

## **Διερεύνηση της αυξητικής συμπεριφοράς και των σχέσεων κλίματος – αύξησης στη νέκρωση των ελατοδασών**

**Παπαδόπουλος Ανδρέας, Ραυτογιάννης Ιωάννης, Παντέρα Αναστασία**  
ΤΕΙ Λαμίας, Τμ. Δασοπονίας & Διαχείρισης Φυσ. Περιβάλλοντος, 36100 Καρπενήσι

### **Περίληψη**

Στην παρούσα εργασία αναλύονται χρονοσειρές με τα πλάτη των ετησίων δακτυλίων ζωντανών και ξερών δένδρων κεφαλληνιακής ελάτης και εξετάζονται οι σχέσεις κλίματος-αύξησης, με σκοπό τη διερεύνηση από δενδροκλιματολογικής πλευράς του φαινομένου της νέκρωσης των Ελατοδασών. Πιο συγκεκριμένα από την ανάλυση των μέσων χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων ζωντανών και ξερών δένδρων, καθώς και των πολειμματικών μέσων χρονοσειρών, που προέκυψαν από την εφαρμογή μοντέλων (ARMA), φαίνεται ότι πριν τη νέκρωση υπάρχει μια σημαντική περίοδος ετών (από το 1985 και μετά) με πολύ μειωμένο έως και μηδενικό πλάτος δακτυλίου. Οι σχέσεις κλίματος-αύξησης, που υπολογίσθηκαν για την περίοδο 1985-2003, δείχνουν ότι το πλάτος του δακτυλίου των ζωντανών δένδρων παρουσιάζει στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση με τις βροχοπτώσεις του Ιουνίου και τις θερμοκρασίες του Ιανουαρίου που προηγείται της έναρξης της αυξητικής περιόδου, ενώ τα νεκρά δένδρα, αν και ακολουθούν την ίδια τάση με τα ζωντανά, δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις. Επιπλέον, τα ξερά δένδρα παρουσιάζουν μικρότερη απόκριση στις βροχοπτώσεις της χειμερινής και θερινής περιόδου και μεγαλύτερη στις θερμοκρασίες της θερινής περιόδου σε σχέση με τα ζωντανά δένδρα, γεγονός που δείχνει σε κάποιο βαθμό τη σημασία των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού στη νέκρωση των ελατοδασών.

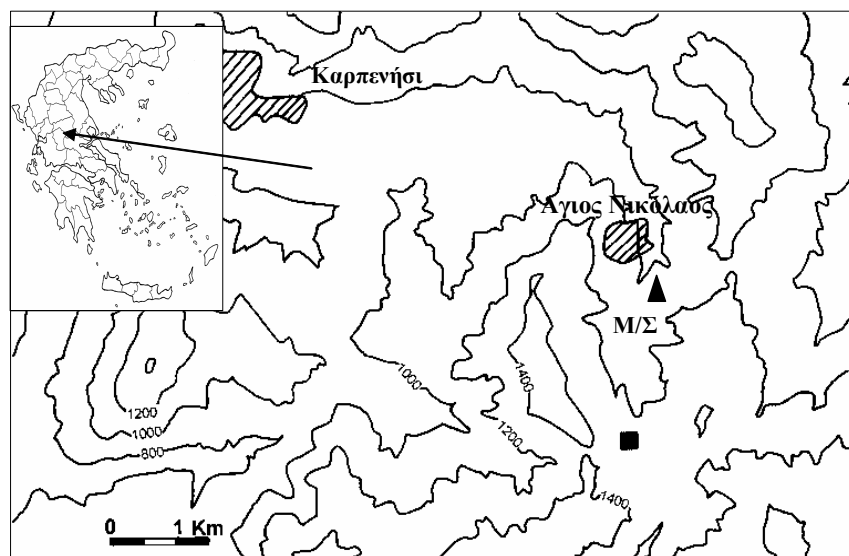
**Λέξεις κλειδιά:** δενδροχρονολογία, δενδροκλιματολογία, σχέσεις απόκρισης

### **Εισαγωγή**

Η διερεύνηση του ρόλου του κλίματος στη νέκρωση των δασών, αποτέλεσε το αντικείμενο διαφόρων ερευνητικών εργασιών (Becker και Levy 1988, Freer-Smith 1996, Aussenac 2002). Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερος λόγος γίνεται γι' αυτό και εξαιτίας της πιθανολογούμενης κλιματικής αλλαγής. Στην κατεύθυνση αυτή θα μπορούσε να συμβάλει και η δενδροοικολογία-δενδροκλιματολογία (Fritts 1976, Schweingruber 1996) με τη διερεύνηση των σχέσεων κλίματος-αύξησης-νέκρωσης. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν μελέτες που διερευνάται ο ρόλος της μείωσης της αύξησης στη νέκρωση των δένδρων (Torelli κ.α. 1999, Bigler κ.α. 2004, Wunder κ.α. 2006), καθώς και καθαρά δενδροκλιματολογικές μελέτες που αφορούν μάλιστα την ελάτη (Becker και Levy 1988, Tessier κ.α. 1990, Bert και Becker 1990, Camarero κ.α. 2003 Manetti και Cutini 2006). Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης του φαινομένου της νέκρωσης της κεφαλληνιακής ελάτης με βάση δενδροκλιματολογικές τεχνικές που στηρίζονται στην εξέταση της μεταβολής του πλάτους των δακτυλίων και στις σχέσεις κλίματος-αύξησης.

### **Υλικά και μέθοδοι**

Η έρευνα έγινε σε μια συστάδα κεφαλληνιακής ελάτης στα νοτιοανατολικά της πόλης του Καρπενησίου (σχ. 1). Η επιφάνεια που επιλέχθηκε ήταν έκτασης 2 στρ. περίπου και περιείχε υγιή κυρίαρχα δένδρα καθώς και πρόσφατα νεκρωθέντα δένδρα ελάτης, περίπου ίδιας ηλικίας. Στην επιλεγθείσα επιφάνεια ελήφθησαν τρυπανίδια από κυρίαρχα ζωντανά δένδρα και εγκάρσιες τομές από τα ξερά δένδρα. Στα ζωντανά δένδρα ελήφθησαν 2 τρυπανίδια στο στηθιαίο ύψος, το πρώτο στα ανάντη του κορμού το δεύτερο στα κατόντη, ενώ στα ξερά δένδρα ελήφθησαν εγκάρσιες τομές επίσης στο στηθιαίο ύψος. Τα τρυπανίδια ελήφθησαν με τη βοήθεια τρυπάνης τύπου Pressler, ενώ για τη λήψη των τομών έγινε υλοτομία των ξερών δένδρων.



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης με τη θέση της συστάδας ελάτης (μαύρο τετράγωνο) και τη θέση του μετεωρολογικού σταθμού (μαύρο τρίγωνο).

Figure 1. Map of the study area and the locations of the fir stand (black square) and the meteorological station (black triangle).

Τα δείγματα ξύλου (τρυπανίδια ή εγκάρσιες τομές) αφού ξηράνθηκαν με φυσικό τρόπο λειάνθηκαν ώστε οι δακτύλιοι να είναι όσο το δυνατό πιο ευκρινείς. Στη συνέχεια έγινε η χρονολόγηση των δακτυλίων με τη μέθοδο της διασταυρούμενης χρονολόγησης (cross dating) ακολουθώντας τις κλασσικές διαδικασίες (Fritts 1976, Schweingruber 1996). Ακολούθησε η μέτρηση των πλατών των δακτυλίων με προσέγγιση 0,01 mm με τη βοήθεια του συστήματος WinDendro (Régant 2007). Στα ζωντανά δένδρα μετρήθηκαν τα πλάτη των δακτυλίων σε δυο αντιδιαμετρικά τρυπανίδια ενώ στα ξερά δένδρα μετρήθηκαν σε δυο αντιδιαμετρικές ακτινικές κατευθύνσεις εγκάρσιων τομών. Από τη μέτρηση των πλατών των δακτυλίων προέκυψαν τόσες ατομικές χρονοσειρές, όσα και τα τρυπανίδια ή οι μετρημένες ακτινικές κατευθύνσεις των εγκάρσιων τομών. Στη συνέχεια από το μέσο όρο των ατομικών χρονοσειρών, των ζωντανών και ξερών δένδρων, προέκυψε αντίστοιχα μια μέση χρονοσειρά των πλατών των δακτυλίων για τα

ζωντανά και μια για τα ξερά δένδρα. Τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και ξερών δένδρων φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των χρονοσειρών των ζωντανών και ξερών δένδρων.  
Table 1. Time series characteristics of living and dried trees

	Αριθμός δένδρων/ (τρυπανίδια-ακτιν. κατευθύνσεις)	Περίοδος ετών μέσης χρονοσειράς	Έτη
<b>Ζωντανά δένδρα</b>	14 (28)	1860-2004	145
<b>Ξερά δένδρα</b>	8 (16)	1883-2003	121

Στις παραπάνω μέσες χρονοσειρές έγινε σταθεροποίηση των πλατών των δακτυλίων (standardisation) με τη χρήση μεικτών αυτοπαλινδρομούμενων (AR) και κινούμενου μέσου (MA) μοντέλων (Box και Jenkins, 1970), ειδικά προσαρμοσμένων για δενδροκλιματολογικούς σκοπούς (Guiot 1987, 1990, Cook 1987). Η εξίσωση που εφαρμόστηκε για ένα γενικό μοντέλο ARMA (p, q) είναι:

$$X_t = \text{AR}(p) - \text{MA}(q) + e_t = \sum_{i=1}^p \phi_i x_{t-i} - \sum_{i=1}^q \theta_i e_{t-i} + e_t$$

$X_t$  = πλάτος δακτυλίου το έτος t;

$\Phi_i$  = συντελεστές των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από τις αυτοσυσχετίσεις τάξης 1...p των χρονοσειρών των δακτυλίων; (ή τελεστής αυτοπαλινδρόμησης)

$\theta_i$  = συντελεστές που σχετίζονται με τους κινητούς μέσους όρους τάξης 1...q; (ή τελεστής κινούμενου μέσου όρου)

$e_t$  = τυχαία τιμή (υπόλοιπο) της αύξησης του έτους t.

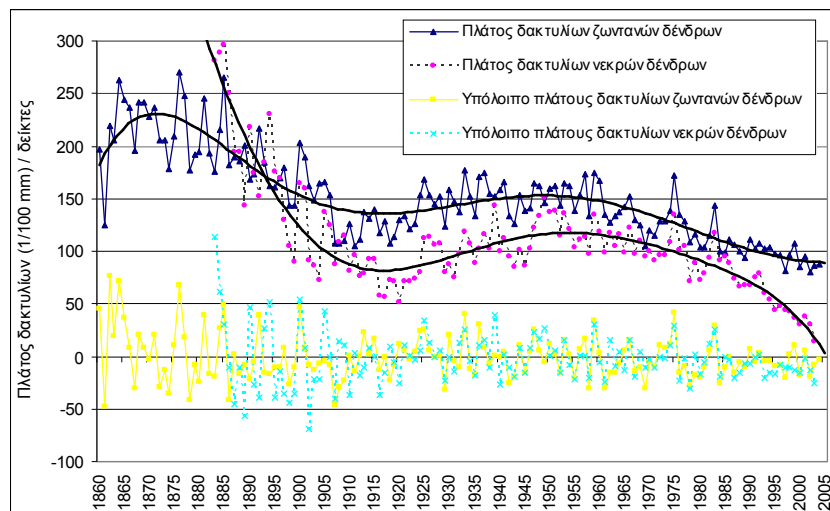
Στον παραπάνω τύπο το μέρος (AR) εκφράζει το πλάτος του δακτυλίου του έτους t-1... t-p, που υπεισέρχονται στην αύξηση του δακτυλίου του έτους t (αυτοσυσχέτιση). Το μέρος (MA) εκφράζει το σύνολο των τυχαίων φαινομένων των προηγούμενων ετών που επηρεάζουν την αύξηση του δακτυλίου του έτους t. Το τυχαίο υπόλοιπο ( $e_t$ ) παριστά, το λιγότερο κατά ένα μέρος, αυτό που μπορεί να ερμηνευθεί σαν κλιματικό σήμα που καταγράφεται από το δακτύλιο του έτους t. Οι χρονοσειρές των υπολοίπων που προκύπτουν από τη μοντελοποίηση αυτή είναι τα κύρια δεδομένα για την ανάλυση των σχέσεων του πλάτους των δακτυλίων με το κλίμα.

Οι σχέσεις κλίματος – αύξησης υπολογίσθηκαν για την τελευταία περίοδο (1985-2003) στην οποία υπάρχει εμφανής διαφοροποίηση του πλάτους των δακτυλίων μεταξύ των χρονοσειρών των ζωντανών και ξερών δένδρων (σχήμα 2). Ο υπολογισμός έγινε με τη χρήση των σχέσεων απόκρισης (response functions) όπως αυτές περιγράφονται από τον Fritts (1976). Ο υπολογισμός των σχέσεων απόκρισης έγινε με τη μέθοδο της ορθογωνικής παλινδρόμησης (Guiot 1990) σε συνδυασμό με τη διαδικασία Bootstrap. Η

εφαρμογή της μεθόδου έγινε με τη χρήση του πακέτου H/Y «Programs in Paleoclimatology: Prediction of the Hiatus and Analysis of the Linkages between the Observations and the Series» (Guiot 1990). Κάθε μέση χρονοσειρά υπολειμμάτων ( $\epsilon$ ) των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και ξερών δένδρων συσχετίστηκε με 24 μηνιαίες κλιματικές παραμέτρους ( $P-T_{\text{mean}}$ : μηνιαίες βροχοπτώσεις και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες) των υδρολογικών ετών της περιόδου 1985 έως 2003. Ως υδρολογικό έτος καθορίστηκε η περίοδος από Οκτώβριο του έτους  $n-1$  έως το Σεπτέμβριο του έτους  $n$ . Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό του Αγ. Νικολάου Ευρυτανίας (ΕΘΙΑΓΕ) που βρίσκεται κοντά στην περιοχή μελέτης.

### Αποτελέσματα - συζήτηση

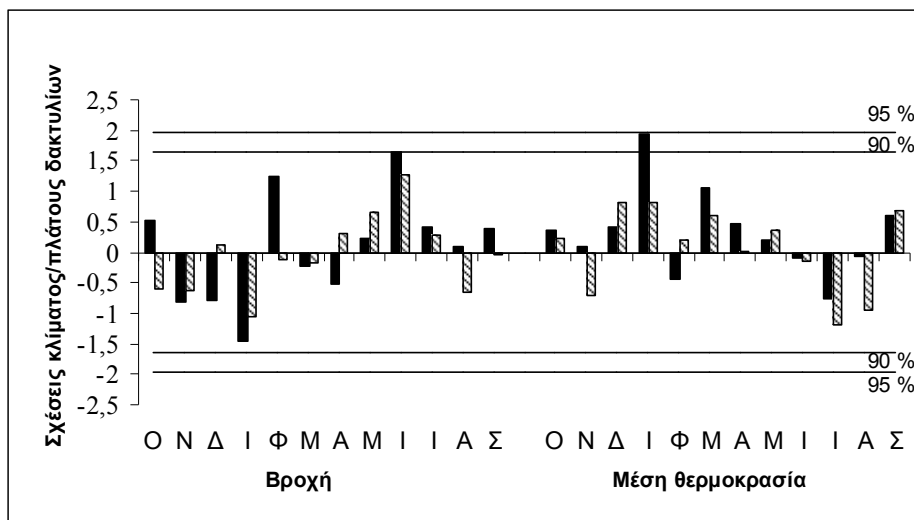
Από τη σύγκριση των καμπυλών των χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων (σχ. 2) φαίνεται ότι η κατά πλάτος αύξηση των ξερών δένδρων είναι μικρότερη αυτής των ζωντανών δένδρων, γεγονός που δείχνει μια υστέρηση στην αύξηση, που θα μπορούσε να ερμηνευθεί από σταθμολογικούς ή άλλους παράγοντες. Επιπλέον, πριν τη νέκρωση των δένδρων παρατηρείται μια μεγάλη περίοδος όπου το πλάτος του δακτυλίου γίνεται ελάχιστο έως και μηδενικό. Η περίοδος της έντονα μειωμένης αύξησης, όπως φαίνεται από τις καμπύλες προσαρμογής, ξεκινά για τη μέση χρονοσειρά των ξερών δένδρων από το 1985. Να σημειωθεί ότι σε 3 από τα 8 ξερά δένδρα εμφανίζονται διαδοχικοί δακτύλιοι με μηδενική αύξηση. Σύμφωνα με τους Bigler κ.α. (2004) τα προς νέκρωση δένδρα παρουσιάζουν μηδενική αύξηση για πολλά χρόνια πριν τη νέκρωση τους.



Σχήμα 2. Διάγραμμα των μέσων χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων και των σταθεροποιημένων δεδομένων των ζωντανών και ξερών δένδρων.  
Figure 2. Mean time-series of tree-ring widths and stabilized data of living and dried trees

Σε ότι αφορά τις καμπύλες των υπολοίπων των πλατών των δακτυλίων (σχ. 2) που προέκυψαν από την ανάλυση (ARMA), η μεταβλητότητα του πλάτους μειώνεται αντίστοιχα στη χρονοσειρά των ξερών δένδρων σε σχέση με τα ζωντανά μετά το 1985. Με δεδομένο ότι τα υπόλοιπα εκφράζουν σε μεγάλο βαθμό το ρόλο του κλίματος στο πλάτος των δακτυλίων, φαίνεται ότι στην υπολειμματική χρονοσειρά των ξερών δένδρων, ιδιαίτερα μετά το 1985, υπάρχει μικρότερη ευαισθησία των δένδρων απέναντι στις κλιματικές συνθήκες.

Σε ότι αφορά τις σχέσεις κλίματος αύξησης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, για την περίοδο βαθμονόμησης (Calibration), οι σχέσεις απόκρισης για τα ζωντανά και ξερά δένδρα είναι σημαντικές σε επίπεδο 99,9 %. Όμως, για την περίοδο επαλήθευσης (Verification) καμιά σχέση απόκρισης δεν είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο πάνω από 65-70 %. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει τη χρονική αστάθεια του μοντέλου αύξησης των πλατών των δακτυλίων. Η επιμέρους ανάλυση των προφίλ των σχέσεων απόκρισης (σχ. 3) δείχνει εντούτοις ότι υπάρχουν θετικές συσχετίσεις (σημαντικές πάνω από 90 %) για τις βροχοπτώσεις του Ιουνίου και τις θερμοκρασίες του Ιανουαρίου για τα ζωντανά δένδρα ενώ για τα ξερά δένδρα δεν υπάρχουν σημαντικές συσχετίσεις.



Σχήμα 3. Σχέσεις απόκρισης υπολογισμένες για 24 κλιματικές παραμέτρους ( $P-T_{\text{mean}}$ ) των ζωντανών (σκούρη μπάρα) και ξερών δένδρων (γραμμοσκιασμένη μπάρα).

Figure 3. Response function relations calculated for 24 climatic parameters ( $P-T_{\text{mean}}$ ) of living (dark line) and dried trees (lined line)

Μια πιο αδρομερής εξέταση των σχέσεων απόκρισης (σχ. 3) δείχνει μια τάση αρνητικών συσχετίσεων με τις βροχοπτώσεις της χειμερινής περιόδου πριν την έναρξη της βλαστητικής περιόδου και θετικών συσχετίσεων με τις βροχοπτώσεις της εαρινής και θερινής περιόδου του τρέχοντος έτους αύξησης. Οι τάσεις αυτές είναι πιο έντονες για τις χρονοσειρές των ζωντανών δένδρων ενώ αντίθετα ασθενέστερες γι' αυτές των ξερών

δένδρων, γεγονός που δείχνει τη μικρότερη επίδραση των βροχοπτώσεων στα υποψήφια για νέκρωση δένδρα. Σε ότι αφορά τις θερμοκρασίες φαίνεται ότι υπάρχει μια τάση θετικής συσχέτισης με τις θερμοκρασίες της χειμερινής και εαρινής περιόδου και αρνητική με τις θερμοκρασίες του καλοκαιριού (Ιούλιος–Αύγουστος). Η τάση για θετική επίδραση των θερμοκρασιών τη χειμερινή και εαρινή περίοδο είναι εντονότερη στις χρονοσειρές των ζωντανών δένδρων από ότι στις χρονοσειρές των ξερών δένδρων. Αντίθετα η αρνητική επίδραση των θερμοκρασιών του καλοκαιριού είναι εντονότερη στις χρονοσειρές των ξερών από ότι στις χρονοσειρές των ζωντανών δένδρων, γεγονός που δείχνει μια μεγαλύτερη ευαισθησία των υποψηφίων για νέκρωση δένδρων στις υψηλές θερμοκρασίες. Σύμφωνα με τον Freer-Smith (1996), η μείωση του πλάτους των ετησίων δακτυλίων συνοδεύεται με μείωση η οποία ξεκινά σε έτη σοβαρής ξηρασίας.

Η θετική επίδραση των βροχοπτώσεων του Ιουνίου στην κατά πλάτος αύξηση της ελάτης μπορεί να ερμηνευθεί από τη ζήτηση νερού για τις έντονες αυξητικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα τη περίοδο αυτή. Ανάλογες θετικές σχέσεις του πλάτους των ετησίων δακτυλίων και των θερινών βροχοπτώσεων έχουν υπολογισθεί για την ελάτη στη Γαλλία (Serre-Bachet κ.α. 1988, Rolland 1993). Η αρνητική επίδραση με τις θερμοκρασίες του καλοκαιριού μπορεί να ερμηνευθεί από την επίδραση του υδατικού στρες. Υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε έντονη εξατμισοδιαπνοή και σε περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος (Kozłowski κ.α. 1991). Ανάλογα αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες βρίσκουν για την *Abies alba* η Rolland (1993), οι Manetti και Cutini (2006) και οι Kern και Pora (2007).

### **Συμπεράσματα**

Η μελέτη του πλάτους των δακτυλίων και οι σχέσεις κλίματος-αύξησης μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες στη διερεύνηση του φαινομένου της νέκρωσης των ελατοδασών. Δένδρα που υστερούν σε αύξηση είναι περισσότερο ευαίσθητα στις δυσμενείς γι' αυτά κλιματικές συνθήκες και κατά συνέπεια περισσότερο ευάλωτα σε δευτερογενείς, προσβολές από μύκητες και έντομα, από ότι τα καλώς αυξάνοντα δένδρα. Τα υποψήφια προς νέκρωση άτομα ελάτης παρουσιάζουν ένα ελάχιστο έως μηδενικό πλάτος δακτυλίου για μια μεγάλη περίοδο ετών πριν από τη νέκρωση. Τα υποψήφια προς νέκρωση δένδρα φαίνεται να παρουσιάζουν γενικότερα μικρότερη απόκριση σε σχέση με τα ζωντανά δένδρα στην επίδραση των βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών με εξαίρεση τις θερμοκρασίες της θερινής περιόδου όπου η απόκριση είναι μεγαλύτερη για τα υποψήφια προς νέκρωση δένδρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας, συνέπεια της διαφαινόμενης κλιματικής αλλαγής, φαίνεται να είναι στο μέλλον ο κυριότερος παράγοντας επίτασης του φαινομένου της νέκρωσης των ελατοδασών.

## Investigation of the growth pattern and climate-growth relations to fir forest decline

Papadopoulos A., Raftoyannis I., Pantera A.

T.E.I. Lamias, Forestry Department, 36100 Karpenissi, Greece

### Abstract

In the present study, time series to annual tree-width of living and dead greek fir trees are analyzed and the relations of climate-growth are examined in order to investigate, from a dendrochronological point of view the fir forest decline phenomena. Specifically, from the analysis of the mean time-series tree-ring width of living and dead trees as well as the residual mean time series, derived by the application of models (ARMA), it appears that, before necrosis, there is an important time period (from 1985 and after) with minor or null tree-ring width growth. The climate-growth relations, for the period 1985-2003, show that the annual tree ring width of alive trees has a significantly positive relationship with June precipitation and January temperatures, while the dead trees do not show any significant relationships, although they follow similar trends with the alive. Furthermore, the dead trees show a lower response to winter and summer precipitations and a higher to summer temperatures compared to the living trees, indicating, to a certain point, the importance of high summer temperatures to fir forest decline.

**Keywords:** dendrochronology, dendroclimatology, response functions

### Βιβλιογραφία

- Aussenac, G., 2002. Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. *Ann. For. Sci.* 59: 823-832.
- Becker, M., Levy, G., 1988. A propos du dépérissement des forêts: climat, sylviculture et vitalité de la sapinière Vosgienne. *Rev. For. Fr.*, 40, 5: 345-358.
- Bert, G.D., Becker, M., 1990. Vitalité actuelle et passée du sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. *Etude dendroécologique. Ann. Sci For.* 47: 395-412.
- Bigler, Ch., Cricar, J., Bugmann, H., Cufar, K., 2004. Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management* 199: 183-190.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., 1970. *Time-series Analysis. Forecasting and Control.* Holden-Day, San Francisco, CA, 575 p.
- Camarero, J., Martin, E., Gil-Pelegrin E. 2003. The impact of a needleminer (*Epinotia subsequana*) outbreak on radial growth of silver fir (*Abies alba*) in the Aragon Pyrenees: A dendrochronological assessment. *Dendrochronologia* 21/1: 3-12.
- Cook, E., 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* Vol. 47: 37-59.
- Freer-Smith, P.H., 1996. Forest growth and decline: What is the role of air pollutants. In: *Plant response to air pollution.* Yunus M. and Iqbal M. eds: 437-447.
- Fritts, H.C., 1976. *Tree-rings and climate.* Academic Press, London, 567 pp.
- Guiot, J., 1987. ARMA techniques for modeling tree-ring response to climate and for reconstructing variations of paleoclimates. *Ecological Modelling*, 33: 149-171.

- Guiot, J., 1990. Methods and programs of statistics for paleoclimatology and paleoecology. Quantification des changements climatiques: Méthodes et programmes, Monographie N° 1. INSU, PNEDC, 253 pp.
- Kern, Z., Popa, I., 2007. Climate-growth relationship of tree species from a mixed stand of Apuseni Mts., Romania. *Dendrochronologia* 24: 109-115.
- Kozłowski, T., Kramer, P., Pallardy, S., 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic press, 657p.
- Manetti, M.C., Cutini, A. 2006. Tree-ring growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in two stands under different silvicultural systems in central Italy. *Dendrochronologia* 23Q 145-150.
- Παπαδόπουλος, Α., 2008. Δενδροκλιματολογική διερεύνηση της κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή Καρπενησίου Ευρυτανίας. 9<sup>ο</sup> COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου, 933-938.
- Régant Inc, 2007. *Windendro 2008a. For Tree-Ring Analysis*. Régant Instruments Inc, Québec Canada, 132p.
- Rolland, Ch., 1993. Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal Alps. *Tree-Ring Bulletin*, Vol. 53: 1-11.
- Schweingruber, F. H., 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. pp. 609
- Serre-Bachet, F., Tessier L., Loris K., 1988. Mise en place et signification du cerne. In: Hackens T., Munaut A.V. and Till C. (eds). *Wood and archaeology*. *Pact* 22, I. 1: 13-23.
- Tessier, L., Serre-Bachet, F., Guiot, J., 1990. Pollution fluorée et croissance radiale des conifères en Maurienne (Savoie, France). *Ann. Sci. For.* 47: 309-323.
- Torelli, N., Shortle, W., Cufar, K., Ferlin, F. Smith, K., 1999. Detecting changes in tree health and productivity of silver fir in Slovenia. *Eur. J. For. Path.* 29: 189-297.
- Wunder, J., Bigler, Ch., Reineking, B., Fahse, L., Bugmann, H., 2006. Optimisation of tree mortality models based on growth patterns. *Ecological Modelling* 197: 196-206.