

ΟΙ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Των D. Viegas¹ και Γ. Ευτυχίδη²



Εισαγωγή

Η δασοπυρόσβεση έχει πολλά κοινά στοιχεία με τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Απαιτείται πειθαρχία, οργάνωση, σεβασμό της ιεραρχίας, μαζικές μετακινήσεις προσωπικού και εξοπλισμού, τακτική αεροπορική υποστήριξη και μεγάλες περιόδους μάχης και ψυχολογικής πίεσης, μέχρι να ελεγχθεί «ο εχθρός» (Mangan 2007). Παρόλα αυτά, υπάρχει και μία σημαντική διαφορά. Στη δασοπυρόσβεση δεν προβλέπονται απώλειες, όπως συμβαίνει στις αποστολές του στρατού. Και όμως, τα θύματα στον πόλεμο με τη φωτιά αυξάνονται συνεχώς, σε ολόκληρο τον κόσμο. Σε πολλές περιπτώσεις, οι απώλειες αυτές μπορούν να αποφευχθούν με κατάλληλη εκπαίδευση σχετικά με την ιδιαίτερη συμπεριφορά της πυρκαγιάς και με τη γνώση και εφαρμογή των κανόνων ασφαλείας της δασοπυρόσβεσης.

Κατά τη διάρκεια μιας δασικής πυρκαγιάς, παρατηρείται συχνά το φαινόμενο η εξάπλωση του μετώπου να επιταχυνθεί ξαφνικά. Η απότομη αυτή αύξηση του ρυθμού διάδοσης είναι υπεύθυνη, σε πολλές περιπτώσεις, για θανατηφόρα ατυχήματα σε ολόκληρο τον κόσμο. Η απότομη αλλαγή της συμπεριφοράς της φωτιάς σχετίζεται με διάφορους παράγοντες και φαινόμενα, τα οποία παρουσιάζονται σε αυτό το άρθρο.

Επειδή το φαινόμενο παρατηρείται συχνά σε ρέματα, χαράδρες και απότομες πλαγιές και συνοδεύεται από ισχυρούς ανοδικούς ανέμους, είναι κοινά γνωστό σαν «φαινόμενο καμινάδας» ή «blow up». Ο όρος «blow-up» δε μεταφράζεται ακριβώς στα ελληνικά. Μπορεί, όμως, να χρησιμοποιηθεί ο όρος «ξέσπασμα ή έκρηξη της πυρκαγιάς», καθώς το φαινόμενο προσομοιάζει με τις ηφαιστειακές εκρήξεις, κατά τις οποίες ενεργοποιείται ξαφνικά μια ισχυρή ανοδική διαδικασία.

Η φάση της έκρηξης στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς έχει συνδεθεί, κατά το παρελθόν, με θανατηφόρα ατυχήματα σε

χώρες, όπως η Πορτογαλία, η Ισπανία, οι Η.Π.Α. και πολλές άλλες. Στην Ελλάδα (Xanthopoulos 2007), εκρήξεις στη συμπεριφορά πυρκαγιών έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών που έγιναν αιτία για την απώλεια δασοπυροσβεστών στον Πύργο το 1990, στον Καρέα το 1998, στη Χίο το 1999 και πρόσφατα, στο Ρέθυμνο, στην Κρήτη.

Για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις ατυχημάτων στις ΗΠΑ, υπάρχει αναλυτική τεκμηρίωση του συμβάντος και της θανατηφόρας συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν η φωτιά στο Rattlesnake, όπου σκοτώθηκαν πέντε δασοπυροσβέστες το 1953, το ατύχημα στην πυρκαγιά του Mann Gulch, στο οποίο βρήκαν το θάνατο 13 δασοπυροσβέστες, η φωτιά στο South Canyon το 1994, όπου έχασαν τη ζωή τους 14 άτομα, η πυρκαγιά στο φαράγγι Cramer το 2003 και η φωτιά στο Thirty Mile, στην οποία σκοτώθηκαν τέσσερα άτομα σαν αποτέλεσμα της εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς (Mangan 2007). Η τεκμηρίωση αυτή χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μοντέλα συμπεριφοράς της πυρκαγιάς για ανάλυση των ατυχημάτων, σύνταξη αναφορών και βελτίωση των κανόνων ασφαλείας στη δασοπυρόσβεση.

Η μεταβαλλόμενη συμπεριφορά της πυρκαγιάς

Η συμπεριφορά της πυρκαγιάς επηρεάζεται από τη βλάστηση, την τοπογραφία και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Οι τρεις αυτοί παράγοντες δε λειτουργούν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Αλληλεπιδρούν και σχηματίζουν ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, που καθορίζει το πλαίσιο συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, τα χαρακτηριστικά των παραγόντων που προαναφέραμε, μεταβάλλονται διαρκώς όχι μόνο στο χώρο, αλλά και στο χρόνο. Επομένως, τα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς, όπως η ταχύτητα διάδοσης, η θερμική ένταση, το ύψος της φλόγας και η εκλυόμενη ενέργεια από το μέτωπο δεν είναι σταθερά, αλλά μεταβάλλονται διαρκώς. Για το λόγο αυτό, το τρίγωνο της συμπεριφοράς της φωτιάς πρέπει να εξετάζεται και από μία τέταρτη διάσταση, αυτήν του χρόνου (Viegas 2006).

Είναι γνωστό ότι η πυρκαγιά διαδίδεται με τρεις βασικούς τρόπους. Με επαφή με τις φλόγες, με ακτινοβολία και με μεταφορά θερμών αερίων μαζών. Τα διαθέσιμα μοντέλα εκτίμησης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, όπως το BEHAVE (Andrews 1986), το οποίο είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο επιχειρησιακά μοντέλο, ενσωματώνουν στους υπολογισμούς τους τη διάδοση με ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό, δεν προβλέπουν την επίδραση της μεταφοράς των θερμών αερίων μαζών στην



Εικ. 1: Χρήση πειραματικής τράπεζας καύσης του ADAI, για προσομοίωση πυρκαγιάς σε πλάγια με ρυθμιζόμενες συνθήκες ανέμου (αριστερά) και σε χαράδρα με ρυθμιζόμενη διατομή και κλίση.

εξάπλωση και τη συμπεριφορά της φωτιάς. Τα υπάρχοντα μοντέλα αποδέχονται ότι η εξάπλωση της πυρκαγιάς βασίζεται κυρίως στη μεταφορά της θερμότητας με ακτινοβολία και εκτιμούν ότι η διάδοση γίνεται με σταθερό ρυθμό, επειδή θεωρούν ότι οι παράμετροι που καθορίζουν την ταχύτητα της πυρκαγιάς (τύπος καυσίμου, κλίση και άνεμος) διατηρούν σταθερές τιμές στο χρόνο. Σε πολλές, όμως, περιπτώσεις, αυτό δεν είναι αλήθεια. Αντίθετα, η συμπεριφορά της πυρκαγιάς επηρεάζεται εκτός των παραπάνω τριών βασικών παραμέτρων και από το χρόνο. Η ταχύτητα δηλαδή μιας πυρκαγιάς, που διαδίδεται στο ίδιο καύσιμο, με σταθερό άνεμο και κλίση, είναι διαφορετική μετά από 10 λεπτά εξάπλωσης και διαφορετική (μεγαλύτερη), μετά από μισή ώρα (Vaz et al 2004). Αυτό δείχνει, ότι η δασική πυρκαγιά δεν είναι ένα τοπικό φαινόμενο. Για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά της διαχρονικά, κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος, πρέπει να συνεκτιμήσουμε την πορεία της στο χώρο και το χρόνο και όχι απλά να κάνουμε υπολογισμούς με βάση τοπικές μετρήσεις, με τιμές των παραμέτρων πριν από την εκδήλωση της πυρκαγιάς.

Η έντονη και σύνθετη τοπογραφία των μεσογειακών περι-

οχών, σε συνδυασμό με την πυρόφιλη θαμνώδη και πωώδη βλάστηση, διαμορφώνει ένα περιβάλλον, το οποίο ευνοεί ιδιαίτερα τα ξεσπάσματα της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Τέτοια συμπεριφορά παρατηρείται πολύ συχνά στις πυρκαγιές των νοτιών χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρά τη σοβαρότητα και σπουδαιότητα του φαινομένου, ιδιαίτερα σε σχέση με θέματα ασφάλειας και προστασίας των δασοπροσβεστών, δεν υπάρχει εκτεταμένη έρευνα για την ερμηνεία και ανάλυσή του, ώστε να ενημερωθούν οι επαγγελματίες της δασοπροσβεστικής για τα χαρακτηριστικά και τις νομοτέλειες, που το διέπουν (Viegas 2006).

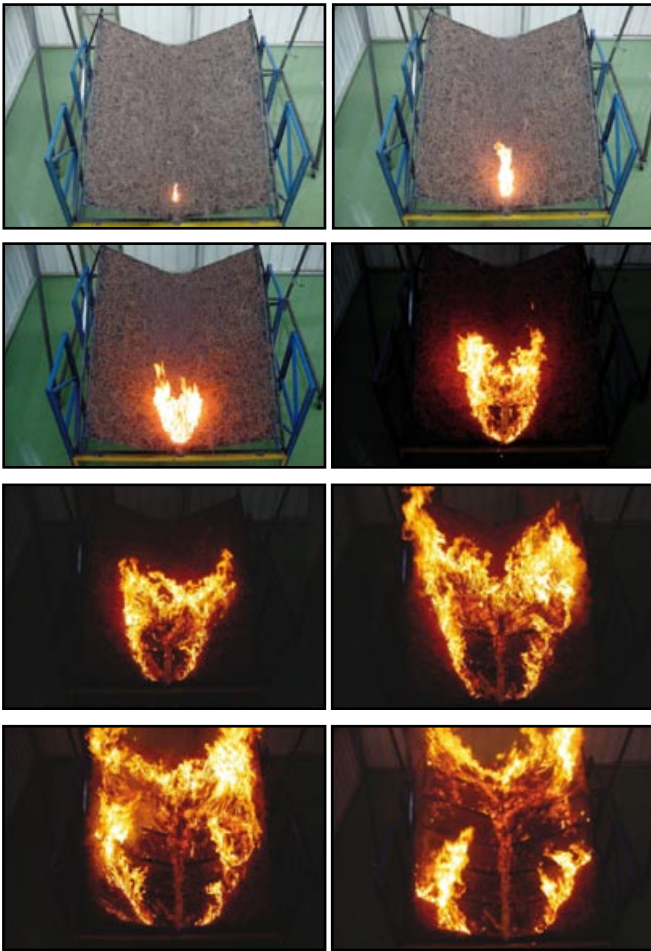
Σημαντική δουλειά στο συγκεκριμένο θέμα έχει γίνει, στην Ευρώπη, από την ερευνητική ομάδα ADAI του Πανεπιστημίου της Coimbra, στην Πορτογαλία. Η ομάδα αυτή ερευνά συστηματικά τα θέματα εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς και το φαινόμενο της καμινάδας τα τελευταία 15 χρόνια, σε συνεργασία με πολλούς φορείς και οργανισμούς από άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Το αποτέλεσμα της έρευνας της ομάδας του ADAI είναι η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου, με το οποίο μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά της πυρκαγιάς, κατά τη φάση της έκρηξης, σε ιδιαίτερους τοπογραφικούς σχηματισμούς, όπως χαράδρες και απότομες πλαγιές.

Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε ανάλυση δεδομένων και παρατηρήσεων από καύσεις δασικής καύσιμης ύλης σε περιβάλλον εργαστηρίου (Εικόνα 1) και σε αεροσρήαγγες, πειραματικές υπαίθριες πυρκαγιές, που διοργανώνει το Πανεπιστήμιο της Coimbra κάθε Άνοιξη από το 1998 και πραγματικά επεισόδια πυρκαγιών, σε πολλές χώρες της Νοτίου Ευρώπης.

Η έκρηξη της πυρκαγιάς

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η απλούστευση, η οποία γίνεται για πρακτικούς λόγους και η οποία μοντελοποιεί τη διαδικασία διάδοσης της πυρκαγιάς με σταθερή ταχύτητα, δεν είναι ικανή να υποστηρίξει την πρόβλεψη της εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Η ανάγκη αυτή μπορεί να καλυφθεί από εξειδικευμένα μαθηματικά μοντέλα, όπως το μοντέλο του ADAI, που αναφέραμε προηγουμένως. Το μοντέλο αυτό στηρίζεται στην αρχή, ότι η εξάπλωση της πυρκαγιάς σε ανωφέρεις επηρεάζεται από τα ρεύματα, τα οποία δημιουργεί η καύση της βλάστησης, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται διαρκώς ο ρυθμός εξάπλωσης, παρά το γεγονός ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες διατηρούνται σταθερές. Έτσι, τα συμβατικά μοντέλα εξάπλωσης μπορεί να είναι χρήσιμα για την απόδοση του μέσου ρυθμού εξάπλωσης, αδυνατούν, όμως, να προβλέψουν ή να εκτιμήσουν στιγμιαίες αποκλίσεις της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, οι οποίες, όμως, μπορεί να είναι κρίσιμες και επικίνδυνες.

Πειραματικά αποτελέσματα της ομάδας του ADAI έδειξαν ότι η φωτιά εξαπλώνεται με διαφορετική ταχύτητα διάδοσης τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο, κυρίως σαν συνέπεια της μεταβολής των χαρακτηριστικών καύσης της βλάστησης και του ανέμου, που δημιουργεί η ίδια η πυρκαγιά. Λόγω της θέρ-



Εικ. 2: Αναπαράσταση εξάπλωσης πυρκαγιάς σε τοπογραφία χαράδρας, χωρίς επίδραση ανέμου, στο εργαστήριο του ADAI.

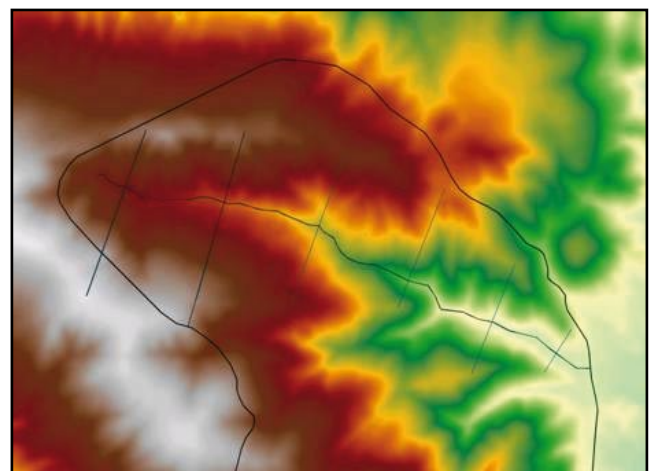
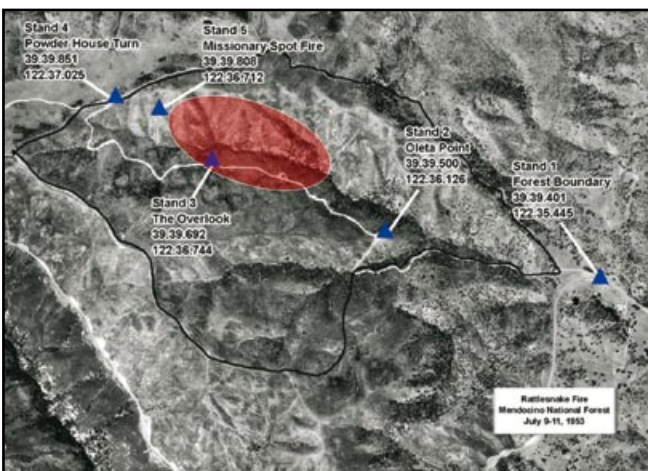
μανσης των αερίων μαζών στην περιοχή της καύσης και της διαφοράς θερμοκρασίας από τις υπερκείμενες στην περιοχή αέριες μάζες, η πυρκαγιά δημιουργεί ένα δικό της ρεύμα που συμβάλλει στην ένταση των χαρακτηριστικών της.

Μία διαφορετική απόπειρα ερμηνείας της εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς έχει γίνει από το Ινστιτούτο Έρευνας

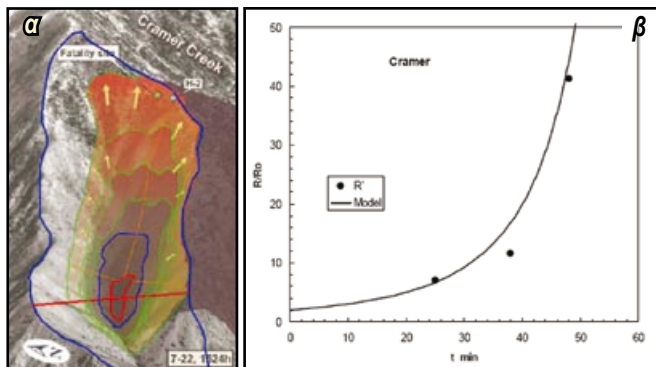
της Γαλλικής Πολιτικής Προστασίας για τις δασικές πυρκαγιές CEREN. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Picard και Giroud (Feraÿ-Ferrand et al 2005) η έκρηξη της πυρκαγιάς μπορεί να συνδέεται με την παραγωγή και συγκέντρωση -λόγω βαρύτητας- εύφλεκτων πτητικών αερίων σε τοπογραφικούς θύλακες, στους πρόποδες των πλαγιών και στις εισόδους και την κοίτη φαραγγιών. Σχηματίζονται έτσι «φούσκες» από εύφλεκτα αέρια, οι οποίες εκρηγνυται, όταν η φωτιά φτάσει σε εκείνο το σημείο. Το φαινόμενο παρατηρείται μετά από περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας και έντονης ηλιοφάνειας. Η ερμηνεία αυτή διερευνάται ακόμη, πλην όμως δείχνει πολύ περιοριστική, για να μπορέσει να εξηγήσει την ένταση, την έκταση και την επαναληψιμότητα του φαινομένου της εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση μιας φωτιάς, η οποία ξεκινάει από μία σχετικά επίπεδη περιοχή και διαδίδεται σε μία πλαγιά ή χαράδρα. Η φωτιά, αρχικά, εάν δε φυσά άνεμος, θα αναπτυχθεί σε σχήμα σχεδόν κυκλικό (εφόσον καίει ένα ομοιογενές και ομοιόμορφο στρώμα δασικών καυσίμων), με πολύ αργό ρυθμό. Αρχίζοντας να ανεβαίνει στην πλαγιά, θα παρατηρήσουμε ότι, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, το μέτωπο σχηματίζει φλόγες μεγαλύτερου ύψους και επιταχύνεται, καθώς δέχεται τη θερμότητα από όλη την υπόλοιπη περιοχή ή τη φωτιά που βρίσκεται πίσω από αυτό (Εικόνα 2). Η αύξηση του ύψους της φλόγας προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της κίνησης των αερίων ρευμάτων, στην περιοχή μπροστά από το μέτωπο, γεγονός που κάνει την αντίδραση της καύσης εκεί περισσότερο έντονη. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται διαρκώς, κατά την εξάπλωση της πυρκαγιάς προς τα ανάντη, με αποτέλεσμα η ταχύτητα να αυξάνει διαρκώς, επηρεαζόμενη βέβαια σε κάποιο βαθμό και από την ομοιομορφία της κατανομής του καυσίμου, στο στρώμα στο οποίο εξαπλώνεται.

Οι παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι, όταν φτάσει η πυρκαγιά στη φάση της έκρηξης -σε συνθήκες ελάχιστης κλίσης και απουσίας ανέμου- μπορεί η ταχύτητα διάδοσής της να πολλαπλασιαστεί ακόμη και 100 φορές. Αυτό σημαίνει ότι



Εικ. 3: Ο κόκκινος κύκλος, στην αριστερή εικόνα, δείχνει την περιοχή που σημειώθηκε το ατύχημα στο Rattlesnake. Η εικόνα δεξιά δείχνει με κόκκινο-καφέ χρώμα την περιοχή που το μοντέλο προσδιόρισε σαν υψηλού κινδύνου για έκρηξη της πυρκαγιάς.



Εικ. 4: Στην εικόνα **α** βλέπουμε την εξάπλωση της πυρκαγιάς στο φαράγγι Cramer, ενώ στην εικόνα **β** φαίνεται η σχέση της ταχύτητας της πυρκαγιάς (μαύρες στιγμές) με την αντίστοιχη εκτίμηση του μοντέλου του Viegas, για το ίδιο διάστημα (καμπύλη).

η πυρκαγιά μπορεί ξαφνικά να κινηθεί με εκατονταπλάσια ταχύτητα από την παρατηρούμενη μέχρι εκείνη τη στιγμή, ένα δυναμικό το οποίο είναι εκτός ελέγχου οποιοδήποτε μηχανισμού καταστολής και το οποίο εκμηδενίζει κάθε μέτρο ασφάλειας. Στη φάση της έκρηξης, η μεταφορά της θερμότητας με τις αέριες μάζες που δημιουργεί η πυρκαγιά, προκαλεί ξαφνικά ισχυρούς ανέμους, που εκδηλώνονται με ένα χαρακτηριστικό υπόκωφο θόρυβο, ο οποίος είναι αρκετά γνώριμος στους δασοπυροσβέστες.

Ο θόρυβος αυτός συνδυάζεται, πολλές φορές, λανθασμένα, με περίεργα ατμοσφαιρικά φαινόμενα, που θεωρείται ότι προκαλούν την έκρηξη της πυρκαγιάς. Η αλήθεια είναι, βέβαια, ότι η πυρκαγιά δημιουργεί η ίδια τις συνθήκες, που οδηγούν στην εκρηκτική συμπεριφορά της, ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν γύρω της. Με την προϋπόθεση ύπαρξης ομοιόμορφα κατανεμημένης βλάστησης, η πυρκαγιά εξαπλώνεται σε μια πλαγιά, όπως περιγράφηκε παραπάνω, μέχρι να φτάσει σε έκρηξη, ανεξάρτητα από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Όσο πιο απότομη είναι η πλαγιά ή όσο πιο στενή είναι μια χαράδρα, τόσο πιο γρήγορα θα φτάσει η πυρκαγιά στη φάση της έκρηξης. Εάν η πλαγιά δεν είναι αρκετά απότομη ή δεν έχει ικανό μήκος, μπορεί να καεί ολόκληρη, χωρίς η πυρκαγιά να φτάσει σε σημείο ξεσπάσματος. Σε περιπτώσεις μεγάλων κλίσεων, δηλαδή πάνω από 30° (58%), η έκρηξη της πυρκαγιάς μπορεί να παρατηρηθεί στα πρώτα μόλις λεπτά της εξάπλωσης (Viegas 2006).

Το μοντέλο του ADAI εστιάζεται σε χρονικές εκτιμήσεις για τον προσδιορισμό του χρονικού σημείου, στο οποίο η πυρκαγιά θα φτάσει στη φάση της έκρηξης, ανάλογα με το τοπίο και τον τύπο του καυσίμου. Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι η πυρκαγιά μπορεί να φτάσει στη φάση του ξεσπάσματος σε 5-10 λεπτά, στην περίπτωση που καίει πλώδη βλάστηση, ενώ στην περίπτωση θάμνων και φρυγάνων χρειάζεται αντίστοιχα 20-30 λεπτά, με την προϋπόθεση ότι όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν αμετάβλητες. Φαίνεται, λοιπόν, από τις παρατηρήσεις ότι, εκτός της τοπογραφίας, ο τύπος καυσίμου είναι

σημαντικός για τον προσδιορισμό του χρόνου της έκρηξης.

Το μοντέλο που έχει αναπτυχθεί από το ADAI, ερμηνεύει και τυποποιεί την εκρηκτική συμπεριφορά της πυρκαγιάς, με απόλυτα τεκμηριωμένο τρόπο. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση πολλών επεισοδίων εκρηκτικής συμπεριφοράς πυρκαγιών, στις Η.Π.Α. Οι αμερικανικές υπηρεσίες δίνουν μεγάλη σημασία και προτεραιότητα στα θέματα ασφάλειας, κατά τη δασοπυροσβεση. Συλλέγουν, διατηρούν και δημοσιεύουν στοιχεία για τις συνθήκες των πυροσβεστικών επιχειρήσεων, προσπαθώντας να κεφαλαιοποιήσουν σε γνώση τα ατυχήματα, που είναι φυσικό να συμβαίνουν.

Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης του μοντέλου του ADAI στην ανάλυση της έκρηξης της πυρκαγιάς του Rattlesnake, στο δημόσιο δάσος του Mendocino στην Καλιφόρνια, τον Ιούλιο του 1953, που έγινε από την Ομάδα Ανάλυσης Επιχειρησιακών Υπηρεσιών της Αμερικανικής Δασικής Υπηρεσίας (Fites 2006), φαίνεται στην Εικόνα 3.

Αντίστοιχο παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου στην έκρηξη της πυρκαγιάς στο φαράγγι Cramer, όπου έχασαν τη ζωή τους δύο δασοπυροσβέστες, 50 χρόνια αργότερα (Ιούλιος 2003), φαίνεται στην Εικόνα 4.

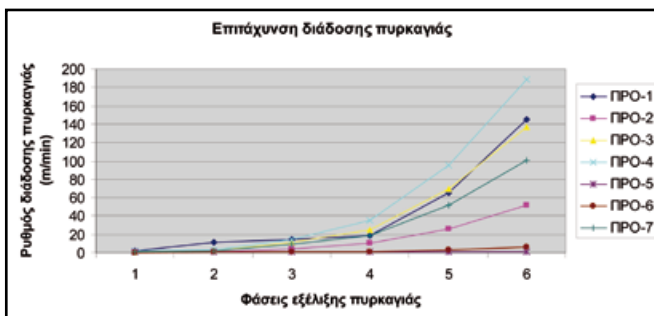
Η αφυδάτωση της ζωντανής βλάστησης

Ένας βασικός παράγοντας, που καθορίζει τη μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης της πυρκαγιάς στο χρόνο, είναι η αφυδάτωση της ζωντανής βλάστησης μπροστά από το μέτωπο, λόγω της μεταφοράς θερμών αέριων μαζών, που δημιουργούνται στη ζώνη της καύσης. Οι μάζες αυτές είτε με τη βοήθεια της κλίσης της πλαγιάς είτε με τον άνεμο, που δημιουργεί η καύση, περιβάλλουν μία μεγάλη έκταση μπροστά από το ενεργό μέτωπο και μειώνουν την περιεχόμενη υγρασία στη ζωντανή καύσιμη ύλη, επιταχύνοντας την κίνηση του μετώπου.

Ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς καθορίζεται από τα λεπτά καύσιμα, αλλά επίσης από την περιεχόμενη υγρασία στα ζωντανά καύσιμα. Η ζωντανή βλάστηση είναι αυτή η οποία καθυστερεί την εξάπλωση της πυρκαγιάς, καταναλώνοντας μεγάλο μέρος της εκλυόμενης από την πυρκαγιά θερμότητας για την εξάτμιση της υψηλής υγρασίας, που περιέχεται στην κόμη των δέντρων και θάμνων. Η μεταφορά των θερμών αέριων μαζών από τη ζώνη της καύσης, στην περιοχή μπροστά από το μέτωπο, μειώνει σταδιακά την περιεχόμενη υγρασία της ζωντανής βλάστησης από τα υψηλά ποσοστά του 70-90% σε μερικά εκατοστά, ξεραίνοντάς τη τελείως.

Προσομοιώνοντας την εξέλιξη της πυρκαγιάς με το λογισμικό GR-BEHAVE και την τυπολογία δασικών καυσίμων PROMH-ΘΕΑΣ (Riano και άλλοι 2002) κάτω από αντίστοιχες συνθήκες, η ομάδα της ΑΛΓΟΣΥΣΤΕΜΣ παρατήρησε ότι η ταχύτητα διάδοσης, λόγω της μείωσης της υγρασίας της ζωντανής βλάστησης, πολλαπλασιάζεται σημαντικά, όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα (Εικόνα 5). Η προσομοίωση έγινε με κλίση περιοχής 10% και απουσία ανέμου. Λήφθηκε υπ' όψιν μόνο το ρεύμα, που δημιουργεί η ίδια η πυρκαγιά.

Η τυπολογία δασικών καυσίμων PROMHΘΕΑΣ αντιστοιχεί σε χορτολίβαδα και αγρούς (1), φρύγανα (2), χαμηλούς (3) και ψηλούς (4) θάμνους, συστάδες χωρίς υπόροφο (5), συ-



Εικ. 5: Η πυρκαγιά επιταχύνεται στον ίδιο τύπο καυσίμου με το χρόνο (φάση της πυρκαγιάς).

στάδες με μέτριο υπόροφο (6), συστάδες με ψηλό και πυκνό υπόροφο (7).

Είναι, λοιπόν, φανερό ότι η ταχύτητα εξάπλωσης (στο ίδιο καύσιμο και στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος) επιταχύνεται συνεχώς, επειδή όσο περνάει η ώρα, τόσο περισσότερο αφυδατώνεται η ζωντανή βλάστηση στην κατεύθυνση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς, λόγω της επίδρασης των θερμών αερίων μαζών που την περιβάλλει. Έκρηξη παρατηρείται στα καύσιμα, όπου υπάρχει συμμετοχή της ζωντανής βλάστησης στο στρώμα του καυσίμου.

Η προσέγγιση των φάσεων συμπεριφοράς στη χρονική εξέλιξη της πυρκαγιάς ενσωματώνει τη διάσταση της μεταφοράς της θερμότητας με τις θερμές αέριες μάζες και σε συνδυασμό με το μοντέλο του Rothermel, το οποίο αναπαριστά τη μεταφορά της θερμότητας με ακτινοβολία, είναι δυνατό να έχουμε μία ένδειξη για τη δυναμική της πυρκαγιάς. Η κάθε φάση της πυρκαγιάς ορίζεται από ένα σταδιακά μεταβαλλόμενο σετ παραμέτρων υγρασίας, στο στρώμα του καυσίμου. Οι φάσεις αυτές αφορούν τις αρχικές συνθήκες, την αφυδάτωση της νεκρής καύσιμης ύλης πολύ μικρών έως μετρίων διαστάσεων, την αφυδάτωση της ζωντανής βλάστησης, τη φάση αυτανάφλεξης και την έκρηξη της πυρκαγιάς. Ο χρόνος της κάθε φάσης δεν είναι ορισμένος και καθορίζεται από ένα σύνολο παραγόντων, με κυρίαρχους την πορεία της πυρκαγιάς, την τοπογραφία και τον τύπο του καυσίμου.

Παράλληλα με την ταχύτητα, η θερμική ένταση της πυρκαγιάς αυξάνεται με τις φάσεις εξέλιξης της πυρκαγιάς και οδηγείται σε παράλληλη έκρηξη. Στο επόμενο διάγραμμα (Εικόνα 6), φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εξέλιξης της θερμικής έντασης μιας πυρκαγιάς, για τα καύσιμα της τυπολογίας PROMHΘΕΑΣ.

Επειδή η κλίση της περιοχής επηρεάζει τη θερμική ένταση της πυρκαγιάς περισσότερο από την ταχύτητα του ανέμου, η έκρηξη της έντασης είναι αναλογικά ισχυρότερη από εκείνη της ταχύτητας.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, εάν η περιεχόμενη στη ζωντανή καύσιμη ύλη υγρασία μειωθεί απότομα, τότε η διάδοση της πυρκαγιάς παρουσιάζει ένα ξέσπασμα, διανύοντας μεγάλη απόσταση σε μηδενικό σχεδόν χρόνο. Τέτοιες περιπτώσεις παρατηρούνται, όταν η πυρκαγιά εξαπλώνεται από μικρότερη σε μεγαλύτερη κλίση, ακόμη και χωρίς άνεμο, στον ίδιο τύπο καυσίμου ή όταν η πυρκαγιά αλλάζει καύσιμο, κινούμενη από ένα αργό (π.χ. ψηλοί θάμνοι) σε ένα γρήγορο (π.χ. χόρτα) τύπο. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των καταστάσεων (κλίσεις, καύσιμα κ.λπ.), τόσο εντονότερη είναι η αλλαγή της συμπεριφοράς και τόσο πιο γρήγορα φτάνει η πυρκαγιά στο ξέσπασμα.

Η έκταση της περιοχής, η οποία υποβάλλεται κάθε στιγμή της πυρκαγιάς, σε στρες εξάτμισης, καθώς και ο ρυθμός απώλειας υγρασίας από τα ζωντανά καύσιμα καθορίζει την έκταση και την ένταση του ξεσπασματος της πυρκαγιάς.

Η αφυδάτωση μετατρέπει τη ζωντανή βλάστηση σε νεκρή καύσιμη ύλη, πολλαπλασιάζοντας το φορτίο της νεκρής βιομάζας μικρών διαστάσεων. Αυτό το γεγονός, διαφοροποιεί τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, προκαλώντας εντελώς διαφορετική συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Πρακτικές συνέπειες

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, δεν είναι δύσκολο να αντιληφθούμε τη σχέση πολλών ατυχημάτων με την εκρηκτική συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Ιδιαίτερα όταν αυτή εκδηλώνεται στο αρχικό στάδιο της πυρκαγιάς ή κάτω από μετεωρολογικές και τοπογραφικές συνθήκες που δεν προϋποθέτουν για αλλαγή της συμπεριφοράς της (π.χ. επίπεδες περιοχές, άπνοια κ.λπ.), ο κίνδυνος είναι πολύ σοβαρός. Ακόμη και έμπειροι δασοπυροσβέστες είναι πιθανόν να παρασυρθούν σε λάθος εκτιμήσεις, κάτω από τέτοιες συνθήκες.

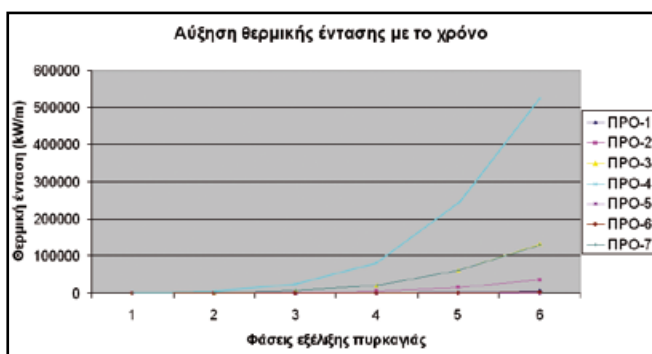
Όταν ένα πεζοπόρο τμήμα φτάνει να κατασβήσει μια πυρκαγιά στους πρόποδες μιας πλαγιάς, η αργή διάδοση της πυρκαγιάς μπορεί να δημιουργήσει την εντύπωση ότι ο έλεγχος θα είναι εύκολος. Χτυπώντας τη φωτιά από πίσω, οι δασοπυροσβέστες συνήθως την ακολουθούν στην πλαγιά, όπου εξαπλώνεται, προσπαθώντας να την περιορίσουν με πλευρική κατάσβεση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αποφασίζεται να βγουν οι δασοπυροσβέστες μπροστά από το μέτωπο σε δρόμους ή κορυφές, δηλαδή σε σημεία που διευκολύνουν τον έλεγχο και την κατάσβεση, για να ανακόψουν την εξάπλωση του μετώπου. Εάν η κίνηση αυτή πραγματοποιηθεί πριν η πυρκαγιά φτάσει στη φάση της έκρηξης της συμπεριφοράς της, οι συνέπειες μπορεί να είναι μοιραίες (Viegas 2006). Η έκρηξη της πυρκαγιάς μπορεί όχι μόνο να αιφνιδιάσει και να εγκλωβίσει τους δασοπυροσβέστες, αλλά να κάνει τη συμπεριφορά της για κάποιο χρονικό διάστημα εντελώς ανεξέλεγκτη από οποιοδήποτε καταστατικό μηχανισμό. Πυρκαγιές με φλόγες πάνω από 20μ. ή ένταση πάνω από 4.000 Kw/m δεν είναι αντιμετωπίσιμες. Τα χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς, στη φάση της έκρηξης, έχουν τιμές υπερπολλαπλασίες. Για το λόγο αυτό, ο επιχειρησιακός σχεδιασμός της καταστολής,



στους πρόποδες ορεινών ή λοφωδών περιοχών, θα πρέπει να γίνεται πάντοτε με εμπειριστατωμένη εκτίμηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στο χρόνο και τήρηση των κανόνων ασφαλείας. Οι προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρώνονται στον έγκαιρο έλεγχο και την κατάσβεση της πυρκαγιάς, πριν αυτή επεκταθεί στους πρόποδες.

Είναι βασικός κανόνας ασφαλείας, να μη γίνεται πυρόσβεση στη μέση της πλαγιάς από πεζοπόρα τμήματα, εάν υπάρχει χαμηλότερα ενεργή πυρκαγιά και ειδικά στην περίπτωση, που μεσολαβεί συνεχές στρώμα καυσίμων ανάμεσα στο μέτωπο και τη θέση που επιχειρούν οι δυνάμεις. Η διάταξη επίγειων δυνάμεων, εξοπλισμού και υλικών, στα ανάντη ενός εξελισσόμενου μετώπου, ενέχει πάντοτε σοβαρούς κινδύνους και θα πρέπει να γίνεται μόνο εάν συντρέχουν σοβαροί και ουσιαστικοί λόγοι. Αυτό ισχύει ακόμη και αν η διάταξη αυτή γίνεται σε κορυφογραμμές ή πλατώματα πάνω από το εξελισσόμενο μέτωπο. Το ξέσπασμα της πυρκαγιάς παράγει ζεστά αέρια και ροή θερμότητας, που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη ζωή και την υγεία των πυροσβεστών. Ακόμη και καθαρισμένες ζώνες μεγάλου πλάτους, όπως οι αντιπυρικές λωρίδες, δεν μπορούν να εγγυηθούν ασφαλή παραμονή, καθώς δεν εξασφαλίζουν προστασία από την εισπνοή θερμών αερίων. Έτσι θα πρέπει να γίνεται εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, στην περιοχή που επιχειρούν οι δυνάμεις πυρόσβεσης και να δίνονται οι κατάλληλες οδηγίες στο προσωπικό, ώστε να τηρούνται οι απαραίτητοι κανόνες ασφαλείας της δασοπυρόσβεσης. Οι επιτελείς θα πρέπει να επιλέγουν τακτικές και πρακτικές, που να μην επιτρέπουν την έκθεση του προσωπικού στην κίνηση του μετώπου της πυρκαγιάς, στο μέσον της πλαγιάς. Προφανώς, η εκπαίδευση των δασοπυροσβεστών σε θέματα ασφαλείας μπορεί να βοηθήσει στη σωστή και αποτελεσματική εφαρμογή των σχετικών οδηγιών.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται σε υποδομές, οι οποίες λει-



Εικ. 6: Έκρηξη της θερμικής έντασης της πυρκαγιάς σε συνάρτηση με το χρόνο.

τουργούν σε ψηλά σημεία ή κορυφές, όπως πυροφυλάκια, πυλώνες τηλεπικοινωνιών, ανεμογεννήτριες κ.λπ. Οι υποδομές αυτές είναι συχνά εκτεθειμένες στην εκρηκτική συμπεριφορά των πυρκαγιών, λόγω της θέσης τους. Σε περίπτωση που η

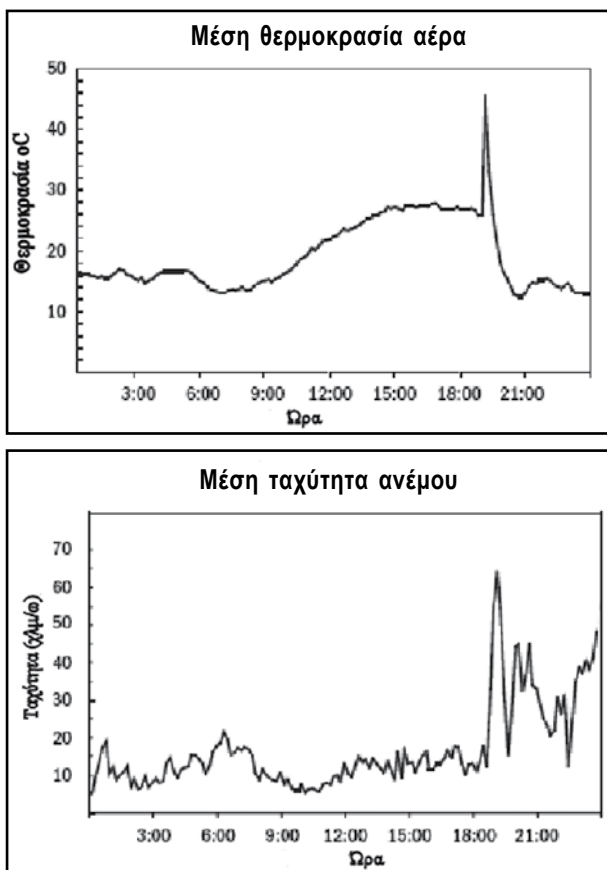
λειτουργία τους προϋποθέτει ανθρώπινη παρουσία, θα πρέπει το προσωπικό τους να απομακρύνεται, εφόσον υπάρχει ενεργή πυρκαγιά, στις πλαγιές της κορυφής που είναι εγκατεστημένες. Σημαντικός είναι, επίσης, ο κίνδυνος για κατοικίες και κατασκευές τοποθετημένες στα ψηλότερα σημεία δασωμένων πλαγιών, με μεγάλο μήκος κλίσης ή στις κορυφές ορεινών ρεμάτων.

Μια περίπτωση με θύματα στην Πορτογαλία

Στις 5 Αυγούστου του 2003, ένα ζευγάρι δασοκλήμονες, στη Βόρεια Πορτογαλία, έχασαν τη ζωή τους εξ' αιτίας της έκρηξης στη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς, σε μικρή απόσταση από την πόλη Freixo-de-Espada-a-Cinta, κοντά στα σύνορα με την Ισπανία. Η τοπογραφία της περιοχής, όπου συνέβη το ατύχημα (Εικόνα 6), είναι ένα μεγάλο φαράγγι πάνω από τον ποταμό Douro. Η φωτιά ξεκίνησε στις 14.30' και παρά τις δύσκολες καιρικές συνθήκες, οι δασοπυροσβέστες κατάφεραν γρήγορα να την ελέγξουν. Η προσπάθεια κατάσβεσης είχε στόχο να περιοριστεί η επέκταση της φωτιάς προς τα ανάντη της πλαγιάς και να πιεστεί η εξάπλωσή της προς την κοίτη του ποταμού, ώστε να σβήσει. Στις 17:00', η φωτιά θεωρητικά είχε τεθεί υπό πλήρη έλεγχο, εκτός από ένα πολύ μικρό μέτωπο μήκους μικρότερου από 30μ., κοντά στη βάση μιας διπλής χαράδρας, όπου σημειώθηκε αργότερα το θανατηφόρο ατύχημα.

Οι δύο δασοκλήμονες έφυγαν από το σπίτι τους με το αυτοκίνητό τους, λίγο πριν από τις 18:00' και πήγαν στο δασόκτημά τους, που βρισκόταν στις πλαγιές του φαραγγιού, για να διαπιστώσουν αν απειλείται από την εξέλιξη της φωτιάς. Βρίσκονταν σε απόσταση περίπου δύο χιλιομέτρων από το μικρό μέτωπο στην είσοδο του φαραγγιού, το οποίο δεν μπορούσαν να δουν λόγω της τοπογραφίας. Αισθάνονταν ασφαλείς, καθώς η φωτιά είχε δηλωθεί υπό έλεγχο και δεν είχαν οπτική επαφή με το μέτωπο. Άφησαν το αυτοκίνητό τους στο δρόμο πάνω από το φαράγγι και κατέβηκαν με τα πόδια, να κάνουν ένα γρήγορο έλεγχο σε μία συστάδα του κτήματος. Γρήγορα ξανανέβηκαν την πλαγιά, για να πάνε στη θέση που είχαν αφήσει το αυτοκίνητό τους. Η έκρηξη της πυρκαγιάς, όμως, τους πρόλαβε πριν φτάσουν εκεί. Η φωτιά που έκαιγε για 20 περίπου λεπτά, στην είσοδο του φαραγγιού, εξελίχθηκε ξαφνικά σε ένα κύμα από φλόγες, που εξαπλώθηκε από τους πρόποδες στην κορυφή της πλαγιάς, σε ελάχιστο χρονικό διάστημα. Το κύμα αυτό εγκλώβισε το ζευγάρι των δασοκτημόνων και προκάλεσε το θάνατό τους από ασφυξία, ενώ τυχαίο ήταν το γεγονός ότι δεν υπήρξαν άλλα θύματα ανάμεσα στους δασοπυροσβέστες, που βρίσκονταν στην περιοχή (Viegas 2006).

Στην κορυφή του λόφου υπήρχε ένας αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (Α.Μ.Σ.), ο οποίος έπαθε ζημιά από την πυρκαγιά, τα στοιχεία του, όμως, σώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαραγωγή της συμπεριφοράς της φωτιάς. Τα στοιχεία της θερμοκρασίας και του ανέμου, που κατέγραψε



Εικ. 7: Μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρα (αριστερά) και ταχύτητας ανέμου (δεξιά), που καταγράφηκαν στις 5/8/2003 από τον ΑΜΣ του Freixo-de-Espada-a-Cinta. Είναι εμφανής η έκρηξη της πυρκαγιάς στις 18.30'.

ο σταθμός, φαίνονται στην Εικόνα 7. Είναι χαρακτηριστική η απότομη διαφοροποίηση των τιμών στο διάστημα της έκρηξης της πυρκαγιάς.

Οι τιμές στο διάγραμμα της Εικόνας 7 είναι μέσοι όροι 10λεπτων μετρήσεων, όπως καταγράφηκαν στον καταχωρητή δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού. Στις 18:30', η θερμοκρασία ανέβηκε ξαφνικά και έφτασε, μέσα σε διάστημα δύο διαδοχικών 10λέπτων από 23° C σε 58° C (μέση τιμή 10λέπτου). Οποιοσδήποτε άνθρωπος εκτεθεί σε αέρια τέτοιων θερμοκρασιών για αντίστοιχο χρονικό διάστημα, δεν είναι δυνατό να επιζήσει. Στο ίδιο διάστημα, η ταχύτητα του ανέμου αυξήθηκε από 15 km/h σε 65 km/h (μέση τιμή), ενώ καταγράφηκαν ταχύτητες μέχρι και 96km/h, που έκαναν την ταχύτητα διάδοσης της πυρκαγιάς αστραπιαία, σε συνδυασμό με τις μεγάλες ποσότητες της αποξηραμένης βλάστησης.

Τα παραπάνω δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της εκρηκτικής συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, με τη χρήση του μοντέλου του Α.Δ.Α.Ι. και τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 8.

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν τη δυναμική της εξέλιξης της πυρκαγιάς, αλλά και την ικανότητα του μοντέλου να εκτιμήσει την απότομη αύξηση στην ταχύτητα της πυρκαγιάς, μετά την έκρηξη. Η φάση της έκρηξης εκτιμήθηκε από το μοντέλο

ότι ξεκίνησε 240' μετά την έναρξη της πυρκαγιάς, δηλαδή στις 18:30'. Η εκτίμηση αυτή ταυτίζεται με τις καταγραφές του Μετεωρολογικού Σταθμού του Freixo-de-Espada-a-Cinta.

Συμπεράσματα

Ανάμεσα σε διάφορες περιπτώσεις ακραίας συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών, η έκρηξη της πυρκαγιάς είναι, ίσως, η πλέον επικίνδυνη. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός, ότι η έκρηξη εκδηλώνεται απότομα και χωρίς να υπάρχει κάποια προηγούμενη ένδειξη για την αλλαγή της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Τα ατυχήματα που προκαλούνται από την έκρηξη στη συμπεριφορά της φωτιάς, έχουν κοινά χαρακτηριστικά, που θα πρέπει οι επιτελείς της δασοπυρόσβεσης να αξιολογούν κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων. Ο ορισμός Υπευθύνου Ασφαλείας, σε μεγάλες πυρκαγιές, αποτελεί βασικό στοιχείο του σχεδιασμού της δασοπυρόσβεσης, σε όλους τους σύγχρονους οργανισμούς.

Έχει διαπιστωθεί ότι, τις περισσότερες φορές που συμβαίνουν τέτοια ατυχήματα, πολύ πριν συμβεί το μοιραίο, παρατηρείται ελλιπής συντονισμός, αδυναμία εφαρμογής του επιχειρησιακού σχεδιασμού ή αδυναμία προσαρμογής στις απαιτήσεις ασφαλείας, που συνδέονται με την αύξηση του μεγέθους της πυρκαγιάς. Τα ατυχήματα, συνήθως, συμβαίνουν σε ελαφρά καύσιμα (χόρτα, φρύγανα, θάμνοι), κλειστές ή μεγάλου μήκους χαράδρες και σε περιπτώσεις αλλαγής της διεύθυνσης του ανέμου. Αυτοί οι παράγοντες θα πρέπει πάντοτε να ελέγχονται κατά το σχεδιασμό των επιχειρήσεων, για να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή ασφάλεια. Τα πιο πολλά ατυχήματα, που σχετίζονται με την έκρηξη της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, συμβαίνουν σε μικρά σχετικά επεισόδια ή σε απομονωμένους τομείς μεγάλων πυρκαγιών και όχι στο κυρίως μέτωπο.

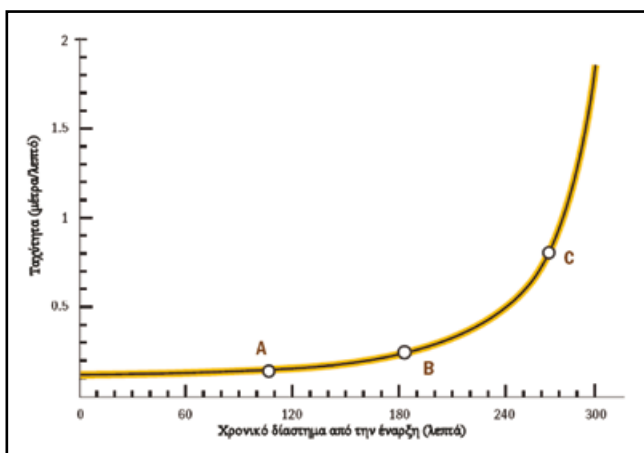
Η εφαρμογή κατάσβεσης μέσης πλαγιάς θα πρέπει να αποφεύγεται σε περιπτώσεις που εκτιμάται πιθανή εκδήλωση ακραίας συμπεριφοράς ή έκρηξη της πυρκαγιάς. Το προσωπικό θα πρέπει να ενημερώνεται άμεσα για την επικινδυνότητα και το ενδεχόμενο ακραίας συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.

Θα πρέπει, επίσης, να προσεχθεί η έκθεση των δασοπυροσβεστών στο μονοξείδιο του άνθρακα. Η επίδραση του μονοξειδίου στον ανθρώπινο οργανισμό είναι αθροιστική. Αυξημένες συγκεντρώσεις επηρεάζουν την ετοιμότητα, την κρίση, την όραση και την εγρήγορση των δασοπυροσβεστών. Αυτό, τους κάνει ακόμη περισσότερο ευάλωτους στην εκρηκτική συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Το ξέσπασμα της πυρκαγιάς είναι ένα φαινόμενο, στο οποίο καταλυτικό ρόλο παίζει η τοπογραφία της περιοχής. Για να φτάσει η πυρκαγιά στη φάση της έκρηξης απαιτείται να κινηθεί ανοδικά σε μια πλαγιά με ικανό μήκος, ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες, που θα οδηγήσουν στην εκδήλωση της εκρηκτικής συμπεριφοράς. Αυτό σημαίνει ότι πυρκαγιές, που ξεκινούν από τους πρόποδες μιας πλαγιάς με σημαντικό μήκος και ομοιόμορφη βλάστηση, έχουν μεγάλες



Εικόνα 8. Η περιοχή όπου σημειώθηκε το ατύχημα στο Freixo-de-Espada-a-Cinta (αριστερά) και αναπαραγωγή της ταχύτητας εξάπλωσης της πυρκαγιάς με το μοντέλο του ADAI (δεξιά). Σαν αρχή της χρονικής κλίμακας του διαγράμματος, χρησιμοποιήθηκε ο χρόνος εκδήλωσης της έκρηξης της πυρκαγιάς (14.30').



πιθανότητες να φτάσουν στη φάση της έκρηξης. Η συχνότητα τέτοιων επεισοδίων αυξάνεται σε περιόδους μετά από καύσωνα και εφόσον η βλάστηση είναι ιδιαίτερα αφυδατωμένη μετά από μεγάλη περίοδο ξηρασίας.

Οι παραπάνω συνθήκες επιταχύνουν την κίνηση της πυρκαγιάς, καθώς συμβάλλουν με την πάροδο της ώρας στη μείωση της υγρασίας της ζωντανής βλάστησης μπροστά από το μέτωπο, την αύξηση της ποσότητας της νεκρής καύσιμης ύλης λεπτών διαστάσεων και την ενίσχυση του ανέμου, με τη συμβολή ρευμάτων που δημιουργεί η καύση.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο άρθρο αυτό, η εκρηκτική συμπεριφορά της πυρκαγιάς μπορεί να προβλεφθεί. Εν τούτοις, παρόμοιες καταστάσεις εξακολουθούν να αιφνιδιάζουν ακόμη και έμπειρο προσωπικό δασοφυλάκων και θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην εκπαίδευση του προσωπικού σε θέματα συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, με στόχο την πρόληψη καταστάσεων που θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή και υγεία.

Το μοντέλο του ADAI και οι άλλες προσεγγίσεις που παρουσιάστηκαν στο άρθρο αυτό για την εκτίμηση της φάσης έκρηξης της πυρκαγιάς, μπορεί να χρησιμοποιηθούν επιχειρησιακά, για την υποστήριξη του σχεδιασμού και την οργάνωση της καταστολής. Παρόλα αυτά, η τελική αξιολόγηση της πιθανότητας εκδήλωσης ακραίας συμπεριφοράς της πυρκαγιάς και οι σχετικές αποφάσεις θα πρέπει να λαμβάνονται επί τόπου από τους συντονιστές της δασοφυλάκων, με βάση την εμπειρία και τις αρμοδιότητές τους.

Το μοντέλο του ADAI μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο, επίσης, για την αναπαραγωγή και την αξιολόγηση των συνθηκών που επικρατούν σε επεισόδια έκρηξης της πυρκαγιάς. Είναι, με άλλα λόγια, ένα εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει στην εκπαίδευση των δασοφυλάκων, σε θέματα ασφαλείας και να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και εξέταση περιπτώσεων ζημιών και ατυχημάτων, που συνδέονται με την ακραία συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Βιβλιογραφία

- Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system—Burn subsystem, Part I. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-194.
- Andrews, P.L., και C.H. Chase. 1989. BEHAVE: Fire behavior and prediction modeling System—Burn subsystem, Part II. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-260.
- Ferlay-Ferrand, V., Picard, C., Prim, C. 2005. Approche toxicologique des fumées de feux de forêts, <http://www.urgence-pratique.com/2articles/medic/art-medical-4.htm>.
- Fites, J.A. 2006. Fire Blow-Up modeling: Implications for Situational Awareness and LCES. Adaptive Management Services Enterprise Team, USDA Forest Service.
- Mangan, R.J. 2007. Wildland Fire Fatalities in the United States: 1990-2006. Tech Report 0751-XXXX-MTDC, Missoula, Montana USA (in press, Final version available).
- David Riaño, Emilio Chuvieco, Javier Salas, Alicia Palacios-Orueta, και Aitor Bastarrika. 2002. Generation of fuel type maps from Landsat TM images and ancillary data in Mediterranean ecosystems. *Can. J. For. Res.* 32: 1301-1315. DOI: 10.1139/X02-052. 2002 NRC Canada.
- Vaz, G, André, J. C. S. και Viegas, D. X. 2004. Fire Spread Model For A Linear Front In A Horizontal Solid Porous Fuel Bed In Still Air. *Combustion Science And Technology*, Volume 176, Number 2, February 2004, Pp. 135-182(48).
- Viegas, D.X. και L.P. Pita 2004. Fire spread in canyons. *International Journal of Wildland Fire* 13(3) 253-274.
- Viegas D.X., Pita L.P., Ribeiro L.M. και Palheiro P. 2005. Eruptive Fire Behaviour in Past Fatal Accidents. In: Butler, B.W and Alexander, M.E. Eds. 2005. Eighth International Wildland Firefighter Safety Summit: Human Factors - 10 Years Later; April 26-28, 2005 Missoula, MT. The International Association of Wildland Fire, Hot Springs, SD.
- Viegas, D.X. 2006. Parametric study of an eruptive fire behaviour model. *International Journal of Wildland Fire* 15(2) 169-177.
- Viegas, D.X. 2006. Anatomy of a Blow-Up, *Wildfire Magazine* September/October 2006 http://wildfiremag.com/mag/anatomy_blowup/ - 39k.
- Xanthopoulos, G. 2007. Forest fire related deaths in Greece: confirming what we already know. In *Proceedings of "Wildfire 2007"*, Sevilla – Espana.

¹ Ο Domingos Xavier Viegas είναι Διευθυντής του Ινστιτούτου Έρευνας Αεροδυναμικών Εφαρμογών ADAI, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Coimbra, Πορτογαλία, xavier.viegas@dem.uc.pt

² Ο Γιώργος Ευτυχίδης είναι Δασολόγος, Υπεύθυνος στο Τμήμα Έρευνας και Ανάπτυξης της εταιρείας ΑΛΓΟΣΥΣΤΕΜΣ Α.Ε., geftihid@algosystems.gr