

# ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ “ΚΑΦΤΡΕΣ”

**Δρ. Γαβριήλ Ξανθόπουλος**

Υπουργείο Γεωργίας  
Γενική Γραμματεία Δασών  
και Φυσικού Περιβάλλοντος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μετάδοση των δασικών πυρκαγιών με κάφτρες είναι χαρακτηριστικό φαινόμενο των μεγάλων πυρκαγιών και αποτελεί ένα μεγάλο κίνδυνο για τις δασοπυροσβεστικές δυνάμεις. Η εμφάνιση του φαινομένου προϋποθέτει:

- α. Την ύπαρξη κατάλληλων φλεγόμενων τεμαχιδίων καύσιμης ύλης (καφτρών),*
- β. Την ύπαρξη δυνάμεων για τη μεταφορά τους και*
- γ. Την πιθανότητα να δημιουργηθούν νέες εστίες εκεί όπου εναποτίθενται οι κάφτρες.*

Μετάδοση με κάφτρες είναι δυνατή σε αποστάσεις που υπερβαίνουν τα 10 χιλιόμετρα σε ακραίες περιπτώσεις. Η εμφάνιση και η έκταση του φαινομένου διαφέρει μεταξύ δασικών τύπων και επηρεάζεται από την ένταση της φωτιάς, τα χαρακτηριστικά των καφτρών, τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες και την τοπογραφία.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου είναι ιδιαίτερα δύσκολη και κάτω από ακραίες συνθήκες ουσιαστικά αδύνατη. Προσπάθειες για αντιμετώπιση μιας τέτοιας πυρκαγιάς πρέπει να βασίζονται σε καλά σχεδιασμένη έμμεση προσβολή με σωστή αξιοποίηση μέσων όπως οι επινώτιοι πυροσβεστήρες, τα επιβραδυντικά υγρά μακράς διάρκειας και τα εναέρια μέσα σε ρόλο επιφυλακής και άμεσης επέμβασης στις νεοδημιουργούμενες εστίες.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τους τρεις βασικούς μηχανισμούς μετάδοσης της θερμότητας, επαγωγή θερμών αερίων, ακτινοβολία και επαφή, μόνο οι δύο πρώτοι παίζουν σημαντικό ρόλο στη μετάδοση των δασικών πυρκαγιών. Ο τρίτος δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα εξαιτίας της χαμηλής θερμοαγωγιμότητας των δασικών καυσίμων. Ένας τέταρτος όμως μηχανισμός, η μετάδοση με μικρά φλεγόμενα κομμάτια καύσιμης ύλης, τις λεγόμενες “κάφτρες”, αποτελεί ένα σημαντικό τρόπο μετάδοσης των πυρκαγιών που κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να αποκτήσει κυρίαρχο ρόλο στην εξέλιξή τους.

Μία νέα φωτιά που ανάβει από κάφτρα, μεταφραζόμενη από τον Αγγλικό όρο “spot fire” σαν “σημειακή φωτιά”, ορίζεται σαν μία “φωτιά που ανάβει έξω από την περίμετρο της κύριας πυρκαγιάς από σπινθήρες ή αναμμένα τεμάχια καύσιμης ύλης που μεταφέρονται από τον αέρα ή που κατακυλούν”. Οι σημειακές φωτιές είναι ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους που έχουν να αντιμετωπίσουν οι δασοπυροσβέστες. Κάτω από συνθήκες που ευνοούν τον τρόπο αυτό μετάδοσης ακόμη και σχετικά αργά κινούμενες πυρκαγιές είναι δυνατό να γίνουν επικίνδυνες και μάλιστα χωρίς προειδοποίηση καθώς μπορούν να υπερπηδήσουν και τις πλατύτερες αντιπυρικές ζώνες και να εγκλωβίσουν απλούς πολίτες και δασοπυροσβέστες. Η κατανόηση της λειτουργίας του μηχανισμού αυτού μετάδοσης της πυρκαγιάς μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη της πιθανότητας για εμφάνιση του φαινομένου και των διαστάσεών του, συμβάλλοντας έτσι στο να γίνει η δασοπυρόσβεση αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη.

## 2. Ανάλυση του μηχανισμού μετάδοσης πυρκαγιάς με κάφτρες

Η μετάδοση πυρκαγιάς με κάφτρες είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο φαινόμενο που η εμφάνιση και η έκτασή του εξαρτάται από την ύπαρξη τριών παραγόντων (Rothermel 1983):

- α. Την ύπαρξη κατάλληλων φλεγόμενων τεμαχιδίων καύσιμης ύλης (καφτρών),*
- β. Την ύπαρξη δυνάμεων για τη μεταφορά τους και*
- γ. Την πιθανότητα να δημιουργηθούν νέες εστίες εκεί όπου εναποτίθενται οι κάφτρες.*

## 2.1. Ύπαρξη κατάλληλων καφτρών

Σε κάθε δασική πυρκαγιά υπάρχουν χιλιάδες μικρά τεμαχίδια καύσιμης ύλης που μπορούν σε κάποιο βαθμό να λειτουργήσουν σαν κάφτρες. Αρχικά, οι σπίθες μπορούν να παίξουν αυτό τον ρόλο αλλά προφανώς μόνο για μικρές αποστάσεις καθώς έχουν μικρή "διάρκεια ζωής". Για μετάδοση πυρκαγιάς σε μεγάλες αποστάσεις οι κάφτρες πρέπει να έχουν κατάλληλα χαρακτηριστικά. Για να είναι ένα τεμαχίδιο καύσιμης ύλης κατάλληλο για να λειτουργήσει σαν κάφτρα πρέπει να είναι εύκολο να αποκολληθεί από την υπόλοιπη καύσιμη ύλη και να ανυψωθεί με τη δύναμη της επαγωγικής στήλης που δημιουργεί η πυρκαγιά. Αυτό εξαρτάται από τη θέση του στο χώρο (απόσταση από το έδαφος, ύπαρξη καιγόμενης ύλης κάτω από αυτό), τον τρόπο προσκόλλησής του στην υπόλοιπη δασική ύλη μεγάλων διαστάσεων (όσο ευκολότερη η προσκόλληση τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός από κάφτρες), αλλά και τα αεροδυναμικά του χαρακτηριστικά (υψηλός αεροδυναμικός συντελεστής). Ακόμη, το τεμαχίδιο πρέπει να είναι εύφλεκτο και αρκετά μεγάλο για να καίει για αρκετή ώρα ώστε να φθάσει αναμμένο στο έδαφος, ενώ παράλληλα πρέπει να είναι ελαφρύ (χαμηλό ειδικό βάρος) για να μεταφερθεί μακριά από τον άνεμο μόλις βγει από την άμεση άνωση της επαγωγικής στήλης της πυρκαγιάς.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι η πιθανότητα μετάδοσης με κάφτρες σε μεγάλες αποστάσεις διαφέρει ανάλογα με το δασικό τύπο εξαρτώμενη από την ευκολία δημιουργίας καφτρών και τα χαρακτηριστικά αυτών. Παραδειγματος χάρη, ο φλοιός ορισμένων ειδών ευκαλύπτου (*Eucalyptus* sp.) δημιουργεί ιδανικές κάφτρες: ευρίσκεται υψηλότερα από την παρεδάφια βλάστηση και νεκρή καύσιμη ύλη, ανάβει με ετοιμότητα, αποκολλάται εύκολα σε μεγάλα τμήματα που καίει για πολλή ώρα, έχει χαμηλό ειδικό βάρος και παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αντίσταση στον άνεμο (έχει υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή). Στις περίφημες μεγάλες πυρκαγιές της 16ης Φεβρουαρίου του 1983 στην Αυστραλία (*Ash Wednesday fires*) στις οποίες χάθηκαν εβδομήντα πέντε άτομα, εκατοντάδες χιλιάδες ζώα και καταστράφηκαν 2539 κατοικίες, παρατηρήθηκε μετάδοση με κάφτρες σε αποστάσεις μέχρι 10 χλμ. κάνοντας ουσιαστικά αδύνατη τη δασοπυρόσβεση όσο επικρατούσαν οι ακραίες καιρικές συνθήκες που προκάλεσαν τη θεομηνία (Dorgelo 1984).

Άλλη σημαντική πηγή καφτρών είναι τα νεκρά ιστάμενα δέντρα. Ο φλοιός αυτών των δένδρων είναι ξερός και αποκολλάται εύκολα. Επίσης τμήματα του κορμού (κορυφή, κλαδιά) σε προχωρημένη σήψη είναι ιδιαίτερα εύφλεκτα και έχουν χαμηλό ειδικό βάρος. Όλα αυτά γίνονται ιδανικές κάφτρες που μπορούν να μεταδώσουν την πυρκαγιά σε μεγάλες αποστάσεις ενώ παράλληλα όταν το ιστάμενο δένδρο ανάψει παράγει μεγάλο αριθμό από σπίθες που εύκολα δημιουργούν νέες εστίες σε μικρή απόσταση (Brown and Davis 1973).

Αξιίζει να σημειωθεί ότι οι πυρκαγιές που καίει στον υπόροφο σπάνια προκαλούν μετάδοση με κάφτρες σε σημαντική απόσταση. Ο ανώροφος αποτελεί εμπόδιο που σταματάει τις κάφτρες αλλά και δυσκολεύει τη δημιουργία ισχυρής επαγωγικής στήλης (Andrews and Chase 1989)

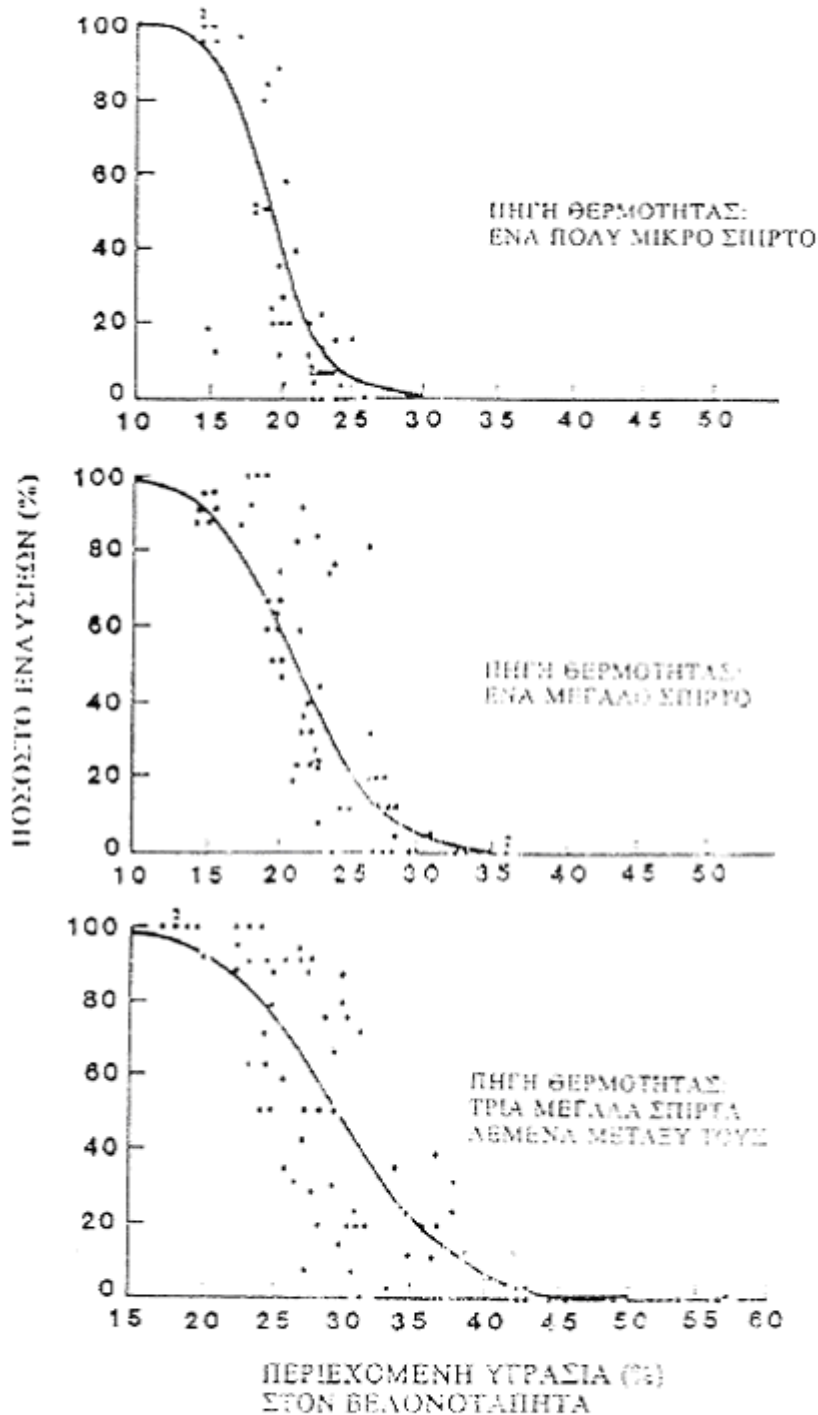
## 2.2. Απόσταση μεταφοράς καφτρών

Η μετάδοση της πυρκαγιάς με κάφτρες γίνεται σε απόσταση από το μέτωπο που ποικίλλει από μερικά μέτρα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα και περιγράφεται αντίστοιχα σαν μετάδοση μικρής (μερικές δεκάδες μέτρα) ή μεγάλης (εκατοντάδες ή και χιλιάδες μέτρα) εμβέλειας. Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ τους, εκτός από την ίδια την απόσταση μετάδοσης, είναι το εάν οι κάφτρες σηκώνονται υψηλά από την επαγωγική στήλη και μεταφέρονται σε σημεία πέρα από εκεί όπου θα βρίσκεται το μέτωπο της κυρίως πυρκαγιάς σε μερικά λεπτά. Η μετάδοση μικρής εμβέλειας γενικά δημιουργεί πολύ λιγότερα προβλήματα από ότι η μετάδοση σε μεγάλη απόσταση.

Η τροχιά που ακολουθεί μία κάφτρα και κατά συνέπεια η τελική απόσταση μετάδοσης εξαρτάται από πολλούς αλληλοεπηρεαζόμενους παράγοντες σημαντικότεροι των οποίων είναι:

- α. Η ένταση της φλόγας του μετώπου ( $\text{kW/m}$ ). Όσο μεγαλύτερη αυτή τόσο μεγαλύτερο το αρχικό ύψος στο οποίο μπορούν να μεταφερθούν οι κάφτρες. Για το δασοπυροσβεστή το μέσο μήκος συνεχούς φλόγας αποτελεί την καλύτερη ένδειξη αυτής της έντασης.
- β. Η ένταση, η φορά και τα χαρακτηριστικά του πεδίου του ανέμου. Όσο ισχυρότερος ο άνεμος τόσο μεγαλύτερη η απόσταση μεταφοράς για το ίδιο αρχικό ύψος.

- γ. Τα χαρακτηριστικά της κάφτρας (αεροδυναμικός συντελεστής, μέγεθος, βάρος). Ο συνδυασμός τους επηρεάζει τόσο το μέγιστο αρχικό ύψος όσο και το ρυθμό πτώσης καθώς μεταφέρεται από τον άνεμο.
- δ. Το ανάγλυφο. Ανάλογα με το πόσο απότομο είναι και σε συνάρτηση με τη θέση στην πλαγιά από όπου προέρχεται η κάφτρα (βάση πλαγιάς, μέση, κορυφή), επηρεάζει σημαντικά την τελική τροχιά της.



Σχήμα 1. Καμπύλες πιθανότητας έναυσης βελονοτάπητα πευκών από τρεχίς διαφορετικές πηγές θερμότητας σε συνάρτηση με την περιεχόμενη υγρασία στις βελόνες (από Blackman 1972).

### 2.3. Η πιθανότητα δημιουργίας νέων εστιών

Για να δημιουργηθεί μια νέα εστία στο σημείο όπου προσγειώνεται μία κάφτρα απαιτείται προφανώς να υπάρχει εκεί συνεχής νεκρή εύφλεκτη καύσιμη ύλη λεπτών διαστάσεων (ξερά χόρτα, βελόνες). Η αποτελεσματική όμως μεταφορά θερμότητας δεν είναι πάντα εξασφαλισμένη καθώς αυτό εξαρτάται από τον τρόπο και το ακριβές σημείο στο οποίο εναποτίθεται η κάφτρα. Η πιθανότητα Π(Ε) έναρξης καινούριας εστίας στο σημείο αυτό κυμαίνεται πάρα πολύ εξαρτώμενη από τους εξής παράγοντες:

- α. Τα χαρακτηριστικά της κάφτρας ως πηγής θερμότητας. Εδώ περιλαμβάνεται το μέγεθος της κάφτρας, από το οποίο εξαρτάται η διάρκεια καύσης αλλά και η ένταση της εκλυόμενης θερμότητας (σχήμα 1). Ο άνεμος μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της έκλυσης θερμότητας όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αναμμένων τσιγάρων.
- β. Την ευκολία έναυσης της καύσιμης ύλης. Η ζωντανή καύσιμη ύλη αλλά και η νεκρή καύσιμη ύλη μεγάλων διαστάσεων κατά κανόνα αναφλέγονται πολύ δύσκολα. Εξαιρεση αποτελούν οι νεκροί κατακείμενοι κορμοί που είναι σε κατάσταση προχωρημένης σήψης. Για τη νεκρή λεπτή καύσιμη ύλη (< 0,6 cm) κυρίαρχο ρόλο παίζει η περιεχόμενη σε αυτήν υγρασία. Επίσης σημαντική είναι η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης η οποία εξαρτάται από το βαθμό έκθεσης αυτής στις ακτίνες του ήλιου (ποσοστό σκίασης προερχόμενης από τον ανώροφο ή από την ύπαρξη νεφών) και τη θερμοκρασία του αέρα.

### 3. Μετάδοση με κάφτρες στις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η μετάδοση μεγάλης εμβέλειας είναι συνηθισμένο φαινόμενο στις πυρκαγιές δασών χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) ιδιαίτερα όταν υπάρχει πυκνός υπόροφος αειφύλλων πλατυφύλλων που η ανάφλεξη του προκαλεί ανάφλεξη και της κόμης των πεύκων ενώ παράλληλα δίνει την ενέργεια για τη δημιουργία ισχυρής επαγωγικής στήλης. Οι πιο συνηθισμένες κάφτρες είναι οι λεπτές άκρες των κλαδιών (2-3 mm) με τις βελόνες τους, φύλλα θάμνων και ιδιαίτερα αναρριχώμενων φυτών όπως ο αρκουδόβατος (*Smilax aspera*) και τμήματα από τους κώνους των πεύκων (κουκουνάρες). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η επικρατούσα σε ορισμένους αντίληψη ότι οι κώνοι εκρήγνυνται και εκτοξεύονται σε απόσταση εκατοντάδων μέτρων δεν δικαιολογείται από τη γνώση των φυσικών δυνάμεων που ενεργούν αλλά και από παρατηρήσεις στην πράξη (Καϊλίδης 1990). Οι κλειστοί κώνοι πράγματι ανοίγουν με τη θερμότητα της πυρκαγιάς απελευθερώνοντας τους σπόρους τους. Φλεγόμενα τμήματά τους ή και ολόκληροι κώνοι είναι δυνατό να αρπαχθούν από την επαγωγική στήλη χάρη στον υψηλό τους αεροδυναμικό συντελεστή και να γίνουν αποτελεσματικές κάφτρες μεταφέροντας την πυρκαγιά μερικές εκατοντάδες μέτρα. Ιδιαίτερα προβλήματα δημιουργεί η απόσπαση των κώνων από τα κλαδιά και η κύλισή τους με τη βαρύτητα προς τα κατάντη της πλαγιάς, όταν υπάρχει μεγάλη κλίση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το άναμμα νέας φωτιάς χαμηλά στο βάθος της χαράδρας η οποία με τη βοήθεια της κλίσης αρχίζει καινούρια εξάπλωση προς τα επάνω δημιουργώντας κίνδυνο για τους δασοπυροσβέστες. Εκτός από τους κώνους, κατακείμενοι κορμοί και κλαδιά μπορούν επίσης να κυλήσουν δημιουργώντας αντίστοιχα προβλήματα.

Μικρότερα είναι κατά κανόνα τα προβλήματα δημιουργίας νέων εστιών σε μεγάλη απόσταση σε πυρκαγιές αειφύλλων πλατυφύλλων χωρίς ανώροφο τόσο από μεταφορά κάφτρών με τον άνεμο όσο και από κύλιση φλεγόμενων τεμαχιδίων προς τα κατάντη.

### 4. Πρόβλεψη της μέγιστης απόστασης δημιουργίας νέων εστιών από κάφτρες

Η πρόβλεψη της μέγιστης απόστασης στην οποία είναι δυνατό να δημιουργηθούν νέες εστίες από κάφτρες μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στο σχεδιασμό αντιμετώπισης μεγάλων πυρκαγιών και τη μείωση των κινδύνων για τους δασοπυροσβέστες. Επίσης, η γνώση αυτή μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση για την πιθανή προέλευση μιας δεύτερης πυρκαγιάς (εμπρησμός ή μετάδοση με κάφτρα).

Η πρόβλεψη του βεληνεκούς που μπορούν να έχουν οι κάφτρες είναι οπωσδήποτε περίπλοκη. Τα υπάρχοντα μοντέλα για το σκοπό αυτό είναι λίγα, περίπλοκα και ατελή και τα δεδομένα που απαιτούνται είναι αρκετά. Το πιο ολοκληρωμένο βοήθημα που υπάρχει για το σκοπό αυτό είναι το σύστημα πρόβλεψης συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών

BEHAVE της Δασικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ και συγκεκριμένα το υποσύστημά του BURN-Part 2 (Andrews and Chase 1989). Στο υποσύστημα αυτό περιλαμβάνεται ένα πολύπλοκο μοντέλο υπολογισμού της δυνατής απόστασης μετάδοσης πυρκαγιάς με κάφτρες που προέρχονται από μεμονωμένα δέντρα (Albini 1979), καιγόμενους σωρούς δασικής καύσιμης ύλης (Albini 1981) αλλά και πυρκαγιές επιφανείας που οδηγούνται από τον άνεμο (Albini 1983). Στην εργασία του Albini έγιναν αρκετές απλοποιήσεις από τους Chase (1984) και Morris (1987) για την αποτελεσματική ενσωμάτωση του μοντέλου στο BEHAVE.

Ο πίνακας 1 παρουσιάζει ένα απλό μοντέλο υπολογισμού της μέγιστης δυνατής απόστασης μετάδοσης πυρκαγιάς βασισμένο στην ταχύτητα του ανέμου και στο χρόνο που χρειάζεται ένα τεμαχίδιο δασικής καύσιμης ύλης για να καεί. Ο χρόνος (t) αυτός σε δευτερόλεπτα δίνεται από τον τύπο (Anderson 1969):

$$t = 756 / \sigma$$

όπου:  $\sigma$  : ο λόγος επιφάνειας προς όγκο του τεμαχιδίου της καύσιμης ύλης εκφραζόμενος σε  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ .

Πίνακας 1. Εξάρτηση της μέγιστης δυνατής απόστασης μετάδοσης πυρκαγιάς με κάφτρες από τη διάμετρο των καφτρών και την ταχύτητα του ανέμου.

| ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ<br>ΚΑΦΤΡΑΣ<br>(mm) | $\sigma$<br>( $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ) | ΔΙΑΡΚΕΙΑ<br>ΚΑΥΣΗΣ<br>(sec) | ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (m) |         |         |         |                        |
|------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|------------------------|
|                              |   |                             | ΓΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ                   |         |         |         |                        |
|                              |   |                             | 10<br>2                               | 25<br>4 | 45<br>6 | 55<br>7 | 70 ΧΛΜ/ΩΡΑ<br>8 ΜΠΩΦΟΡ |
| 0,5                          | 80  | 9                           | 25                                    | 63      | 113     | 138     | 175                    |
| 1                            | 40  | 19                          | 53                                    | 132     | 238     | 290     | 369                    |
| 2                            | 20  | 38                          | 106                                   | 264     | 475     | 581     | 739                    |
| 4                            | 10  | 76                          | 211                                   | 528     | 950     | 1161    | 1478                   |
| 6                            | 7   | 113                         | 314                                   | 785     | 1413    | 1726    | 2197                   |
| 8                            | 5   | 151                         | 419                                   | 1049    | 1888    | 2307    | 2936                   |
| 10                           | 4   | 189                         | 525                                   | 1313    | 2363    | 2888    | 3675                   |
| 12                           | 3   | 227                         | 631                                   | 1576    | 2838    | 3468    | 4414                   |
| 14                           | 3   | 265                         | 736                                   | 1840    | 3313    | 4049    | 5153                   |
| 16                           | 3   | 302                         | 839                                   | 2097    | 3775    | 4614    | 5872                   |
| 18                           | 2   | 340                         | 944                                   | 2361    | 4250    | 5194    | 6611                   |
| 20                           | 2   | 378                         | 1050                                  | 2625    | 4725    | 5775    | 7350                   |
| 22                           | 2   | 416                         | 1156                                  | 2889    | 5200    | 6356    | 8089                   |
| 24                           | 2   | 454                         | 1261                                  | 3153    | 5675    | 6936    | 8828                   |
| 26                           | 2   | 491                         | 1364                                  | 3410    | 6138    | 7501    | 9547                   |
| 28                           | 1   | 529                         | 1469                                  | 3674    | 6613    | 8082    | 10286                  |
| 30                           | 1   | 567                         | 1575                                  | 3938    | 7088    | 8663    | 11025                  |

Ο υπολογισμός του  $\sigma$  για κυλινδρικά τεμαχίδια διαμέτρου (d) στα οποία αναφέρεται η πρώτη στήλη του πίνακα 1 γίνεται με τον τύπο (Brown 1970):

$$\sigma = \frac{4}{d}$$

όπου η διάμετρος εκφράζεται σε cm.

Οι τιμές μέγιστης απόστασης μετάδοσης πυρκαγιάς του πίνακα 1 αποτελούν το απόλυτα μέγιστο δυνατό. Βασίζονται στην υπόθεση ότι ο άνεμος παρασύρει τα τεμαχίδια με ταχύτητα ίση με τη δική του. Στην πραγματικότητα τα σωματίδια μεταφέρονται με ίση ή μικρότερη ταχύτητα από την ταχύτητα του ανέμου. Τα μικρότερων διαστάσεων και ελαφρύτερα τεμαχίδια είναι δυνατό να μεταφερθούν μακρύτερα από την απόσταση που αναφέρεται στον πίνακα 1 όταν όμως τα υπολείμματά τους φθάσουν στο έδαφος θα έχουν ήδη σβήσει. Παραδείγματος χάρη, ο Καϊλίδης (1990) δείχνει σε φωτογραφίες φύλλα *Smilax aspera* που μεταφέρθηκαν με μικρή ταχύτητα ανέμου σε απόσταση μέχρι 2 χλμ. και κλαδάκια διαμέτρου 2-3 mm που έφθασαν μέχρι 1 χλμ από το μέτωπο στη μεγάλη πυρκαγιά της Κασσάνδρας

του Ιουλίου 1981. Τα σωματίδια αυτά δεν θα ήταν δυνατό να μεταδώσουν την πυρκαγιά εκεί γιατί θα είχαν σβήσει πριν προσγειωθούν σε αυτή την απόσταση. Οι αναφερόμενες στον πίνακα 1 τιμές μετάδοσης είναι πραγματικά μέγιστες αλλά λογικά είναι δυνατό να συμβούν συχνά στην πράξη. Τα μεγαλύτερα και βαρύτερα σωματίδια μετά την προς τα άνω μεταφορά τους με την επαγωγική στήλη της πυρκαγιάς μόλις βγουν από αυτή και παραμείνουν μόνο υπό την επίδραση του ανέμου, λόγω του βάρους τους, ακολουθούν σχετικά απότομη καθοδική πορεία και συναντούν το έδαφος πολύ ενωρίτερα από την απόσταση που αναφέρεται στον πίνακα 1. Έχοντας βέβαια αρκετό υπολειπόμενο χρόνο καύσης αποτελούν επικίνδυνες κάφτρες.

Από τις ακραίες τιμές του πίνακα 1 για τεμαχίδια μεγάλων διαστάσεων δικαιολογούνται και οι εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις μετάδοσης που έχουν παρατηρηθεί στην Αυστραλία. Επίσης γίνεται κατανοητό γιατί συχνά η απόσταση μετάδοσης στην Ελλάδα φθάνει τα 500-900 m (κλαδάκια διαμέτρου 2-4 mm, άνεμος 6 μπωφόρ), με περισσότερο συνηθισμένη την περίπτωση μετάδοσης στα 100-200 m (Καϊλίδης 1990).

## **5. Αντιμετώπιση των πυρκαγιών όταν υπάρχει μετάδοση με κάφτρες**

Η μετάδοση με κάφτρες αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα και κινδύνους που αντιμετωπίζουν οι δυνάμεις δασοπυρόσβεσης. Σε περίπτωση μεγάλης πυρκαγιάς υψηλής έντασης συνοδευόμενης από μαζική μετάδοση με κάφτρες σε μεγάλες αποστάσεις (> 500-800 m) η αντιμετώπιση είναι ουσιαστικά αδύνατη (Brown and Davis 1973) όταν υπάρχει συνέχεια καύσιμης ύλης. Η τοποθέτηση δασοπυροσβεστικών δυνάμεων μπροστά από το κινούμενο μέτωπο είναι ιδιαίτερα ρισκοκίνδυνη και κατά κανόνα αναποτελεσματική. Ο εγκλωβισμός τους είναι πολύ πιθανός και γι' αυτό πρέπει να επιχειρείται μόνο όταν υπάρχει ανάγκη προστασίας κάποιων ευαίσθητων εγκαταστάσεων και με την προϋπόθεση ύπαρξης αποψιλωμένων ζωνών ασφαλείας και διεξόδων διαφυγής. Οι δυνάμεις της δασικής και της πυροσβεστικής υπηρεσίας που λανθασμένα τοποθετούνται πάνω σε δρόμους μπροστά από το μέτωπο, συνήθως αναγκάζονται να τραπούν σε φυγή όταν πλησιάσουν οι φλόγες γιατί δέχονται καπνό, θερμά αέρια και ένταση ακτινοβολίας πέρα από τα ανεκτά όρια ενώ παράλληλα διαπιστώνουν ότι η πυρκαγιά έχει μεταδοθεί πίσω τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις η σωστή αντιμετώπιση είναι η προσπάθεια κατάσβεσης των πλευρών και των νώτων της πυρκαγιάς ώστε να μειωθεί η καιγόμενη έκταση και να αποφευχθεί η μετατροπή τους σε νέα μέτωπα σε περίπτωση αλλαγής της κατεύθυνσης του ανέμου. Παράλληλα, σε αναμονή βελτίωσης των συνθηκών (καιρικών, καύσιμης ύλης, τοπογραφίας), πρέπει να γίνεται προσπάθεια καλού σχεδιασμού για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς με επαρκείς δυνάμεις από πλεονεκτική θέση. Ταυτόχρονα, πρέπει να γίνεται έγκαιρα προσπάθεια απομάκρυνσης των πολιτών γιατί μη γνωρίζοντας τον κίνδυνο μπορούν εύκολα να βρεθούν εγκλωβισμένοι από τις φλόγες.

Τα παραπάνω συνήθως συμβαίνουν υπό ακραίες συνθήκες (ταχύτητα ανέμου >50 χλμ/ώρα για τη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις, υγρασία λεπτής νεκρής καύσιμης ύλης <6-7%). Οι συνθήκες αυτές συνήθως επικρατούν για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα. Παραδείγματος χάρη, το μελτέμι κατά κανόνα μειώνεται σε ένταση κατά τις νυκτερινές ώρες ενώ η

υγρασία της καύσιμης ύλης σταδιακά αυξάνεται με την αύξηση της σχετικής υγρασίας του αέρα αργά το απόγευμα και φθάνει το μέγιστο κατά τα ξημερώματα. Είναι επίσης προβλέψιμες άλλες αλλαγές του ανέμου (θαλάσσια και απόγειος αύρα, άνεμοι προς τα ανάντη (ημέρα) ή τα κατάντη (νύκτα) των πλαγιών και των κοιλάδων). Η πρόβλεψη της θέσης της πυρκαγιάς κατά το χρόνο που θα βελτιωθούν οι συνθήκες και ο σχεδιασμός αποτελεσματικής αντιμετώπισης υπό αυτές τις συνθήκες αποτελεί την καλύτερη τακτική. Αυτό απαιτεί:

- α. Έγκαιρη αναγνώριση και επιλογή θέσης αντιμετώπισης (χαμηλή ή αραιή βλάστηση, αντιπυρική ζώνη, δρόμοι).
- β. Συγκέντρωση και προετοιμασία των κατάλληλων επίγειων και εναέριων δυνάμεων.
- γ. Σχεδιασμό του τρόπου αντιμετώπισης, ενημέρωση των εμπλεκομένων και καλό συντονισμό (σχήμα 2). Στο σχεδιασμό του τρόπου αντιμετώπισης του μετώπου περιλαμβάνεται και η σημαντική απόφαση της χρήσης του αντίπυρος. Η λύση αυτή είναι συχνά η μόνη επιλογή που δίνει πιθανότητες για αναχαίτιση του μετώπου. Προϋπόθεση βέβαια αποτελεί η καλή γνώση της τεχνικής του αντίπυρος και η ύπαρξη κατάλληλα εκπαιδευμένου και πειθαρχημένου προσωπικού.

Στην αντιμετώπιση πυρκαγιών στις οποίες παρατηρείται εκτεταμένη μετάδοση με κάφτρες σημαντικό ρόλο μπορούν να παίξουν:

- α. Οι επινωτόιοι πυροσβεστήρες (όχι γεωργικοί ψεκαστήρες) φερόμενοι από κατάλληλο προσωπικό καλής φυσικής κατάστασης. Με τη δυνατότητα άμεσης προσέγγισης-κατάσβεσης κάθε μικρής νέας εστίας που προσφέρουν μειώνουν την ανάγκη δημιουργίας εγκατάστασης σωλήνων ή μετακίνησης οχημάτων που είναι χρονοβόρες και δεν εξασφαλίζουν τη γρήγορη αντιμετώπιση απομακρυσμένων νέων εστιών σε δύσβατα σημεία.
- β. Οι επιβραδυντικές ουσίες μακράς διάρκειας (long-term fire retardants). Αυτές μπορούν να ψεκαστούν δίπλα σε αντιπυρικές ζώνες, από το έδαφος ή από τον αέρα, αρκετές ώρες πριν φθάσει το μέτωπο της πυρκαγιάς. Με την κάλυψη ενός πλάτους 50-100 m παράλληλα με τη ζώνη, από την αντίθετη πλευρά από εκείνη που πλησιάζει το μέτωπο, οι πιθανότητες να ανάψει στη ζώνη αυτή εστία από κάφτρες ουσιαστικά μηδενίζεται καθώς επίσης και η πιθανότητα να περάσει η πυρκαγιά στην άλλη πλευρά της ζώνης με ακτινοβολία. Η χρήση αυτή των επιβραδυντικών ουσιών μπορεί να είναι ιδιαίτερα θετική στην περίπτωση του αντίπυρος.
- γ. Τα εναέρια μέσα. Ιδιαίτερα θετικός είναι ο ρόλος των μέσων αυτών όταν μπορούν να ανεφοδιάζονται με νερό ή αφρό από μικρή απόσταση. Για το σκοπό αυτό ιδιαίτερα κατάλληλα είναι τα ελικόπτερα με πυροσβεστικό κάδο και τα αμφίβια αεροσκάφη. Όταν γίνεται αντιμετώπιση σε μια αντιπυρική ζώνη και ιδίως όταν εφαρμόζεται το αντίπυρ, τα μέσα αυτά πρέπει να πετούν στην περιοχή, σε ετοιμότητα και σε συνεχή επαφή με το έδαφος. Έτσι, μπορούν να ενημερώνουν για κάθε νέα εστία τις επίγειες δυνάμεις και μετά από συνεννόηση μαζί τους να επεμβαίνουν αμέσως για να την καταπνίξουν.

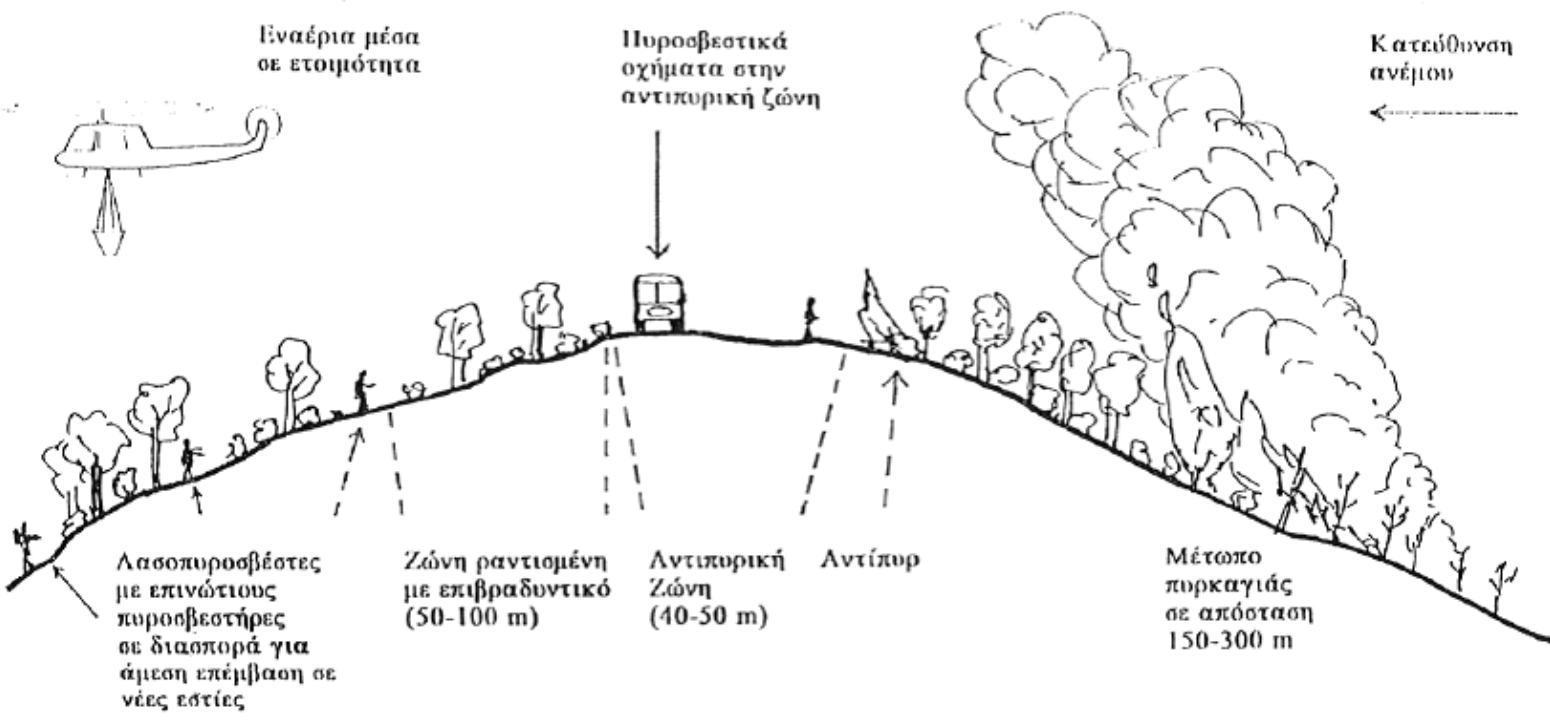
## 6. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι η μετάδοση πυρκαγιών με κάφτρες αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι δυνάμεις δασοπυρόσβεσης. Η επιπόλαιη αντιμετώπιση μιας τέτοιας πυρκαγιάς μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να οδηγήσει στη σπατάλη προσπαθειών του προσωπικού και στη χειρότερη να θέσει ζωές και οχήματα σε κίνδυνο εγκλωβισμού από τις φλόγες. Απαιτείται καλός σχεδιασμός που να αναγνωρίζει τα όρια του επικτού αλλά και τις υπάρχουσες ευκαιρίες και οπωσδήποτε καλός συντονισμός με σωστή αξιοποίηση δυνάμεων για να εξασφαλίσει τον έλεγχο της πυρκαγιάς στον συντομότερο δυνατό χρόνο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albini, F. A. (1979). Spot fire distance from burning trees - a predictive model. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-56. 73 p.
2. Albini, F. A. (1981). Spot fire distance from isolated sources - extensions of a predictive model. USDA For. Serv. Res. Note INT-309. 9 p.
3. Albini, F. A. (1983). Potential spotting distance from wind-driven surface fires. USDA For. Serv. Res. Paper INT-309. 27 p.
4. Anderson, H. E. 1969. Heat transfer and fire spread. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-69. 20 p.
5. Andrews, P. L. and Chase, C. H. (1989). BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part 2. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-260. 93 p.
6. Blackmarr, W. H. 1972. Moisture content influences ignitability of slash pine litter. Res. Note SE-173. 7 p.

7. Brown, J. K. 1970. Ratios of surface area to volume for common fine fuels. For. Sci. 16 (1): 101-105.
8. Brown, A. A., and K. P. Davis. 1973. Forest fire: control and use. 2nd edition. McGraw-Hill Inc., New York. 686 p.
9. Chase, C. H. (1984). Spotting distance from wind-driven surface fires - extensions of equations for pocket calculators. USDA For. Serv. Res. Note INT-346. 21 p.
10. Dorgelo, T. H. 1984. The Ash Wednesday fires of 1983 in South Eastern Australia. pp. 38-52. In proceedings of the 2nd International Scientific-Technical Symposium on "Progress in Fighting Fires and Catastrophes from the Air", March 1984, Bremen, Germany. Deutscher Gemeindeverlag - Verlag W. Kohlhammer. 268 p.
11. Καϊλίδης, Δ. 1990. Δασικές πυρκαγιές. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη. 510 σελ.
12. Morris, G. A. (1987). A simple method for computing spotting distance from wind-driven surface fires. USDA For. Serv. Res. Note INT-374. 6 p.
13. Rothermel, R. C. (1983). How to predict the spread rate and intensity of forest and range fires. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-143. 161 p.



Σχήμα 2. Ιδεατός σχεδιασμός αντιμετώπισης του μετώπου πυρκαγιάς στην οποία παρατηρείται έντονη μετάδοση με κάψρες.