένων χωρικά μεταβαλλόμενων πεδίων ανέμου με τη χρήση του λογισμικού WindNinja, ενώ δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει και χρονικές μεταβολές στις καιρικές συνθήκες (άνεμος/υγρασίες καύσιμης ύλης). Στην εφαρμογή έχει, επίσης, ενσωματωθεί και το μοντέλο του Ξανθόπουλου (1990), για την πρόβλεψη της πιθανότητας μετάβασης της φωτιάς από τον υπόροφο στην κόμη.

Το σύστημα αξιολογήθηκε αξιοποιώντας δεδομένα συμπεριφοράς από δύο δασικές πυρκαγιές που ξέσπασαν στην Ελλάδα και από μία στην Τουρκία και αφορούν μετρήσεις σε τμήματα των πυρκαγιών όπου είτε υπήρξε ελάχιστη είτε μηδαμινή ανθρώπινη παρέμβαση. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται οι προβλέψεις του συστήματος EFP με βάση ποσοτικά χαρακτηριστικά της πραγματικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στα Ίσθμια Κορινθίας στις 1/8/2009 η οποία τεκμηριώθηκε στο πεδίο .

Εισαγωγή

Το ερευνητικό έργο FIRESENSE (Dimitropoulos, 2013), συγχρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή επιτροπή στην θεματική περιοχή «Περιβάλλον (συμπεριλαμβανομένου της Κλιματικής Αλλαγής)», ανέπτυξε ένα αυτόματο

σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, ώστε να προστατέψει αποτελεσματικότερα χώρους μεγάλης πολιτιστικής και αρχαιολογικής σημασίας από πυρκαγιά και ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα. Το σύστημα εκμεταλλεύεται τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις στην περιοχή της παρακολούθησης με πολλαπλούς αισθητήρες, χρησιμοποιώντας ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που μπορεί να μετρήσει διάφορα μεγέθη (πχ. θερμοκρασία), οπτικές και υπέρυθρες κάμερες, καθώς και τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μεταδίδονται σε ένα κέντρο ελέγχου, που θα χρησιμοποιεί ένα έξυπνο σύστημα τεχνητής όρασης, αλγορίθμους αναγνώρισης προτύπων και τεχνικές συγκερασμού δεδομένων για την αυτόματη ανάλυση των δεδομένων των αισθητήρων. Το σύστημα, το οποίο έχει δοκιμαστεί σε πιλοτικές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα, στην Τουρκία, στην Ιταλία και στην Τυνησία, παράγει αυτόματα προειδοποιήσεις, όταν ανιχνεύεται κάποια επικίνδυνη κατάσταση.

Για την υποβοήθηση του έργου της διαχείρισης της πυρκαγιάς μετά την ανίχνευσή της, αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα εκτίμησης και απεικόνισης της διάδοσης πυρκαγιάς. Το σύστημα παρέχει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο για την εξέλιξη της πυρκαγιάς με την χρήση ενός χάρτη καύσιμης ύλης του χώρου και άλλες σημαντικές παραμέτρους όπως η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου και η μορφολογία του εδάφους. Τέλος η πληροφορία της διάδοσης της πυρκαγιάς που προκύπτει (κατεύθυνση και ταχύτητα διάδοσης, χρόνοι ανάφλεξης, μήκος φλόγας, καμένη έκταση κλπ.) απεικονίζεται σε ένα 3-Δ γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Το ολοκληρωμένο σύστημα βασίζεται στο Google Earth™ και είναι εξαιρετικά φιλικό στον χρήστη.

Το μοντέλο διάδοσης πυρκαγιάς

Στην εργασία του Rothermel (1972), προτείνεται ένα μαθηματικό μοντέλο για την ποσοτική πρόβλεψη τόσο της ταχύτητας διάδοσης φωτιάς όσο και της έντασης φωτιάς σε δασικά καύσιμα τα οποία περιγράφονται με ένα συγκεκριμένο τρόπο που ονομάζεται «μοντέλο καύσιμης ύλης». Τα δεδομένα εισόδου στο μαθηματικό μοντέλο είναι η καύσιμη ύλη, η υγρασία του καυσίμου, η ταχύτητα του ανέμου και παράμετροι της τοπογραφίας που μπορούν να μετρηθούν στο πεδίο. Το μοντέλο υπολογίζει δύο βασικές παραμέτρους της φωτιάς, δηλαδή την ταχύτητα διάδοσης και την ένταση, ενώ χρησιμοποιούνται επιπρόσθετες μέθοδοι για την ανάκτηση συναφών δεδομένων, όπως π.χ. το μήκος φλόγας, η απόσταση εξάπλωσης, η περίμετρος της φωτιάς κ.α. Καθώς επιτυγχάνει μια καλή ισορροπία μεταξύ της ακρίβειας και της ταχύτητας υπολογισμών, το μοντέλο παραμένει πολύ δημοφιλές μέχρι σήμερα, και αποτελεί βάση για πολλά δημοφιλή σχετικά προγράμματα πρόβλεψης ή/και προσομοίωσης συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών όπως τα BehavePlus (Andrews, 2007), NEXUS (Scott, 1999) και FARSITE (Finney, 2004)..

Η εφαρμογή FIRESENSE Estimation of Fire Propagation (EFP) βασίζεται στην βιβλιοθήκη fireLib (Bevins, 1996) και το πιο πρόσφατο εργαλείο ανάπτυξης εφαρμογών, Fire Behaviour SDK (Bevins, 2007) τα οποία υλοποιούν τους αλγορίθμους που είναι ενσωματωμένοι στο σύστημα BEHAVE και που μπορούν να μοντελοποιήσουν ικανοποιητικά φωτιές επιφανείας, δηλαδή να προβλέψουν τον ρυθμό διάδοσης, την ένταση της φωτιάς, το μήκος φλόγας και το ύψος καψαλίσματος της κόμης δένδρων (scorch height) πυρκαγιών επιφανείας χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτές οι υλοποιήσεις είναι σημαντικά βελτιστοποιημένες για εφαρμογές μεγάλου αριθμού επαναλήψεων, όπως οι προσομοιώσεις διάδοσης φωτιάς βασισμένες σε κελιά ή κύματα. Στην εφαρμογή FIRESENSE EFP, εφαρμόζουμε επαναληπτικά τους υπολογισμούς διάδοσης του BEHAVE για την μοντελοποίηση

της εξάπλωσης της πυρκαγιάς έτσι ώστε να προσομοιώσουμε μια πυρκαγιά μέσα σε ένα χωρικό πλέγμα εδάφους, καύσιμης ύλης και καιρικές συνθήκες που μπορούν να μεταβάλλονται τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται πιο αναλυτικά οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τη διενέργεια προσομοιώσεων με το FIRESENSE EFP. Οι παράμετροι είτε ορίζονται απ' ευθείας από τον χρήστη μέσω της διεπαφής χρήστη είτε εκτιμώνται βάσει των διαθέσιμων δεδομένων από τους αισθητήρες (όπως πχ. οπτικές ή υπέρυθρες κάμερες, αισθητήρια των τοπικών μετεωρολογικών σταθμών, εξειδικευμένοι αισθητήρες μέτρησης (με ράβδο) υγρασίας νεκρής καύσιμης ύλης, κλπ.) ή το διαδίκτυο και χρησιμοποιούνται είτε άμεσα είτε μετά από ειδική προ-επεξεργασία.

Σημεία ανάφλεξης

Τα σημεία ανάφλεξης μπορούν να οριστούν είτε από τον χρήστη (ακριβής χρόνος και θέση ανάφλεξης), είτε αυτόματα από το κέντρο ελέγχου του βασικού συστήματος FIRESENSE Control Centre που εκτιμά το σημείο ανάφλεξης βάσει των δεδομένων από τους αισθητήρες του FIRESENSE.

Τοπογραφία

Η τοπογραφία είναι μια σημαντική παράμετρος για την προσομοίωση της πυρκαγιάς και επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα και κατεύθυνση διάδοσης. Έτσι η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη σε ανηφορικές κλίσεις και μικρότερη σε κατηφορικές. Ο προσανατολισμός κλίσης επίσης επηρεάζει την διάδοση της φωτιάς σε συνάρτηση με την κατεύθυνση του ανέμου. Αν η κλίση έχει τον ίδιο προσανατολισμό με τον άνεμο, τότε η επίδραση του ανέμου στην φωτιά αυξάνεται.

Η κλίση και ο προσανατολισμός της εκτιμώνται από το λογισμικό σε κάθε προσομοίωση με μία μέθοδο χαμηλού υπολογιστικού κόστους που χρησιμοποιεί τα υψόμετρα και τις συντεταγμένες των σημείων ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Αν και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε τέτοιο μοντέλο, η εφαρμογή χρησιμοποιεί προς το παρόν τα δεδομένα STRM (από αρχεία GeoTIFF) που διατίθενται ελεύθερα από τον οργανισμό CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org/>), έχουν χωρική ανάλυση 90m και παγκόσμια κάλυψη.

Καύσιμη ύλη

Το λογισμικό διαβάζει την πληροφορία για την καύσιμη ύλη από μια ακολουθία χαρτών καύσιμης ύλης οι οποίοι μπορεί να προέρχονται από το CORINE (η περίπτωση της πυρκαγιάς της Τουρκίας) είτε να είναι μεγαλύτερης ανάλυσης και να έχουν προκύψει από την αποτύπωση της βλάστησης στο πεδίο (η περίπτωση της πυρκαγιάς της Ελλάδας) (πολλαπλά επίπεδα από αρχεία GeoTiff με γενικά διαφορετικές αναλυτικότητες και μεγέθη). Για τον προσδιορισμό της πληροφορίας καύσιμης ύλης για μια συγκεκριμένη θέση, διαβάζεται η πληροφορία από το πρώτο διαθέσιμο επίπεδο το οποίο περιέχει πληροφορία καύσιμης ύλης για την συγκεκριμένη θέση. Το «βασικό» επίπεδο (τελευταία επιλογή) προκύπτει από το αρχείο GeoTiff που περιέχει τα δεδομένα κάλυψης γής CORINE (Commission of the European Communities, 2008) με ανάλυση περίπου 100 m. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται δεδομένα από τον χάρτη CORINE Land Cover 2000 raster data που συμπεριλαμβάνει και την Ελλάδα, ενώ σαν αμέσως επόμενο επίπεδο χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από τον χάρτη CORINE Land Cover 2006. Η αντιστοίχιση των 44 κλάσεων του CORINE με τα 13 βασικά μοντέλα καύσιμης ύλης του BEHAVE γίνεται σύμφωνα με το (Καλαμποκίδης και άλλοι, 2004).

Όμως η πληροφορία καύσιμης ύλης που μπορεί να εξαχθεί από το CORINE είναι μια χοντροειδής προσέγγιση και δεν είναι κατάλληλη για την προσομοίωση πυρκαγιών μικρής κλίμακας. Για το λόγο αυτό το λογισμικό υποστηρίζει την ανάγνωση αρχείων GeoTiff που περιέχουν δείκτες σε προκαθορισμένα μοντέλα καύσιμης ύλης: τα 13 βασικά μοντέλα του BEHAVE, τα μοντέλα Scott-Burgan (Scott and Burgan, 2005) και μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί ειδικά για την Ελλάδα (Δημητρακόπουλος και άλλοι 2001 και Dimitrakopoulos, 2002). Μελλοντικά θα υποστηριχθούν και νέα ειδικά μοντέλα καύσιμης ύλης με εισαγωγή των παραμέτρων τους από τον χρήστη. Όσον αφορά την προέλευση των δεδομένων καύσιμης ύλης, στα πλαίσια του έργου FIRESENSE χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τεχνικές: α) ταξινόμηση καύσιμης ύλης χρησιμοποιώντας πληροφορία από δεδομένα τηλεπισκόπησης όπως πολυφασματικές δορυφορικές ή εναέριες εικόνες, β) επιτόπια έρευνα (από ειδικούς δασολόγους) και γ) τοπικές πηγές όπου υπάρχουν (πχ. χάρτες βλάστησης από άλλες πηγές).

Άνεμος

Εκτός από τον άμεσο ορισμό της ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου από τον χρήστη, η πληροφορία ανέμου (παρούσα κατάσταση ή μελλοντική πρόγνωση) μπορεί να ανακτηθεί σε πραγματικό χρόνο από μετεωρολογικούς σταθμούς ή διαδικτυακά portals μέσω ειδικής διεπαφής του EFP.

Επίσης, το FIRESENSE EFP μπορεί να υποστηρίζει πλήρως τις παρακάτω περιπτώσεις καθώς και τον συνδυασμό τους:

- Χωρικές μεταβολές ανέμου: Χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος WindNinja (Forthofer, 2007 και Forthofer, 2009) για τον υπολογισμό των ανέμων μικρής-κλίμακας που επηρεάζονται από την μορφολογία του εδάφους. Συγκεκριμένα, ενσωματώθηκε πλήρως στην εφαρμογή το λογισμικό WindNinja, που διατίθεται ελεύθερα και πλέον παρέχει διεπαφή γραμμής εντολών, διευκολύνοντας έτσι την ενσωμάτωσή του σε εξωτερικές εφαρμογές. Ο χρήστης παρέχει την «μέση» ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, ενώ χρησιμοποιούνται επίσης το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και ο κυρίαρχος τύπος βλάστησης (γρασίδι/θάμνοι ή δέντρα) για την περιοχή. Πρόσφατες επεκτάσεις του WindNinja, όπως α) ένα μοντέλο για τον «αναβατικό άνεμο» κατά τη διάρκεια της ημέρας και β) αρχικοποίηση του μοντέλου με δεδομένα πρόβλεψης ανέμου σε μελλοντικό χρόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά.
- Χρονικές μεταβολές ανέμου: Μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές επίσης μπορούν να καθοριστούν από τον χρήστη (η ίδια διεπαφή επιτρέπει τον καθορισμό πολλαπλών σημείων ανάφλεξης και μεταβολές στις παραμέτρους υγρασίας). Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, υπολογίζεται και χρησιμοποιείται σε κάθε χρονική στιγμή το κατάλληλο πεδίο ανέμου (ο χρήστης καθορίζει αν η τιμή του ανέμου είναι σταθερή ή χωρικά μεταβαλλόμενη, σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο).

Υγρασίες καύσιμης ύλης

Οι υγρασίες της νεκρής και ζωντανής καύσιμης ύλης μπορούν να δοθούν από τους χρήστες στην γραφική διεπαφή. Παράλληλα, υποστηρίζεται η αυτόματη ανάκτηση των τιμών της υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης από:

- Πληροφορία από εγκατεστημένους εξειδικευμένους αισθητήρες, όπως αισθητήρες μέτρησης (με ράβδο) υγρασίας νεκρής καύσιμης ύλης 10-h, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα.
- Εκτιμήσεις της νεκρής καύσιμης ύλης βάσει περιοδικών καταγραφών μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία, υγρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία και βροχοπτώση) με τη χρήση του τροποποιημένου μοντέλου του Nelson (Bevins, 2005). Η μέθοδος αυτή υλοποιήθηκε στο κέντρο ελέγχου του συστήματος FIRESENSE βάσει της σχετικής υλοποίησης που περιλαμβάνεται στη βιβλιοθήκη Fire Behaviour SDK και αξιοποιεί δεδομένα τοπικών μετεωρολογικών σταθμών.

Μοντέλο πρόγνωσης Πυρκαγιών Κόμης

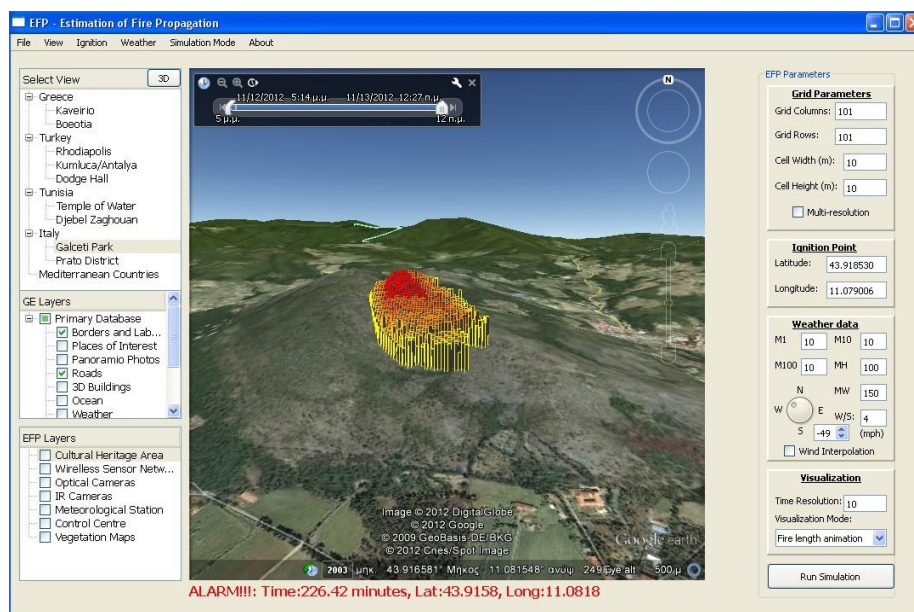
Στο (Xanthopoulos 1990), διατυπώθηκε ένα εμπειρικό μοντέλο για να προβλέψει καταστάσεις όπου μία επιφανειακή φωτιά μπορεί να οδηγήσει σε ανάφλεξη την κόμη των δέντρων και να εξελιχθεί σε πυρκαγιά κόμης. Ειδικότερα, μετά από μια ενδελεχή βιβλιογραφική μελέτη, εξήχθησαν υποψήφιες μεταβλητές για εισαγωγή στο μοντέλο και εξετάστηκε πειραματικά η σημασία τους και οι ποσοτικές σχέσεις μεταξύ τους. Βάσει των παραπάνω πειραμάτων δημιουργήθηκε ένα σύστημα εξισώσεων για την πρόβλεψη του θερμοκρασιακού προφίλ (θερμοκρασία και διάρκειά της) επάνω από καιγόμενη επιφανειακή βλάστηση και στη συνέχεια αναπτύχθηκε ένα μοντέλο έναρξης πυρκαγιών κόμης σε τρία είδη κωνοφόρων δέντρων. Με το μοντέλο υπολογίζεται ένας «βαθμός (σκορ) ανάφλεξης» βάσει παραμέτρων όπως η ταχύτητα του αέρα, το βάρος βιομάζας (ανά μονάδα επιφάνειας), το ύψος της βάσης της κόμης από το έδαφος (Min canopy base height), η θερμική ένταση αντίδρασης (Reaction Intensity) και ο «συντελεστής ανέμου» (οι τελευταίες δύο μεταβλητές υπολογίζονται από το μοντέλο BEHAVE). Η τιμή-κατώφλι του βαθμού ανάφλεξης πάνω από το οποίο προκαλείται ανάφλεξη προσδιορίστηκε πειραματικά με επιπρόσθετα πειράματα σε αεροδυναμική σήραγγα.

Στο λογισμικό FIRESENSE EFP, υλοποιήθηκε και ενσωματώθηκε πλήρως η παραπάνω τεχνική: ο υπολογισμός γίνεται μόνο για κελιά στα οποία υπάρχουν δέντρα (βάσει του μοντέλου καύσιμης ύλης για το κελί), ενώ κάποιες παράμετροι πρέπει να δοθούν/προσαρμοστούν κατάλληλα μετά από επιτόπιες παρατηρήσεις (πχ. ύψος βάσης κόμης).

Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής

Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής, που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ με τη χρήση βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα όπως η Qt library (Qt, 2013), GDAL (GDAL, 2013) και η PROJ.4 (PROJ.4, 2013), απεικονίζεται στην Εικόνα 1. Επιπλέον για τις απεικονίσεις των αποτελεσμάτων της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το Google Earth API (Google Earth API, 2013) που διατίθεται από την Google. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής είναι η ύπαρξη «στρωμάτων» (Layers) με τα οποία μπορούν να απεικονιστούν στο χάρτη διάφορες πληροφορίες όπως χάρτες βλάστησης, μετεωρολογικοί χάρτες, σημεία ενδιαφέροντος, κ.α. Υπάρχουν ακόμα γρήγοροι σύνδεσμοι για μετάβαση στις περιοχές μελέτης που έχουν οριστεί, ενώ γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του Google Earth, αφού είναι δυνατή η απεικόνιση φωτογραφιών, το γνωστό Streetview για την πλοήγηση σε 360° πανοραμικές φωτογραφίες, κλπ.

ΠΕΔΙΟ 1: ΔΑΣΙΚΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ



Εικόνα 1: 3-Δ προσομοίωση στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού εκτίμησης διάδοσης πυρκαγιάς (EFP)

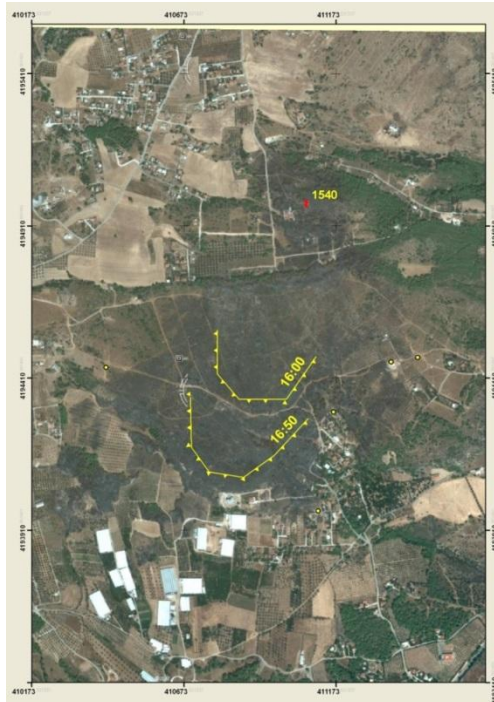
Figure 1: 3-D simulation in the Graphical User Interface of the EFP software

Επαλήθευση της προσομοίωσης με δεδομένα από προηγούμενες πυρκαγιές

Για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του λογισμικού χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από δύο πυρκαγιές στην Ελλάδα (Ισθμια 1/8/2009, Γραμματικό 22/8/2009) και μία στην Τουρκία (Cinarli, 30/7/2008) με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Η τεκμηρίωση των πυρκαγιών στο πεδίο και η ανάλυση των τιμών των επιμέρους παραμέτρων ή μεταβλητών που απαιτήθηκε να εισαχθούν στο σύστημα έγιναν από τους Μ. Αθανασίου και Γ. Ξανθόπουλο. Στην συνέχεια (λόγω έλλειψης χώρου) παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μόνο για την πυρκαγιά στα Ισθμια Κορινθίας στις 1/8/2009.

Η φωτιά ξεκίνησε γύρω στις 15:40 την 1/8/2009. Η Εικόνα 2 απεικονίζει το σημείο ανάφλεξης καθώς επίσης τις τοποθεσίες της «κεφαλής» και των «ώμων» της φωτιάς σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στην ίδια δορυφορική εικόνα, που έχει ληφθεί μετά τη φωτιά, απεικονίζεται επίσης και η καμένη περιοχή.

ΠΕΔΙΟ 1: ΔΑΣΙΚΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ



Εικόνα 2: Σημείο ανάφλεξης και καμένη περιοχή για την φωτιά στα Ίσθμια
Figure 2: Ignition point and burned area for the Isthmia fire

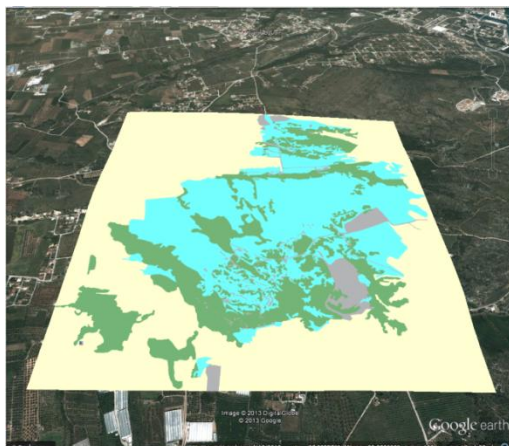
Η πυρκαγιά ήταν επιφανείας και διαδόθηκε με κατεύθυνση προς τα νότιο-δυτικά, καίγοντας κυρίως χόρτα και αραιούς θάμνους. Σύμφωνα με τις επί τόπου παρατηρήσεις, σε μερικές περιπτώσεις η φωτιά μεταφέρθηκε στην κόμη των δέντρων μετά το πέρασμα του μετώπου (κεφαλής) της πυρκαγιάς χωρίς να επηρεαστεί ο ρυθμός εξάπλωσής της στην επιφανειακή βλάστηση καθώς επιβεβαιώθηκε, επίσης, ότι δεν υπήρξε μετάδοση της πυρκαγιάς με καύτρες οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν το ρυθμό εξάπλωσης. Καθώς δεν υπήρξε ανθρώπινη παρέμβαση μέχρι τις 16:50, μελετήσαμε την εξάπλωση της φωτιάς μεταξύ 15:40 και 16:50. Τα μετεωρολογικά στοιχεία της ημέρας σύμφωνα με τον τοπικό μετεωρολογικό σταθμό (πηγή: www.wunderground.com) ήταν:

- Μέχρι τις 16:00, η μέση τιμή Σχετικής Υγρασίας (ΣΥ%) ήταν 36% και η μέση τιμή της θερμοκρασίας ήταν 35 °C. Ο άνεμος – στο ίδιο χρονικό διάστημα – έπνεε νοτιοανατολικός (μέση ταχύτητα 4 km/h, με ριπές των 16 km/h).
- Στο διάστημα μεταξύ 16:00 με 16:50, η μέση τιμή Σχετικής Υγρασίας (ΣΥ%) ήταν 35% και η μέση τιμή της θερμοκρασίας ήταν 35°C. Ο άνεμος – στο ίδιο χρονικό διάστημα – έπνεε νοτιοανατολικός (μέση ταχύτητα 7 km/h, με ριπές των 17 km/h).

Κατασκευάστηκε λεπτομερής χάρτης καύσιμης ύλης για την περιοχή. Η χαρτογράφηση έγινε με βάση ένα συνδυασμό κατάλληλων για την περιοχή μοντέλων καύσιμης ύλης επιλεγμένων από τα μοντέλα καύσιμης που έχουν κατασκευαστεί ειδικά για την Ελλάδα (Δημητρακόπουλος και άλλοι, 2001 και Dimitrakopoulos, 2002). Ο χάρτης μετατράπηκε αρχικά σε γεωαναφερμένη εικόνα GeoTiff που στη συνέχεια διαβάζεται από το EFP (Εικόνα 3), έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύρεση του

ΠΕΔΙΟ 1: ΔΑΣΙΚΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

μοντέλου καύσιμης ύλης που αντιστοιχεί σε κάθε κελί του χωρικού πλέγματος της προσομοίωσης.

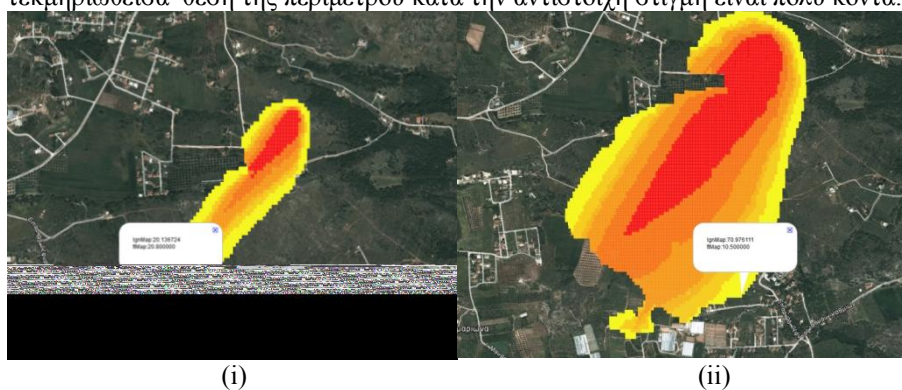


Εικόνα 3: Περιγραφή της βλάστησης για την φωτιά στα Ίσθμια με κατάλληλα μοντέλα καύσιμης ύλης.

Figure 3: Description of vegetation for the Isthmia fire using appropriate fuel models.

Για την υγρασία καύσιμης ύλης, μετά από επεξεργασία των συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή τις ημέρες της πυρκαγιάς υπολογίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές υγρασίας: 6% (νεκρή 1-h και 10-h – γενίκευση η οποία ακολουθείται συχνά κατά τη χρήση του μοντέλου του Rothermel), 7% (νεκρή 100-h), 80% (ζωντανή ξυλώδης).

Για την παρεμβολή ανέμου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό WindNinja, ενώ ορίστηκε η αλλαγή του ανέμου μετά από τα πρώτα 20 λεπτά της προσομοίωσης (ορίστηκαν μεγαλύτερες μέσες τιμές ταχύτητας ανέμου από αυτές που μετρήθηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς, λαμβάνοντας υπ' όψη τις έντονες ριπές που παρατηρήθηκαν). Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης 20 και 70 λεπτά μετά από την ανάφλεξη φαίνονται στις Εικόνα 4(i-ii) αντίστοιχα από τα οποία διαπιστώνεται ότι η εκτίμηση της περιμέτρου της καμένης περιοχής και η πραγματική τεκμηριωθείσα θέση της περιμέτρου κατά την αντίστοιχη στιγμή είναι πολύ κοντά.



Εικόνα 4: Προσομοίωση της φωτιάς στα Ίσθμια: Εικονίζεται η έκταση της φωτιάς 20 (i) και 70 λεπτά (ii) αντίστοιχα μετά την έναρξή της.

Figure 4: Simulation of Isthmia Fire: The extent of the fire 20 (i) and 70 (ii) minutes after its start is displayed.

Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα

Στα πλαίσια του έργου FIRESENSE αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα εκτίμησης και απεικόνισης της διάδοσης πυρκαγιάς το οποίο μπορεί να αξιοποιεί διαθέσιμα δεδομένα από α) εγκατεστημένους αισθητήρες β) το διαδίκτυο και γ) παρατηρήσεις που εισάγονται μέσω μιας φιλικής προς τον χρήστη διεπαφής. Τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι προσομοιώσεις προσεγγίζουν ικανοποιητικά την περίμετρο πραγματικών πυρκαγιών για τις οποίες υπήρξε μικρή ή ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση και των οποίων τα πραγματικά στοιχεία έχουν διατεθεί/επεξεργαστεί από έμπειρους δασολόγους. Όμως, το γεγονός ότι υπεισέρχονται πολλές παράμετροι, ορισμένες από τις οποίες (πχ. ο άνεμος) παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα ως προς το χώρο και τον χρόνο, εισάγει πολλές πιθανές πηγές σφαλμάτων. Κατά συνέπεια, η αναγνώριση, και στη συνέχεια διόρθωση, των βασικών παραγόντων σφάλματος που επηρεάζουν την ακρίβεια μιας συγκεκριμένης προσομοίωσης δεν είναι πάντα προφανής.

Στόχος για το μέλλον είναι η περαιτέρω βελτίωση του λογισμικού με υλοποίηση ορισμένων επιπρόσθετων επεκτάσεων και απλοποίηση κάποιων διαδικασιών με τελικό στόχο την παροχή στους χρήστες μιας εύχρηστης πλατφόρμας προσομοίωσης πυρκαγιών. Επιπλέον θα γίνει σε συνεργασία με τους δασολόγους για επαλήθευση των αποτελεσμάτων του λογισμικού και σε άλλες πυρκαγιές.

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος "FIRESENSE - Fire Detection and Management through a Multi-Sensor Network for the Protection of Cultural Heritage Areas from the Risk of Fire and Extreme Weather Conditions". (Contract No. FP7-ENV-244088 - 7^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής).

An integrated system for Estimation and Visualization of Fire Propagation and Verification of its Predictions by Exploiting Data of Real Fire Behaviour for Fires in Greece and Turkey

Nikos Grammalidis¹, Kosmas Dimitropoulos¹, Miltiadis Athanasiou², Gavriil Xanthopoulos³

¹Information Technologies Institute, CERTH, 6th km Charilaou-Thermi Rd, 57001 Thessaloniki-Greece, e-mail: ingramm,dimitrop@iti.gr

²Environmental scientist – M.Sc. Prevention and Management of Natural Disasters 8 Thoma Paleologou st., 13673 Acharnes, e-mail: envmanag@otenet.gr

³National Agricultural Research Foundation, Greece
Inst. of Mediterranean Forest Ecosystems & Forest Products Technology
E-mail: gxnrtc@fria.gr

Abstract

Within the framework of the EU-co-funded research project "FIRESENSE: Fire Detection and Management through a Multi-Sensor Network for the Protection of Cultural Heritage Areas from Risk of Fire and Extreme Weather Conditions", an

interactive application has been developed (Estimation of Fire Propagation, EFP) allowing users to define simulation parameters, perform fire propagation simulations and display results to a user-friendly 2-D/3-D environment that is based on Google Earth™. Calculations are based on the popular algorithms of the BEHAVE fire behavior prediction system, but many additional functionalities and extensions are also supported. The application produces visualizations of fire propagation output data: ignition times are displayed as colour-coded cell grids, while 3-D animations of flame length are also generated. The estimation and use of spatially variable wind-fields is also supported using the WINDNINJA software, while temporal weather (wind/fuel moisture) variations can also be specified. Finally, a model for predicting the probability of spread of surface fires to the crowns of the vegetation was also implemented.

The system was successfully evaluated with data collected from 3 fires in Greece and Turkey where there was minimal or no human intervention. In this paper, the EFP system is briefly presented and quantitative characteristics of the real fire behaviour are provided for the fire in Isthmia at 1/8/2009, which was documented in the field by the third author for the evaluation of the predictions of the system.

Βιβλιογραφία

- Dimitropoulos, K., Gunay, O., Kose, K., Erden, F., Chaabane, F., Tsalakanidou, F., Grammalidis, N., Cetin, A.E., 2013. Video-Based Flame Detection For The Protection Of Cultural Heritage, *International Journal Heritage in the Digital Era*, Vol.2, No.1, pp.23-47.
- Rothermel, R.C., 1972. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fires, USDA Forest Service General Technical Report INT-115, 1972, Ogden, UT.
- Andrews, P.L., 2007. BehavePlus fire modeling system: Past, present, and future. In *Proceedings of 7th Symposium on Fire and Forest Meteorological Society*. 23-25 October 2007, Bar Harbor, Maine.
- Finney, M.A., 2004. FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Scott, J.H., 1999. NEXUS: A system for assessing crown fire hazard. *Fire Management Notes*, 59(2):20-24.
- Bevins, C., 1996. fireLib “User Manual and Technical Reference”, Systems for Environmental Management, Technical Report, <http://www.fire.org/downloads/fireLib/1.0.4/firelib.pdf>
- Bevins, C., 2006. Fire Behaviour SDK Reference Manual”, Systems for Environmental Management, Technical Report, May 2006, <http://www.fire.org/downloads/fbsdk/docs/refman.pdf>
- Commission of the European Communities, Corine Land Cover, June 1995, <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- Καλαμποκίδης Κ., Ρούσσου, Ο., Βασιλάκος, Χ., Μαρκοπούλου, Δ., 2004. Χωρική Μοντελοποίηση Καύσιμης Ύλης και Συμπεριφοράς Πυρκαγιών Τοπίου, 7ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Σελ. 486-494.
- Scott, J.H., Burgan, R.E., 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model, USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153.
- Δημητρακόπουλος, Α.Π., Mateeva, V., Ξανθόπουλος, Γ., 2001. Μοντέλα καύσιμης ύλης Μεσογειακών Τύπων βλάστησης της Ελλάδος. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα ΓΕΩΤΕΕ. Σειρά VI, Τόμος 12(3): 192-206.

- Dimitrakopoulos, A.P., 2002. Mediterranean fuel models and potential fire behaviour in Greece. *International Journal of Wildland Fire* 11:127-130.
- Forthofer, J.M., Shannon K.S., Butler, B.W., 2009. Simulating diurnally driven slope winds with WindNinja. *Proceedings of 8th Symposium on Fire and Forest Meteorological Society*.
- Forthofer, J.M., Butler, B.W., 2007. Differences in simulated fire spread over Askervein Hill using two advanced wind models and a traditional uniform wind field. In: Butler, B. W.; Cook, W. comps. "The fire environment--innovations, management, and policy; conference proceedings", 26-30 March 2007: Destin, FL. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: pp. 123-127.
- Bevins, Collin D, 2005. Adapting Nelson's dead fuel moisture model for wildland fire modelling.
- Xanthopoulos, G., 1990. Development of a wildland crown fire initiation model. Ph.D. Dissertation. Univ. of Montana, Missoula, Montana, USA. 152 p.
- Qt, 2013. Qt, <http://qt.digia.com/>
- GDAL, 2013. <http://www.gdal.org/>
- PROJ.4, 2013. <http://trac.osgeo.org/proj/>
- Google Earth API, 2013. <https://developers.google.com/earth/?hl=el-GR>