

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ  
ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΜΑΡΙΑΣ Κ. ΣΠΕΘΟΓΙΑΝΝΗ

ΑΘΗΝΑ  
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1996



**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ****ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ****ΠΕΡΙΛΗΨΗ****SUMMARY****ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>. ΕΙΣΑΓΩΓΗ****ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΠΟΚΛΑΔΟΙ  
ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ****ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ  
ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ**

- 3.1. Ανάπτυξη και εξέλιξη της  
δενδροχρονολογίας στην Αμερική
- 3.2. Η δενδροχρονολογία στην Ευρώπη
- 3.3. Η δενδροχρονολογία στο Νότιο  
Ημισφαίριο

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>. ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ****ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>. ΣΤΑΔΙΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

- 5.1. Επιλογή είδους δένδρου, θέσεων  
και ατόμων
- 5.2. Εξαγωγή και επεξεργασία αυξητικών  
τρυπανιδίων

- 5.3. Συγχρονισμός και μέτρηση του πλάτους των δακτυλίων
- 5.4. Σταθεροποίηση του πλάτους των δακτυλίων
- 5.5. Συσχέτιση της αύξησης με κυματικές μεταβλητές

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

- 6.1. Εισαγωγή
- 6.2. Επεξεργασία των διατομών και μέτρηση του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων.
- 6.3. Αποτελέσματα
- 6.4. Συζήτηση και συμπεράσματα

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ

- 7.1. Εισαγωγή
- 7.2. Εφαρμογές - παραδείγματα δενδροχρονολογικών μελετών

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

- 8.1. Εφαρμογές της δενδροχρονολογίας στην Ελλάδα
- 8.2. Προοπτικές

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>. ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κύριο Δημήτρη Κουτσογιάννη για την ανάθεση και επίβλεψη του θέματος. Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω στον κύριο Γεώργιο Μπανούτσο, που με τη μεγάλη του πείρα και κατάρτιση πάνω στο θέμα της εργασίας με βοήθησε και με συμβούλευσε σε όλα τα στάδιά της. Τέλος, θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στο Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων για την παροχή πληροφοριών και για τη διάθεση του απαραίτητου υλικοτεχνικού εξοπλισμού.

κατακρημνισμάτων και των θερμοκρασιών του παρελθόντος είναι ελλιπείς. Πιο συγκεκριμένα παρατίθεται σύντομη ιστορική εξέλιξη της δενδροχρονολογίας, γίνεται αναφορά στους οικολογικούς νόμους που τη διέπουν και δίνονται γενικές κατευθύνσεις και οδηγίες καθώς και συγκεκριμένη εφαρμογή δενδροχρονολογικής ανάλυσης. Ακόμη γίνεται ανασκόπηση και συζήτηση αρκετών περιπτώσεων ανά τον κόσμο όπου η δενδροχρονολογία συνέβαλε σημαντικά στην επίλυση υδρολογικών προβλημάτων και εξετάζονται οι δυνατότητες και περιπτώσεις εφαρμογής του επιστημονικού αυτού κλάδου στη χώρα μας σε όλες γενικά τις περιβαλλοντικές και ιστορικές επιστήμες. Τέλος διατυπώνονται τα συμπεράσματα που είναι το απόσταγμα της εργασίας αυτής και προκύπτουν από την εφαρμογή του παραπάνω κλάδου σε άλλες χώρες ώστε να χρησιμοποιηθούν σαν πρότυπα κατά την εφαρμογή του και στη χώρα μας.

## SUMMARY

The last years' evidence of changes of the climate caused by human-beings and mainly by rising atmospheric concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) due to fossil fuels' burning, changes of land-uses and deforestation, has increased. If this evidence turns out to be true, then climatic changes will result in alteration of the patterns of precipitation and temperature and consequently this will bring economic, social and environmental implications about. Water resources will be the first to be affected by climatic changes and this is about to become a serious problem for hydrologists and water resources' managers.

Mainly there are two approaches for assessing future climatic conditions. On one hand is the physical method which assesses the behaviour of the components of the climate system using General Circulation Models (GCMs). On the other hand is the analog method which uses the patterns of past warm climates, based either on proxy or instrumental data, to construct warm scenarios as analogs for a future CO<sub>2</sub> - induced warm climate. So in this study are the possibility to reconstruct precipitation-, run-off- and temperature-records, using dendrochronological methods and the application of these data to predict future climatic conditions represented. More specifically, reference is made to historical background of dendrochronology and to ecological principles concerning it and

general guidelines and a certain example are given so that the processes of a dendrochronological analysis could be better understood. Also the main cases where dendrochronology has worldwide contributed to the solution of hydrological problems are reviewed and discussed. Finally possible applications of it to all environmental and historical sciences in Greece are examined and from the work carried out in various countries conclusions are drawn to be used throughout the application of this science.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας είναι γενικά αποδεκτό πως σε κάθε γεωγραφικό πλάτος και μήκος της γης οι ανθρώπινες δραστηριότητες και οι συνθήκες ζωής εξαρτώνται και επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του κλίματος γενικότερα. Πιο συγκεκριμένα η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή σε κάθε περιοχή, η παραγωγή των διαφόρων μορφών ενέργειας, οι δια ξηράς, αέρος και θαλάσσης μετακινήσεις, το είδος των κατοικιών, η ψυχική διάθεση των ανθρώπων, η αναψυχή, οι τουριστικές δραστηριότητες κλπ., επηρεάζονται και καθορίζονται από τον καιρό και το αίμα.

Όμως συχνά η στενή αυτή σχέση μεταξύ της ανθρώπινης κοινωνίας και του συστήματος καιρού-κλίματος, διαταράσσεται από την εμφάνιση ακραίων υδρομετεωρολογικών φαινομένων όπως είναι π.χ. οι ξηρασίες και πλημμύρες, οι ανεμοθύελλες και χιονοθύελλες, οι παγετοί και οι υψηλές θερμοκρασίες κλπ.

Τα παραπάνω ακραία φαινόμενα οφείλονται κατά κανόνα στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος και έχουν δυσμενέστερες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με συνέπεια να διαταράσσεται η σχέση που αναφέρθηκε. Έτσι για την εξομάλυνση ή την ελαχιστοποίηση αυτών των επιπτώσεων καταβάλλονται συνεχώς ολοένα και περισσότερες προσπάθειες, τόσο για το δυνατόν ακριβέστερη πρόγνωση του καιρού όσο και για ευστοχότερες προβλέψεις των περιόδων επαναφοράς των ακραίων υδρομετεωρολογικών φαινομένων που μας απασχολούν.

Η σχέση ανθρώπου-κλίματος διαμορφώθηκε βαθμιαία με το πέρασμα των αιώνων και θεωρείτο πρακτικά δεδομένη μέχρι πριν από 10-15 χρόνια, όταν εμφανίσθηκαν οι πρώτες ενδείξεις αλλαγής του κλίματος από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Πιο συγκεκριμένα σήμερα υποστηρίζεται από ολοένα και περισσότερους επιστήμονες (Gleick, 1986, Bach, 1989, Budyko, 1989, Bulton and Gellens, 1989, Shine, 1990, Rearce, 1992) πως οι ενδείξεις έναρξης αλλαγής του κλίματος από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις έχουν αυξηθεί. Η αλλαγή αυτή οφείλεται κυρίως στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) στην ατμόσφαιρα από την καύση ορυκτών καυσίμων, στην αλλαγή των χρήσεων γης και στην αποδάσωση μεγάλων περιοχών της γης. Είναι σαφές πως η αλλαγή του κλίματος θα επιφέρει έντονη διατάραξη στις ανθρώπινες δραστηριότητες που εξαρτώνται από αυτό καθώς επίσης και μια δραματική αύξηση των δυσμενών επιπτώσεων. Και είναι πλέον κοινή πεποίθηση ότι η λύση του προβλήματος απαιτεί τη λήψη σημαντικών μέτρων σε διεθνές επίπεδο. Όμως η λήψη τέτοιων μέτρων προϋποθέτει προφανώς της διάθεση σημαντικών κονδυλίων από τους πολιτικούς των διαφόρων χωρών. Επομένως αυτοί πρέπει να έχουν τη θετική γνώμη των επιστημόνων ότι όπως το κλίμα της γης έχει αρχίσει να αλλάζει εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Έτσι οι μεν κλιματολόγοι και υδρολόγοι αντιμετωπίζουν έντονα το παραπάνω πρόβλημα, τα δε κέντρα λήψεως των αποφάσεων των διαφόρων χωρών ζητούν επίμονα πληροφορίες από τους επιστήμονες για πλήρη ενημέρωση των πολιτικών τους προϊσταμένων.

Απάντηση στο πώς θα είναι το κλίμα των ερχόμενων ετών επιχειρείται να δοθεί από τους επιστήμονες με την αναλογική και τη φυσική μέθοδο (Liebscher, 1989, Jones, 1990). Όμως και οι δύο μέθοδοι υπόκεινται σε περιορισμούς και πρέπει να θεωρούνται μόνο σαν "οδηγοί" ή σαν "σενάρια" για το τι είναι πιθανόν να συμβεί με το κλίμα στα ερχόμενα χρόνια (Jones, 1990, Baker, 1992). Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, τα περιφερειακά και εποχικά πρότυπα θερμών περιόδων του κλίματος του παρελθόντος που εντοπίζονται από υπάρχοντα και ανακατασκευασμένα ή έμμεσα στοιχεία (proxy data), χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση παρόμοιων προτύπων στο μέλλον. Αντίθετα με την πρώτη, η φυσική μέθοδος για την επίλυση του ίδιου προβλήματος στηρίζεται στην κατασκευή και μελέτη ομοιομάτων γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (General Circulation Models - GCMs), με βάση τους θεμελιώδεις φυσικούς νόμους και τοποθετώντας στην ατμόσφαιρα μεγαλύτερες ποσότητες CO<sub>2</sub> από τις σημερινές.

Πιθανή μελλοντική αλλαγή του κλίματος θα επιφέρει προφανώς σημαντική αναστάτωση και στις δραστηριότητες της χώρας μας, αφού μεταξύ των άλλων θα επηρεασθούν σημαντικά οι τιμές και η κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και θερμοκρασιών. Μια ένδειξη έναρξης αλλαγής του κλίματος στη χώρα μας ίσως είναι και η αύξηση της συχνότητα εμφάνισης, αλλά και των μεγεθών διαφόρων υδρομετεωρολογικών φαινομένων που εκδηλώνονται τα τελευταία χρόνια (ξηρασίες, πλημμύρες, χαλαζόπτωση, ανεμοθύελλες, συχνή εναλλαγή ψυχρών και θερμών

περιόδων κλπ.).

Η μεταβολή των κατακρημνισμάτων και θερμοκρασιών όταν πραγματοποιηθεί, θα επηρεάσει προφανώς στην Ελλάδα, εκτός των προαναφερομένων δραστηριοτήτων, και τους υδατικούς μας πόρους. Επομένως η διαχείριση αυτών πρέπει να τεθεί σε νέες βάσεις. Για το λόγο αυτό σημαντική εργασία για πιθανή αλλαγή του κλίματος στην Ελλάδα και τις επιπτώσεις αυτής στους υδατικούς μας πόρους έγινε από την Μιμίκου και τους συνεργάτες της (1991a, 1991b) με την εφαρμογή της φυσικής μεθόδου στις λεκάνες απορροής Μεσοχώρας και Συκιάς του Άνω Αχελώου και Πορταϊκού ποταμού της δυτικής Θεσσαλίας.

Προστίθεται ακόμη ότι προς το παρόν η ανίχνευση των ανθρωπογενών παρεμβάσεων που διατάραξαν την ισορροπία και οδήγησαν στην εμφάνιση ακραίων υδρομετεωρολογικών φαινομένων είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιτευχθεί με δενδροχρονολογικές μεθόδους. Όμως και η εξέταση των προτύπων του κλίματος παρελθόντων ετών είναι μεγάλης σημασίας, αφού αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν σημεία αναφοράς (Benchmarks) πιθανών προτύπων του μέλλοντος. Μια τέτοια όμως μελέτη προϋποθέτει την ύπαρξη αξιόπιστων στοιχείων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και θερμοκρασίας πολλών ετών του παρελθόντος, που δυστυχώς για την Ελλάδα δεν υπάρχουν, αφού το σύνολο των σταθμών συλλογής τέτοιων στοιχείων δεν λειτουργούν πάνω από 20-30 χρόνια. Λύση στην εξεύρεση των στοιχείων αυτών υποστηρίζεται πως μπορεί να δώσει η δενδροχρονολογία με κατάλληλη ανάλυση, μελέτη και ερμηνεία των αυξητικών δακτυλίων δασικών δένδρων μεγάλης

ηλικίας.

Για το λόγο αυτό σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η πληροφόρηση των τεχνικών κυρίως επιστημόνων της χώρας για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της επιστήμης της δενδροχρονολογίας και των δυνατοτήτων της για την επίλυση υδρολογικών και κλιματολογικών γενικά προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα η εργασία αυτή στοχεύει στην περιληπτική παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης της δενδροχρονολογίας και των βασικών αρχών (νόμων) στις οποίες στηρίζεται. Επίσης στοχεύει στην παρουσίαση και συζήτηση των διαδικασιών και των κυριότερων μεθόδων μιας δενδροχρονολογικής ανάλυσης με συγκεκριμένο παράδειγμα εφαρμογής τους.

Επιπλέον αποβλέπει στην ανασκόπηση των κυριότερων περιπτώσεων όπου ο επιστημονικός αυτός κλάδος συνέβαλλε στην επίλυση υδρολογικών και κλιματικών προβλημάτων. Τέλος επιδιώκεται η παρουσίαση των περιπτώσεων εφαρμογής της δενδροχρονολογίας στην Ελλάδα και διατυπώνονται προτάσεις και συμπεράσματα για την προώθηση του ενδιαφέροντος του κλάδου αυτού και στη χώρα μας.

## 2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΠΟΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μετά από μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας που αναφέρεται στη δενδροχρονολογία, καταλήγουμε για αυτήν στον παρακάτω ορισμό: Δενδροχρονολογία είναι η επιστήμη που χρησιμοποιεί τους αυξητικούς δακτυλίους των δένδρων για τη χρονολόγηση και μελέτη γεγονότων του παρελθόντος, καθώς και για την επίλυση προβλημάτων του κλίματος και του περιβάλλοντος γενικότερα. (Fritts, 1976, Cook and Kairiukstis, 1990, Kaennel and Scanweingruber, 1995).

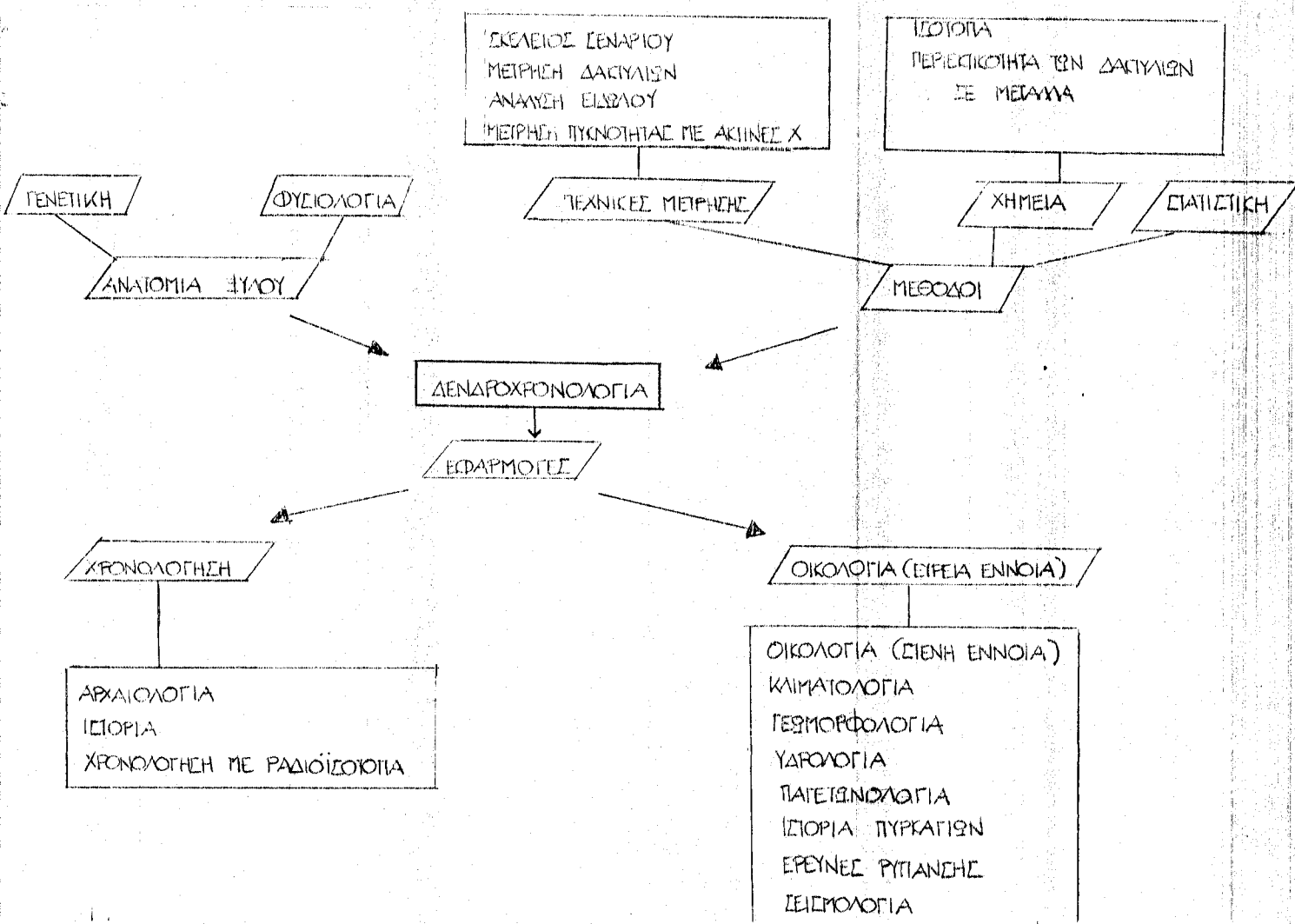
Για την πραγματοποίηση των σκοπών αυτών η δενδροχρονολογία διαιρείται σε ένα αριθμό υποκλάδων και πιο συγκεκριμένα στην:

- α) Δενδροοικολογία, η οποία περιλαμβάνει όλους τους υποκλάδους που χρησιμοποιούν τις χρονοσειρές των δακτυλίων των δένδρων για τη μελέτη των οικολογικών προβλημάτων και του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα: κλίμα (δενδροκλιματολογία), ρεύματα (δενδροϋδρολογία), γεωμορφολογικές διεργασίες (δενδρογεωμορφολογία), μετακινήσεις πάγων (δενδροπαγετωνολογία), χιόνι, τεκτονικές διεργασίες, φωτιές, ανθρωπογενείς παρεμβάσεις κλπ. Απλούστερα θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δενδροοικολογία μελετά τις βιοκοινότητες όχι μόνο του παρελθόντος, αλλά και του παρόντος.

- β) Δενδροκλιματολογία, η οποία όπως αναφέρεται, είναι υποκλάδος της δενδροοικολογίας και χρησιμοποιεί τις χρονοσειρές των δακτυλίων των δένδρων ώστε να ανακατασκευάσει και να μελετήσει τα κλίματα του παρελθόντος και του παρόντος.
- γ) Δενδρογεωμορφολογία, με αντικείμενο τη μελέτη των γεωμορφολογικών διεργασιών του παρελθόντος και του παρόντος, όπως κατολισθήσεων, ερπυσμού του εδάφους, κινήσεων πετρωμάτων/βραχομαζών κλπ.
- δ) Δενδροπαγετωνολογία, που είναι και αυτή υποκλάδος της δενδροοικολογίας και χρησιμοποιεί τις χρονοσειρές των δακτυλίων των δένδρων για τη μελέτη και τη χρονολόγηση των μετακινήσεων των πάγων.
- ε) Δενδροϋδρολογία, που μελετά τα υδρολογικά φαινόμενα, όπως ξηρασίες, πλημμύρες, δίαιτα υδατορρευμάτων, μεταβλητότητα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων κλπ.
- στ) Δενδρολογία που μελετά δείγματα ξύλου και ειδικά την προέλευσή τους και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους.
- ζ) Δενδροαρχαιολογία, η οποία είναι ένα σύστημα επιστημονικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν το ακριβές χρονικό διάστημα κατά το οποίο ένα

δένδρο υλοτομήθηκε, μεταφέρθηκε, παραδόθηκε και χρησιμοποιήθηκε για κατασκευαστικούς σκοπούς.

Για να φανεί όμως καλύτερα η δομή της δενδροχρονολογίας και επιπλέον η σχέση της με τους υποκλάδους της καθώς και με τις επιστήμες από τις οποίες αντλεί πληροφορίες, παρατίθεται το παρακάτω:



Σχήμα 1: Δενδροχρονολογία: Συσχέτιση με άλλους επιστημονικούς κλάδους (Kaennel and Schweingruber, 1955).



### 3. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ

#### 3.1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΜΕΡΙΚΗ

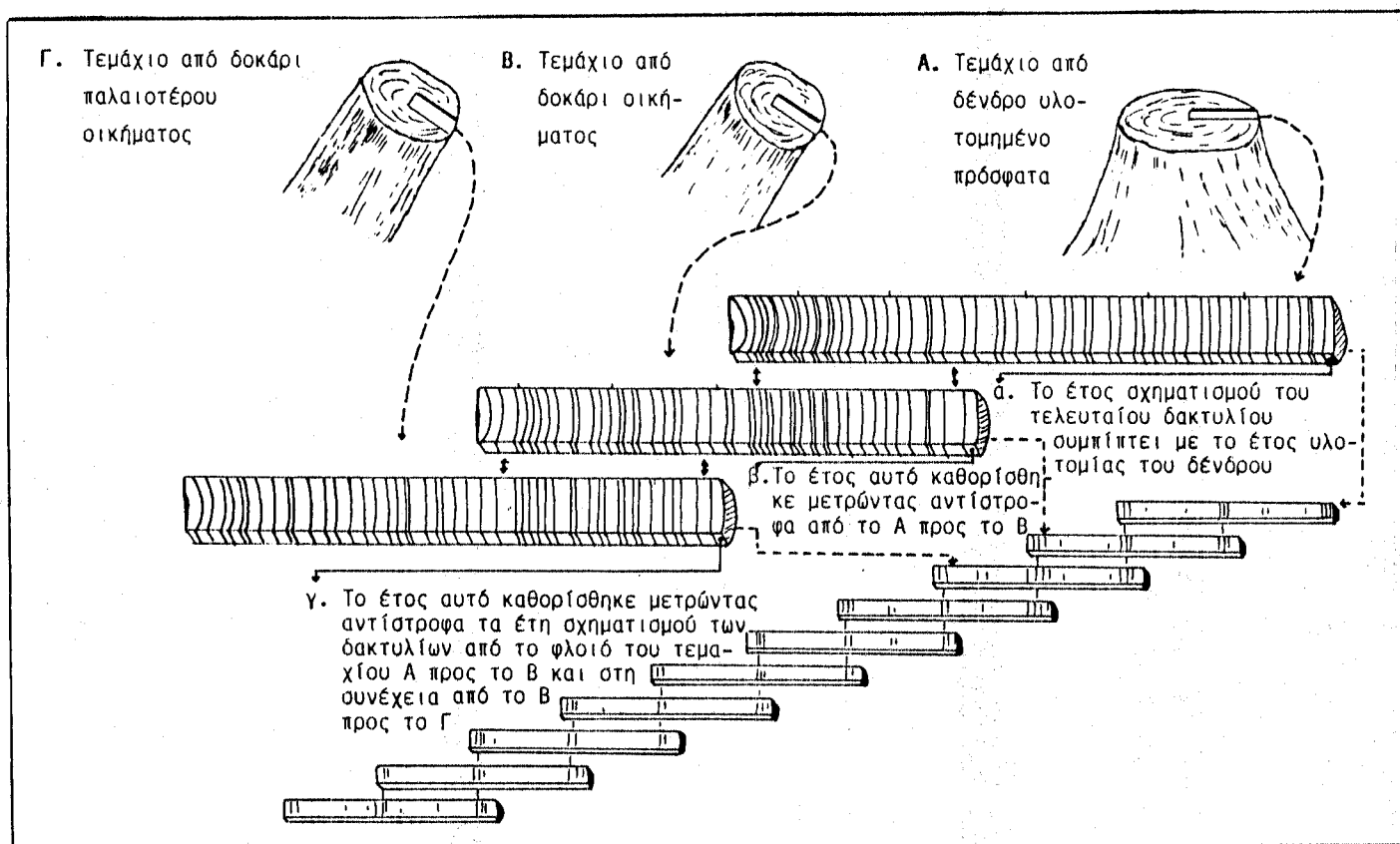
Αναγνωρισμένος θεμελιωτής της δενδροχρονολογίας θεωρείται ο Αμερικανός αστρονόμος Andreus Douglass (Fritts, 1976). Πιο συγκεκριμένα ο Douglass στις αρχές του αιώνα μας, προσπαθώντας να αποδείξει ότι υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στις ηλιακές κηλίδες και το κλίμα και ιδιαίτερα στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, παρατήρησε τη μεγάλη αυξομείωση του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων από χρόνο σε χρόνο σε κορμούς πεύκης στα δάση της Αριζόνας. Έχοντας όμως την εμπειρία από την πατρίδα του τη Νέα Αγγλία, όπου οι ετήσιες αυξομειώσεις των δακτυλίων ήταν μικρές, η βροχόπτωση υψηλή και τα δάση, σε αντίθεση με εκείνα της Αριζόνας πυκνά, υπέθεσε πως η υγρασία του εδάφους και επομένως τα κατακρημνίσματα πρέπει να ήταν ο παράγοντας που καθόριζε το πλάτος των δακτυλίων στην Αριζόνα. Έτσι οι αυξητικοί δακτύλιοι, στενοί και πλατείς, τα ξηρά και υγρά έτη αντίστοιχα, θα μπορούσαν να δώσουν πληροφορίες για τα κατακρημνίσματα και γενικότερα για το κλίμα της περιοχής στα παρελθόντα έτη.

Οι σκέψεις αυτές του Douglass επιβεβαιώθηκαν από τον ίδιο το 1911, όταν σε κορμούς δένδρων από διαφορετική περιοχή της Αριζόνας παρατήρησε τα ίδια πρότυπα (Patterns) αύξησης των δακτυλίων. Αυτό έγινε λαμβάνοντας σαν αρχή το χρόνο που

σχηματίσθηκε ο τελευταίος εξωτερικός δακτύλιος και στη συνέχεια προχωρώντας προς το εσωτερικό του κορμού έγιναν παρατηρήσεις για τη μεταβλητότητα του πλάτους των δακτυλίων με τη σειρά που είχαν μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή, γνωστή σαν διασταύρωση χρονολογιών ή συγχρονισμός (cross-dating), αποτελεί τη βάση της δενδροχρονολογίας, αφού διαφορετικά χωρίς την εξακρίβωση του έτους που σχηματίσθηκε κάθε δακτύλιος σε δένδρα διαφορετικών περιοχών, η εργασία θα ήταν μια απλή μέτρηση των δακτυλίων.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό σημείο των παρατηρήσεων του Douglass ήταν ότι οι αυξομειώσεις του πλάτους των δακτυλίων αποτελούσαν δείκτη των περιβαλλοντικών συνθηκών του παρελθόντος. Έτσι ενώ οι δακτύλιοι κάθε δένδρου αντιπροσώπευαν το μικροκλίμα, ο μέσος όρος του πλάτους πολλών δένδρων έδιναν σαφή εικόνα των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής.

Διαπιστώθηκε ακόμη, πως ήταν δυνατή η κατασκευή χρονοσειρών από δένδρα, που είχαν αλληλοκάλυψη των ηλικιών και κατά συνέπεια ήταν εύκολη η διερεύνηση σημαντικού χρονικού διαστήματος του παρελθόντος, βλ. Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Πρότυπα αυξητικών δακτυλίων από διαφορετικά τεμάχια ξύλο, που τα έτη σχηματισμού τους ταιριάζουν και αλληλοκαλύπτονται μερικώς, προοδευτικά μπορούν να οδηγήσουν τη χρονολόγηση μέχρι τους προϊστορικούς χρόνους. (Stokes and Smiley, 1965).

Η δραστηριότητα του Douglass συνεχίσθηκε και το 1914 (Fritts, 1976) συναντήθηκε με επιστήμονες που επιχειρούσαν τη χρονολόγηση τεμαχίων ξύλο από τις καλύβες των χωριών (Pueblos) των Ινδιάνων και των Αζτέκων του Μεξικού. Έτσι άρχισε η

εφαρμογή της δενδροχρονολογίας στην αρχαιολογία, που σήμερα, όπως αναφέρθηκε, με την κατασκευή χρονοσειρών που επεκτείνονται σε πολλά χρόνια του παρελθόντος, διευκολύνεται σημαντικότερα και η χρονολόγηση αρχαίων περιοχών, τέμπλων κλπ. με πολύ μεγάλη ακρίβεια, που συχνά οδηγεί και σε διόρθωση προηγούμενων χρονολογιών που εξακριβώθηκαν με διαφορετικό τρόπο (Τσούμης, 1989). Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η χρονοσειρά που επέτυχε να ανακατασκευάσει ο Douglass επεκτεινόταν από το 700 έως το 1929 μ.Χ.

Δυο μαθητές του παρείχαν εξαιρετική βοήθεια στον Douglass για την ανάπτυξη και επέκταση της ανάλυσης των δακτυλίων των δένδρων - και σε άλλα προβλήματα - σε νέα είδη και σε μεγαλύτερη ποικιλία περιοχών. Ο Glock, γεωλόγος, συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη ποσοτικών αναλυτικών τεχνικών, ενώ ο Schulman, αστρονόμος και κλιματολόγος, έτεινε περισσότερο προς τη στατιστική ανάλυση και τις δενδροχρονολογικές τεχνικές.

Το 1937 ο Douglass ίδρυσε στην Αριζόνα το πρώτο ερευνητικό εργαστήριο αυξητικών δακτυλίων στον κόσμο και ίσως σήμερα είναι το πιο οργανωμένο από τα υπάρχοντα με σημαντικότερη προσφορά και από τον Fritts, που τον διαδέχθηκε (Fritts, 1976). Βέβαια στην Αμερική υπάρχει σημαντικός αριθμός και άλλων δενδροχρονολογικών εργαστηρίων που προσφέρουν πολυτιμότες πληροφορίες στην επίλυση υδρολογικών και γενικότερα κλιματικών προβλημάτων, που αρκετά από αυτά αναφέρονται στο Κεφάλαιο των δενδροχρονολογικών εφαρμογών σε

χώρες του εξωτερικού (Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>).

### 3.2. Η ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η Αμερική δεν είναι βέβαια η μόνη χώρα, όπου αναπτύχθηκε και εφαρμόσθηκε η δενδροχρονολογία. Στην Ευρώπη χρησιμοποιήθηκε εκτενέστατα για τη μελέτη των επιπτώσεων της βιομηχανικής ρύπανσης στο περιβάλλον. Πριν από έναν αιώνα και πλέον, ήδη χρησιμοποιείτο η δενδροχρονολογία για να αναγνωρισθεί και να υπολογιστεί η αρνητική επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα δάση (Stoeckhardt, 1871).

Όμως η δενδροχρονολογία με την αρχική στενή έννοια του όρου αναπτύχθηκε σχεδόν ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές μελέτες. Το 1880 ο Ολλανδός δασολόγος Karpeyn (1914) μέτρησε Ολλανδικές και Γερμανικές δρυς (*Quercus trees*) και τις συγχρόνισε. Παρόλα αυτά θεωρείται ότι ο Γερμανός βοτανολόγος Huber (1940) έθεσε τις βάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη και τη συστηματική εφαρμογή της μεθόδου στην Ευρώπη. Ο Huber προχώρησε πέρα από αυτά που εισήγαγε ο Douglass και απέδειξε ότι ήταν απαραίτητη η μέτρηση καθενός δακτυλίου, γιατί η ετήσια διακύμανση δεν έβρισκε εφαρμογή εδώ όπως στα δένδρα των ημίξηρων περιοχών. Έτσι έκρινε ότι δεν ήταν σκόπιμο η χρονολόγηση να βασίζεται μόνο στους στενούς δακτυλίους.

Στη συνέχεια ο επιστημονικός αυτός κλάδος αναπτύχθηκε

σε όλες σχεδόν τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Επίσης από πολύ νωρίς, άρχισε να εφαρμόζεται και στην τέως Σοβιετική Ένωση και μάλιστα με τη μορφή της δενδροκλιματολογίας, αφού το 1882 είχε δημοσιευθεί η πρώτη μελέτη στην Οδησό της Ουκρανίας, που αφορούσε ανάλυση δακτυλίων ακακίας για την ανακατασκευή των χρονοσειρών των κατακρημνισμάτων. Σήμερα υπάρχουν πολύ οργανωμένα εργαστήρια δενδροχρονολογίας στην Γαλλία, Αγγλία, Ιταλία, Ρωσία κλπ., που ασχολούνται με επίκαιρα περιβαλλοντικά προβλήματα.

### 3.3. Η ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟ

Δυστυχώς η έρευνα στο Νότιο Ημισφαίριο άρχισε σχετικά αργά και έτσι μόνο τα τελευταία 10-15 χρόνια παρατηρήθηκε ικανοποιητική ανάπτυξη της δενδροχρονολογίας στις περιοχές αυτές.

Ευγκεκριμένα στη Νότιο Αμερική πρωτοπαρουσιάστηκαν χρονοσειρές από τον Schulman το 1956, ο οποίος μελέτησε κέδρους στην Χιλή (*Austrocedrus chilensis*) και πεύκα (*Araucaria araucana*) από την Αργεντινή. Η μελέτη των δένδρων αυτού του είδους συνεχίστηκε μέχρι τις μέρες μας, ενώ μελετήθηκαν επίσης και άλλα είδη της περιοχής.

Αντιθέτως στην Νότιο Αφρική οι έρευνες δεν προήχθησαν λόγω της έλλειψης κατάλληλων δένδρων (Lilly, 1977, Dyer, 1982).

Για την Αυστραλία, ο ευκάλυπτος, που βρίσκεται σε σαφή

κυριαρχία σε σχέση με τα άλλα είδη, δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα στις δενδροχρονολογικές μελέτες. Αντιθέτως τα πλέον κατάλληλα για τις μελέτες αυτές γένη της περιοχής είναι τα *arthrotaxis*, *Phyllocladus* και *Lagarostrobos* (Ogden, 1987a, 1987b, La Marche et al., 1972 d, Dunwiddie and La Marche, 1980 b, Francey et al., 1984). Η επιμηκέστερη σειρά που επιτεύχθηκε ήταν για την *Arthrotaxis cypressoides* και εκτείνεται από το 1928 έως το 1974.

Τέλος στην Νέα Ζηλανδία η έρευνα βρίσκεται σε πολύ αρχικό στάδιο, επειδή αντιμετωπίσθηκε από την αρχή με φιλυποψία. Παρόλα αυτά έχουμε κάποια δείγματα προόδου από το 1975.

Πιθανότατα ο σοβαρότερος περιορισμός για την ανάπτυξη της δενδροχρονολογίας στο Νότιο Ημισφαίριο είναι η έλλειψη γνώσεων για τη φυσιολογία και την ιστορία των ειδών των δένδρων που φύονται στην περιοχή. Εφόσον αυτό το κενό αναπληρωθεί, η ανάπτυξη της δενδροχρονολογίας στο Νότιο Ημισφαίριο δεν φαίνεται να έχει να αντιμετωπίσει άλλα εμπόδια.

Τέλος επισημαίνεται ότι ο επιστημονικός αυτός κλάδος τυγχάνει εφαρμογής και στην Ελλάδα και περισσότερες πληροφορίες δίνονται στο Κεφάλαιο των δενδροχρονολογικών εφαρμογών στην Ελλάδα (Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>).

#### 4. ΝΟΜΟΙ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ

Κάθε επιστήμη αποτελείται από ένα σκελείο γνώσεων, από τις οποίες μπορούν να γίνουν γενικεύσεις. Αυτές οι γενικεύσεις, που βασίζονται σε επανειλημμένες παρατηρήσεις και στην εμπειρία, μπορούν να περιγραφούν ως νόμοι, που αποτελούν τις θεμελιώδεις αλήθειες της επιστήμης. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί νόμοι της δενδροχρονολογίας.

##### A. Ο νόμος της ομοιότητας (The uniformitarian principle)

Ενας νόμος που είναι βασικός για οποιαδήποτε μελέτη του παρελθόντος είναι ο νόμος "της ομοιότητας σύμφωνα με τους κανόνες της φύσης", όπως αρχικά προτάθηκε από τον James Hutton το 1785. Διατυπώνεται απλά ως εξής:

" Το παρόν είναι το κλειδί για το παρελθόν "

Εφαρμοσμένος στη δενδροχρονολογία, ο νόμος της ομοιότητας υποδηλώνει ότι οι φυσικές και βιολογικές διεργασίες που συνδέουν το σημερινό περιβάλλον με τη σημερινή μεταβλητότητα της ανάπτυξης των δένδρων πρέπει να συνέβαιναν και στο παρελθόν. Αντίστοιχα, οι μεταβολές του καιρού και τα κλιματικά μοντέλα που παρατηρούνται σήμερα πρέπει επίσης να είχαν εμφανιστεί και στο παρελθόν. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι το κλίμα των παρελθόντων εποχών ήταν το ίδιο με το σημερινό. Σημαίνει ότι οι ίδιες μορφές περιοριστικών συνθηκών επηρέασαν κατά τον ίδιο τρόπο τις ίδιες μορφές διεργασιών στο παρελθόν όπως και στο παρόν, μόνο που οι



συχνότητες, οι εντάσεις κι οι θέσεις των περιοριστικών συνθηκών που επηρεάζουν την ανάπτυξη μπορεί να έχουν αλλάξει. Κατ'αυτόν τον τρόπο, μπορεί κάποιος να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ της ανάπτυξης των δένδρων και του σημερινού κλίματος και να συνάγει συμπεράσματα από παλιούς δακτύλιους για τη φύση του κλίματος του παρελθόντος.

Παρ'όλα αυτά, για να συναχθούν τέτοιου είδους συμπεράσματα, είναι σημαντικό όλο το εύρος της μεταβλητότητας του κλίματος του παρελθόντος να εμπεριέχεται στο δείγμα της μεταβλητότητας του κλίματος του παρόντος. Για παράδειγμα, τουλάχιστον το κλίμα ενός έτους πρέπει να είναι εξίσου ξηρό και ενός άλλου εξίσου υγρό στην παρούσα περίοδο βαθμονόμησης (calibration) όπως ήταν στα ακραία γεγονότα του παρελθόντος. Αν αυτό δεν συμβαίνει και οι συνθήκες του παρελθόντος είναι εκτός του χώρου επικρατείας του σημερινού κλίματος, τότε τα συμπεράσματα μπορεί να είναι ακατάλληλα και ανακριβή. Ο νόμος της ομοιότητας είναι προϋπόθεση για όλα τα δενδροχρονολογικά συμπεράσματα και όπως σε όλες τις επιστήμες που ασχολούνται με το παρελθόν, αν δεν τηρείται αυτός ο νόμος δεν μπορούν να συναχθούν συμπεράσματα σε σχέση με το παρελθόν. Ελεγχος των πραγματικών κλιματικών συνθηκών του παρελθόντος, χρησιμοποιώντας δεδομένα και στοιχεία ανεξάρτητα των δακτυλίων των δένδρων, ενισχύουν την ισχύ του νόμου της ομοιότητας για τις δενδροκλιματολογικές έρευνες. Έτσι, είναι λογικό ότι μπορούν ασφαλώς να συναχθούν συμπεράσματα για τα κλίματα του πρόσφατου παρελθόντος με τη

χρήση των μεθόδων της δενδροκλιματολογίας.

**B. Ο νόμος των περιοριστικών παραγόντων (The principle of the limiting factors)**

Ο γνωστός βιολογικός νόμος ή νόμος των περιοριστικών παραγόντων διατυπώνεται ως εξής:

" Μια βιολογική διεργασία, όπως η ανάπτυξη, δεν μπορεί να προχωρήσει γρηγορότερα από ότι επιτρέπεται από τον παράγοντα που βρίσκεται σε ανεπάρκεια, ακόμη κι αν οι υπόλοιποι παράγοντες βρίσκονται στο άριστο".

Οι ίδιοι παράγοντες μπορεί να είναι περιοριστικοί μέχρι κάποιου σημείου για όλα τα χρόνια, αλλά ο βαθμός κι η διάρκεια της περιοριστικής τους επιρροής διαφέρουν από τον ένα χρόνο στον επόμενο. Αν ένας παράγοντας αλλάξει, ώστε να πάψει να είναι περιοριστικός, το ποσοστό των φυτικών διεργασιών θα αυξηθεί έως ότου κάποιος άλλος παράγοντας γίνει περιοριστικός. Για παράδειγμα, κατά την περίοδο άφθονης αλλά όχι ακραίας υγρασίας, η ανάπτυξη θα αυξηθεί ώσπου να περιοριστεί από κάποια άλλη συνθήκη. Αυτός ο νόμος είναι σημαντικός για τη δενδροχρονολογία επειδή το πλάτος των δακτυλίων των δένδρων μπορεί μόνο τότε να συγχρονισθεί/χρονολογηθεί παράλληλα, όταν ένας ή περισσότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες γίνουν κρίσιμα περιοριστικοί, για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα και επενεργούν σε μία αρκετά ευρεία γεωγραφική περιοχή ώστε να προκαλέσουν την ίδια μεταβλητότητα στα πλάτη των δακτυλίων

των δένδρων ή σε άλλα στοιχεία.

Ο νόμος υποδηλώνει ότι οι στενότεροι δακτύλιοι δίνουν ακριβέστερες πληροφορίες για τις περιοριστικές κλιματικές συνθήκες απ'ότι οι πλατύτεροι δακτύλιοι. Κατά την διάρκεια των ετών που οι δακτύλιοι είναι γενικώς πλατείς, οι παράγοντες μπορεί να γίνουν περιοριστικοί σε διαφορετικό βαθμό για κάθε δένδρο, αναλόγως της θέσης του, της οικολογικής του θέσης στην τοποθεσία και μιας μεγάλης ποικιλίας μη κλιματικών παραγόντων. Σαν αποτέλεσμα μπορεί να υπάρχει μεγάλη διακύμανση στα μοντέλα ανάπτυξης των διαφόρων δένδρων. Αν η ανάπτυξη ενός δένδρου δεν περιορίζεται ποτέ από τις κλιματικές ή τις περιβαλλοντικές συνθήκες, δεν θα υπάρχουν πληροφορίες για το κλίμα στα πλάτων των δακτυλίων, οι οποίοι δεν θα συγχρονίζονται. Καμμιά μελέτη οσοδήποτε μεγάλη - πάνω σε πλάτη δακτυλίων από τέτοια δένδρα δεν αναμένεται να δώσει πληροφορίες για τα κλίματα του παρελθόντος.

**Γ. Ο νόμος του οικολογικού εύρους (The concept of ecological amplitude)**

"Κάθε είδος, ανάλογα με τις κληρονομικές του καταβολές που καθορίζουν το φαινότυπό του, μπορεί να αναπτυχθεί και να αναπαραχθεί σε ορισμένο εύρος του φυσικού περιβάλλοντος. Το εύρος αυτό καλείται οικολογικό εύρος".

Κάποια είδη αναπτύσσονται σε μεγάλο εύρος φυσικού περιβάλλοντος γιατί οι κληρονομικές τους καταβολές

επιτρέπουν μεσαίο οικολογικό εύρος. Αλλά έτσι περιορίζονται σε μικρού πλήθους συγκεκριμένες θέσεις επειδή η κληρονομικότητά τους επιτρέπει μικρό οικολογικό εύρος και κάποια άλλα είδη όπως τα *Pinus radiata* και *Sequoiadendron giganteum*, τα οποία έχουν μεγάλα οικολογικά εύρη, έχουν περιοριστεί σε συγκεκριμένες φυσικές τοποθεσίες λόγω ερήμωσης σαν αποτέλεσμα γεωγραφικών παραγόντων.

Στο κέντρο της γεωγραφικής του διασποράς, ένα είδος βρίσκεται συνήθως στο μέγιστο αριθμό θέσεων κι οι κλιματικοί παράγοντες σπάνια είναι περιοριστικοί για την ανάπτυξη εκτός από τις περιπτώσεις ακραίων κλιματικών συνθηκών και στις περιοριστικότερες τοπικές συνθήκες. Στα άκρα του χώρου διασποράς αντίθετα, ένα είδος συναντάται σε σχετικά μικρό αριθμό θέσεων και το κλίμα γίνεται μεγίστως περιοριστικό για τις φυσιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης και της ανάπτυξης.

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του είδους επηρεάζεται στα θερμομόρια και ψυχρομόρια του αυξητικού χώρου από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία αντίστοιχα και επομένως τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην επιλογή ατόμων για δενδροχρονολογική ανάλυση.

## 5. ΣΤΑΔΙΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 5.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΙΔΟΥΣ ΔΕΝΔΡΟΥ, ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΤΟΜΩΝ

Κατά το στάδιο σχεδιασμού μια δενδροϋδρολογικής και γενικότερα μιας δενδροχρονολογικής μελέτης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη αν το είδος του δένδρου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί είναι κατάλληλο για τέτοιες αναλύσεις. Πιο συγκεκριμένα αυτό πρέπει να παράγει εμφανείς αυξητικούς δακτυλίους και οι αυξομειώσεις του πλάτους του από χρόνο σε χρόνο (ευαισθησία) να είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν τον εντοπισμό και τη σύγκριση των δακτυλίων που σχηματίστηκαν την ίδια χρονιά σε άτομα διαφορετικών περιοχών (cross-dating). Επίσης το είδος του δένδρου δεν πρέπει να παράγει ψευδείς ή ασυνεχείς δακτυλίους και για να επιτρέψει τη μελέτη των κλιματικών μεταβλητών για πολλά χρόνια του παρελθόντος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγάλης ηλικίας. Ακόμη πρέπει να τονισθεί ότι κατά τη δενδροχρονολογική μελέτη μιας περιοχής δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται και να αναμιγνύονται περισσότερα από ένα είδη δένδρων, ώστε οι γενετικοί παράγοντες που καθορίζουν την αύξηση να διατηρούνται όσο το δυνατόν σταθεροί. Εξυπακούεται, βέβαια, αλλά και είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο, τρία ή και περισσότερα είδη μιας περιοχής, χωρίς την ανάμειξη των δακτυλίων.

Από τα δασοπονικά είδη που αναπτύσσονται και στην

Ελλάδα, χρησιμοποιήθηκαν στη δενδροχρονολογία από ξένους και Έλληνες ερευνητές η πεύκη (χαλέπιος, κουκουναριά, τραχεία, μαύρη, θαλασσία, δασική και λευκόδερμος), λευκή ελάτη, η ερυθρεκίτη, η δασική οξυά, καθώς και η δρυς (χνοώδης, απόδισκος και ευθύφλοιος) (Cook and Kairiukstis, 1990). Το κυπαρίσσι έχει χρησιμοποιηθεί πολύ περιορισμένα γιατί συνήθως σχηματίζει ψευδείς δακτυλίους (Fritts, 1976, Ewel and Palencles, 1984). Γενικά, σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο, έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για τέτοιες αναλύσεις διάφορα είδη πεύκης και δρυός, η ερυθρελάτη κι η λάρικα. Όμως σαν πιο κατάλληλο από όλα τα είδη θεωρείται η λάρικα λόγω της μεγάλης ευαισθησίας που έχει στη μεταβλητότητα του κλίματος.

Απαραίτητο επίσης είναι, οι δενδροχρονολόγοι να εφαρμόζουν το νόμο των περιοριστικών παραγόντων, καθώς και αυτόν του οικολογικού εύρους όταν λαμβάνουν το υλικό της έρευνάς τους, έτσι ώστε να κάνουν επιλογή δένδρων, που θα τους δώσουν τις πληροφορίες που χρειάζονται. Αυτή η επιλογή καλείται επιλογή των θέσεων από τις οποίες θα χρησιμοποιηθούν τα άτομα για ανάλυση των αυξητικών δακτυλίων και έπειτα του καθορισμού του είδους του δένδρου προς ανάλυση. Έτσι αν η μελέτη αφορά τα χαρακτηριστικά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ή απορροών του παρελθόντος, πρέπει να επιλέγονται θέσεις όπου η βροχή είναι όσο το δυνατόν περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση των δένδρων. Τέτοιες θέσεις βρίσκονται κυρίως στα θερμοόρια του οικολογικού εύρους εξάπλωσης του είδους, σε ράχες και σε πλαγιές με νότιες εκθέσεις, αβαθή εδάφη και διαπερατά

πετρώματα. Αντίθετα όμως με τα παραπάνω, αν η έρευνα αποβλέπει στη μελέτη των χαρακτηριστικών της θερμοκρασίας του παρελθόντος, η επιλογή των θέσεων πρέπει να γίνεται στα ψυχρόρια του οικολογικού εύρους του είδους, όπου τα κατακρημνίσματα δεν είναι περιοριστικός για την ανάπτυξη παράγοντας. Ακόμα επισημαίνεται πως αν η έρευνα έχει οικολογικό σκοπό και πιο συγκεκριμένα αν επιδιώκει τη μελέτη της επίδρασης φυσιολογικών, τοπογραφικών, εδαφικών, ενδοσυσταδικών κ.λπ. παραγόντων στην αύξηση των δένδρων, τότε η επιλογή θέσεων πρέπει να γίνεται με τρόπο που να περικλείονται οι παραπάνω παράγοντες και ανεξάρτητα αν αυτές είναι υγρές ή ξηρές. Βέβαια σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις η επιλογή θέσεων εξαρτάται και από την ύπαρξη σταθμών καταγραφής των κλιματικών μεταβλητών και η ύπαρξη ενός τέτοιου σταθμού σε απόσταση μέχρι και 25-30 χλμ. από τη θέση επιλογής μπορεί να αξιοποιηθεί (Fritts, 1976).

Το επόμενο στάδιο είναι η επιλογή ατόμων του συγκεκριμένου είδους δένδρου σε κάθε θέση. Και στην περίπτωση αυτή, αν η μελέτη αφορά τα κατακρημνίσματα, τη θερμοκρασία κ.λπ., η επιλογή τους γίνεται από τον ερευνητή με κριτήρια που εκείνος ορίζει ώστε να εκπληρωθεί ο σκοπός της μελέτης. Κατά κανόνα όμως επιλέγονται άτομα του ανώρου μεγάλης ηλικίας, κυλινδρόμορφα, κατακόρυφα, με κλάδους σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος του κορμού και εξωτερικά υγιή.

Ο αριθμός των ατόμων σε κάθε θέση συνήθως κυμαίνεται από 20-30 και θεωρείται ικανοποιητικός για να καλύψει τις διαφορές στην αύξηση μεταξύ τους λόγω του μικροκλίματος. Έτσι

ο μέσος όρος της αύξησης για κάθε έτος των επιλεγόμενων ατόμων ανταποκρίνεται στην αύξηση της θέσης του εξαρτάται από τις κλιματικές μεταβλητές, αφού βέβαια, όπως αναφέρεται παρακάτω, εξαλειφθεί από το πλάτος κάθε δακτυλίου το ποσοστό εκείνο που οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες.

Στο παρελθόν τέθηκε το ερώτημα αν είναι καλύτερα να επιλέγονται ως δείγματα τα πιο ευαίσθητα στην ξηρασία δένδρα και αυτά να επιλέγονται τυχαία από το σύνολο των δένδρων της συστάδας. Όμως όπως επισημαίνεται από έμπειρους ερευνητές (Fritts, 1976, Cook and Kairiukstis, 1990), αυτοί που έθεσαν το ερώτημα δεν φαίνεται να έλαβαν υπόψη πως ο δενδροχρονολόγος ακολουθεί ορισμένη στρατηγική και επιδιώκει να συλλέξει πληροφορίες από τα δένδρα εκείνα που η αύξησή τους καθορίζεται κυρίως από κλιματικούς παράγοντες που βρίσκονται στο ελάχιστο..

## 5.2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΥΞΗΤΙΚΩΝ ΤΡΥΠΑΝΙΔΙΩΝ

Η εξαγωγή των τρυπανιδίων από τα επιλεγμένα δένδρα των θέσεων γίνεται στο στήθαίο ύψος (1,50μ.), ώστε να αποφεύγονται τα σφάλματα του κορμού στη βάση. Σε περίπτωση όμως που ο κορμός είναι χωρίς σφάλματα, το ύψος αυτό μειώνεται ώστε να συμπεριληφθούν στο τρυπανίδιο περισσότεροι δακτύλιοι. Από κάθε δένδρο λαμβάνονται δύο τουλάχιστον τρυπανίδια και σε πλάγια εδάφη αποφεύγεται η λήψη από το επάνω και κάτω μέρος του κορμού ώστε οι δακτύλιοι να μην περικλείουν ακανόνιστο ξύλο. Όταν

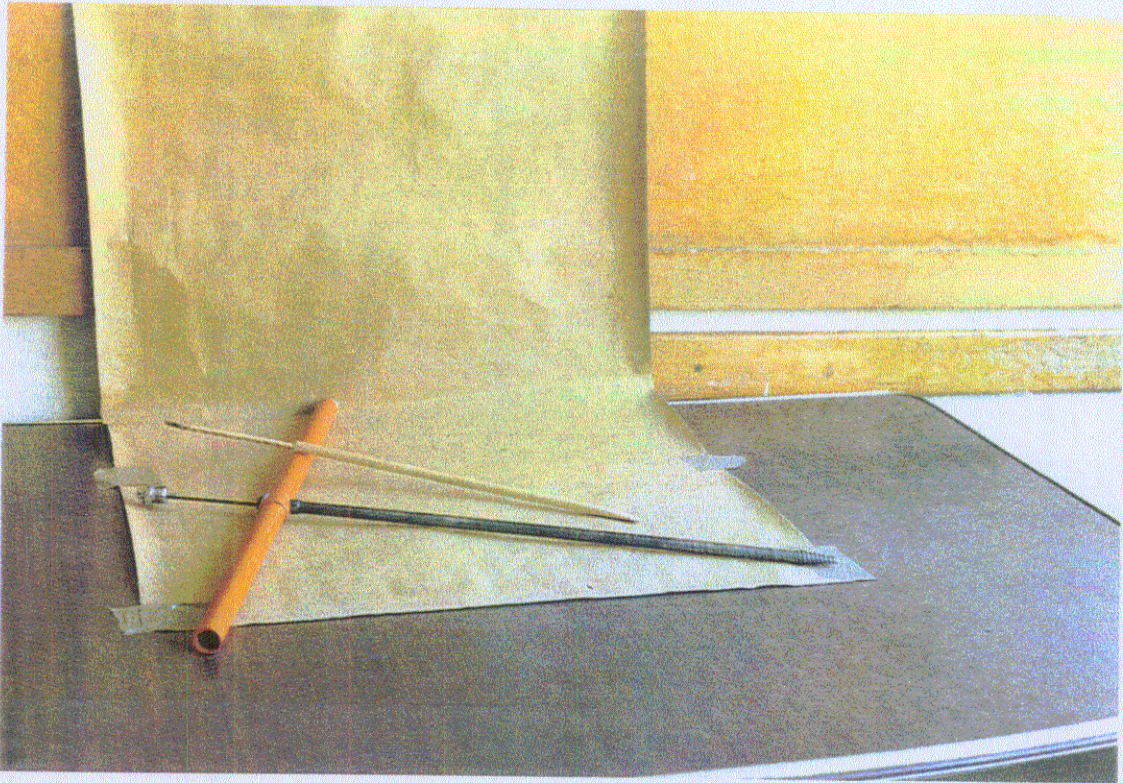


εξάγονται τρία τρυπανίδια ανά δένδρο, τότε συνήθως η μεταξύ τους γωνία είναι  $120^\circ$ . Βέβαια η μελέτη θα μπορούσε να γίνει με περισσότερη ακρίβεια αν τα δένδρα υλοτομούνταν και λαμβάνονται διατομές του κορμού. Όμως στη δενδροχρονολογία ο αριθμός των δένδρων που μελετώνται είναι μεγάλος κι έτσι η περίπτωση αυτή είναι πρακτικά ανεφάρμοστη.

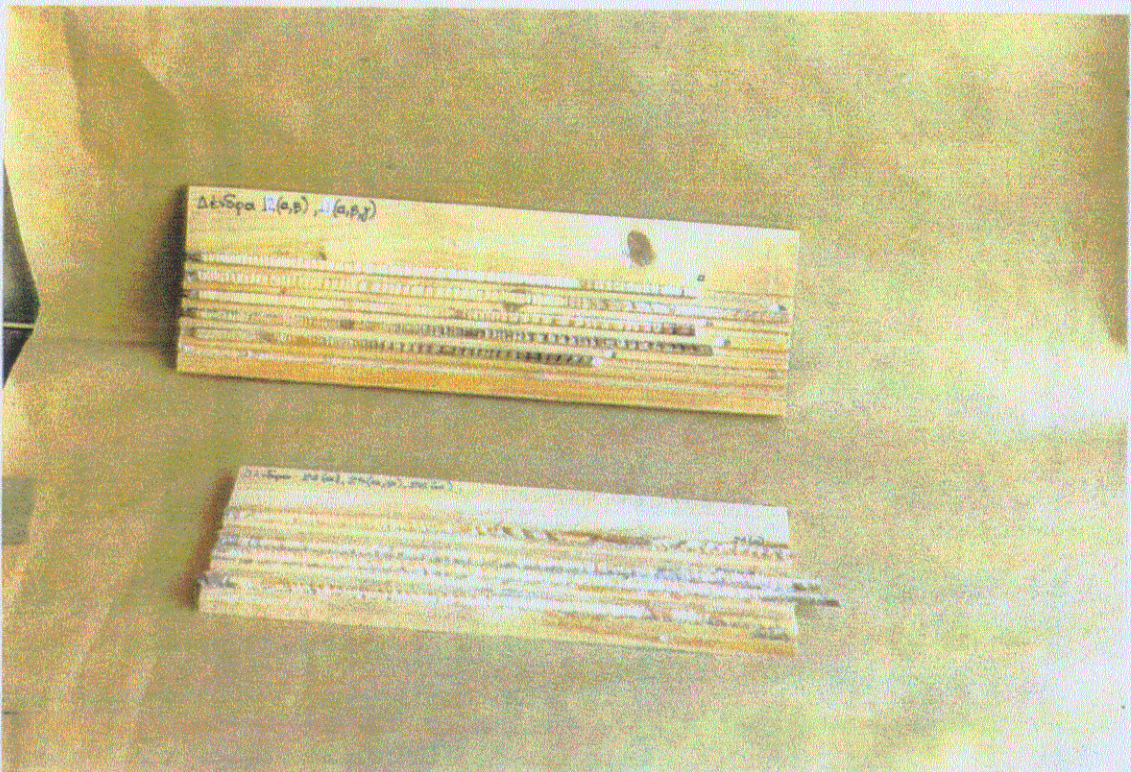
Τα τρυπανίδια μετά την εξαγωγή τους πρέπει να τοποθετούνται σε ειδικές θήκες (Soda paper staws), (Φωτογραφία 1) για να αποφεύγεται η δημιουργία ραγάδων ή το σπάσιμο λόγω ρίκνωσης. Στη συνέχεια προσκολώνται μόνιμα σε εγκοπές τεμαχίου ξύλου (σανίδας), (Φωτογραφία 2), με τις ίνες ή με τις τραχίδες κάθετες προς αυτό, ώστε οι δακτύλιοι να είναι περισσότερο εμφανείς. Μετά το στάδιο αυτό ακολουθεί η λείανση των τρυπανιδίων με ξυλουργικά όργανα και γυαλόχαρτο.

### 5.3. ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Συγχρονισμός ή διασταύρωση χρονολογιών σχηματισμού των αυξητικών δακτυλίων (cross-dating) είναι ο καθορισμός του ακριβούς έτους που σχηματίσθηκε καθένας από αυτούς στα τρυπανίδια της περιοχής. Ο συγχρονισμός είναι ένα από τα σημαντικότερα στάδια της δενδροχρονολογίας. Η εφαρμογή του δίνει ένα είδος πειραματικού ελέγχου, γιατί επιβεβαιώνει την ορθότητα της χρονολόγησης κάθε δακτυλίου. Οι δακτύλιοι όλων των ακτινικών κομματιών που λάβαμε από έναν κορμό, από όλα τα



Φωτογραφία 1: Προσαυξητική τρυπάνη για την εξαγωγή των τρυπανιδίων και ειδική θήκη από χαρτί για βαθμιαία αποξήρανσή τους.



Φωτογραφία 2: Ειδικά κατασκευασμένα τεμάχια ξύλου για προσκόλληση και περαιτέρω επεξεργασία των τρυπανιδίων.



Φωτογραφία 3: Διατομές του κορμού των ατόμων Μαύρης πεύκης, που χρησιμοποιήθηκαν στην δενδροχρονολογική ανάλυση.



Φωτογραφία 4: Μέτρηση του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων Digitalpositionmeter.



Φωτογραφία 5: Χαρακτηριστικά μέρη του οργάνου μέτρησης (5α, 5β).

δένδρα μιας τοποθεσίας και όλες οι σειρές πλατιών δακτυλίων από γειτονικές περιοχές θα πρέπει να συγχρονίζονται. Οι διαφορές στα χαρακτηριστικά των δακτυλίων, ειδικά στο πλάτος τους, μελετώνται και συγχρονίζονται για όλα τα δείγματα μιας δεδομένης περιοχής. Αν υπάρχει αρκετή διαφοροποίηση στους δακτυλίους δένδρων και η δειγματοληψία είναι αρκετά εκτεταμένη, μπορεί να επιβεβαιωθεί το έτος στο οποίο σχηματίστηκε ο κάθε δακτύλιος. (Fritts, 1976).

Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται επειδή οι ίδιες ή αντίστοιχες περιβαλλοντικές συνθήκες είναι περιοριστικές για τα πλάτων των δακτυλίων ενός μεγάλου αριθμού δένδρων και για τις από χρονιά σε χρονιά διακυμάνσεις των περιοριστικών περιβαλλοντικών παραγόντων, οι οποίοι είναι παρόμοιοι σε μία περιοχή και προκαλούν ταυτόχρονες μεταβολές στη δομή των δακτυλίων. Το γεγονός ότι μπορεί να επιτευχθεί συγχρονισμός είναι απόδειξη ότι υπάρχουν κλιματικές και περιβαλλοντικές πληροφορίες κοινές για τα δένδρα που αποτελούν το δείγμα.

Συνολικά ο συγχρονισμός εμπεριέχει το ταίριασμα των μοντέλων των πλατιών των δακτυλίων των δειγμάτων, την εξέταση της ταυτίσεως του χρόνου, την αναγνώριση ελλείψεων ή συμπτώσεων, την εύρεση απόντων, ψευδών ή μη αρέα παρατηρημένων δακτυλίων, την εξέταση των συμπερασμάτων με προσεκτική μελέτη της δομής των δακτυλίων σε άλλα δείγματα και τέλος την κατάληξη στη σωστή τοπική χρονολόγηση, που προέρχεται από τη συμφωνία των σειρών ανάπτυξης των δένδρων σε γειτονικές περιοχές (Fritts, 1996).

Μια απλή μέθοδος συγχρονισμού (Picket, 1981) αρχίζει με την αρίθμηση των δακτυλίων ορισμένων τρυπανιδίων από το φλοιό προς την εντεριώνη, λαμβάνοντας υπόψη τη χρονιά σχηματισμού του τελευταίου εξωτερικού δακτυλίου. Σε κάθε τρυπανίδιο επισημαίνεται η ύπαρξη στενών, πλατειών ή συνδυασμού τέτοιων δακτυλίων που αποτελούν ορισμένο πρότυπο (pattern) και υπολογίζεται η χρονιά παραγωγής καθενός απ' αυτούς τους χαρακτηριστικούς δακτυλίου. Στη συνέχεια γίνεται έγκριση αυτών των τρυπανιδίων για να διαπιστωθεί αν οι χρονιές που παρήχθησαν οι χαρακτηριστικοί δακτύλιοι συμπίπτουν σε όλα ή τουλάχιστον στο σύνολο των τρυπανιδίων που εξετάσθηκαν. Αν αυτό συμβαίνει, τότε οι χρονιές αυτές χαρακτηρίζονται ως "κλειδιά" (key cross - dating years) για το σχηματισμό των δακτυλίων στα υπόλοιπα τρυπανίδια. Με τον τρόπο αυτό μπορεί προφανώς να γίνει συγχρονισμός τρυπανιδίων που ελήφθησαν από διάφορες περιοχές με σημαντική απόσταση μεταξύ τους.

Μια άλλη μέθοδος συγχρονισμού (Stokes and Xmilley, 1965), συνιστάται στη γραφική παράσταση του πλάτους των δακτυλίων των τρυπανιδίων σε συνάρτηση με τη χρονιά παραγωγής τους και στη συνέχεια στη σύγκριση των καμπυλών αυτών σε φωτεινή μετροτράπεζα.

Κι οι δύο παραπάνω μέθοδοι συγχρονισμού του χρόνου των δακτυλίων χαρακτηρίζονται ως ποιοτικές (οπτικές). Σήμερα όμως με την εξέλιξη των η/υ ο συγχρονισμός γίνεται και ποσοστικά (στατιστικά), όπως π.χ. με τη χρήση του προγράμματος Catras - Computer aided tree-ring analysis system - (Ariol, 1983) και

έτσι ο χρόνος εργασίας μειώνεται σημαντικά.

Η μέτρηση του πλάτους των ετήσιων δακτυλίων είναι το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας των τρυπανιδίων. Τα πλάτη σήμερα μετρώνται με ηλεκτρονικά όργανα (digital-position meters) και με ακρίβεια δύο εκατοστών του χιλιοστού. Τα όργανα αυτά διαθέτουν monitor, συνδέονται με η/υ για τη στατιστική ανάλυση των στοιχείων και μετρούν το πλάτος των δακτυλίων τόσο από τρυπανίδια όσο και από διατομές του κορμού των δένδρων. Περιγραφή του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας γίνεται στο κεφάλαιο 6.

#### 5.4. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Ένα από τα πλέον σημαντικά στάδια μιας δενδροχρονολογικής έρευνας είναι η σταθεροποίηση (standardization) των τιμών του πλάτους των ετήσιων δακτυλίων ενός δένδρου, πριν από τη συσχέτιση με τις κλιματικές μεταβλητές (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, θερμοκρασίες κ.λπ.). Με τον όρο σταθεροποίηση εννοείται η εξάλειψη από το μετρημένο πλάτος κάθε δακτυλίου των δένδρων του ποσοστού εκείνου που οφείλεται σε μη κλιματικούς παράγοντες και τη μετατροπή του αρχικού πλάτους σε δείκτη. Η μετατροπή είναι απαραίτητη, γιατί μόνο κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να προκύψει συσχέτιση μεταξύ των μελετουμένων κλιματικών παραγόντων και των τελικών δεικτών.

Ως γνωστόν το πλάτος των δακτυλίων των δένδρων εξαρτάται από γενετικούς, κλιματικούς και ενδοσυσταδικούς παράγοντες (υλοτομίες, ανεμορριψίες, πυρκαγιές κ.λπ.), που επιδρούν από κοινού κατά τη διάρκεια της ζωής των δένδρων. Γενικά όμως σε κάθε χρονοσειρά πλατιών δακτυλίων δένδρων παρατηρείται μία βαθμιαία μείωση του πλάτους των δακτυλίων με την ηλικία (όσο νεαρότερο το δένδρο, τόσο πλατύτερους δακτυλίους σχηματίζει). Αλλά εκτός από την παραπάνω μείωση, παρατηρείται πάντοτε και μία σημαντική αύξηση του πλάτους των δακτυλίων ορισμένων χρονικών περόδων που οφείλεται στη διάθεση και λήψη μεγαλύτερης ποσότητας θρεπτικών συστατικών από το δένδρο λόγω μεταβολής του αυξητικού χώρου από υλοτομίες, ανεμορριψίες κ.λπ. και συνεπώς μείωσης του ανταγωνισμού.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η απεικόνιση του πλάτους των δακτυλίων σε συνάρτηση με την ηλικία καταδεικνύει τόσο την πληροφορία που είναι σχετική με το πρόβλημα που μελετάται (μεταβολή του πλάτους με τους κλιματικούς παράγοντες) και η οποία χαρακτηρίζεται ως σήμα (Signal), τόσο και εκείνη που δεν σχετίζεται με αυτό (μεταβολή του πλάτους από ενδοσυσταδικές διαταραχές) και η οποία χαρακτηρίζεται ως θόρυβος (Noise). Έτσι με τη διαδικασία της σταθεροποίησης επιδιώκεται η απαλοιφή των "θορύβων" και η παραμονή και περαιτέρω χρήση των "σημάτων".

Η σταθεροποίηση του πλάτους των δακτυλίων επιτυγχάνεται τόσο με προσδιοριστικές (Deterministic) όσο και με στοχαστικές (Stochastic) μεθόδους (Cook and Kairiukstis, 1990).



Η σταθεροποίηση των τιμών με τη χρήση προσδιοριστικών μεθόδων γίνεται ως εξής: Μεταξύ των τιμών των δακτυλίων προσαρμόζεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων μία καμπύλη, που καταδεικνύει τη θεωρητική μείωση του πλάτους λόγω ηλικίας και έτσι υπολογίζονται οι θεωρητικές τιμές των δακτυλίων. Στη συνέχεια διαιρείται το μετρημένο πλάτος κάθε δακτυλίου με το αντίστοιχο που υπολογίζεται από την προηγούμενη διαδικασία και ο λόγος αυτός χαρακτηρίζεται ως δείκτης, δηλαδή:

$$I_i = \frac{W_i \text{ (Μετρημένος πλάτος)}}{Y_i \text{ (Υπολογισμένο πλάτος)}}$$

Με τον τρόπο αυτό επιχειρείται όλα τα πλάτη των δακτυλίων, που η αύξησή τους έχει επηρεασθεί σαφώς και από ενδοσυσταδικούς παράγοντες, να εξομαλυνθούν με εκείνα των οποίων η αύξηση οφείλεται μόνο σε μεταβολές των κλιματικών παραγόντων. Έτσι προκύπτει η νέα χρονοσειρά που σχηματίζεται από τους δείκτες και τη σημαντική μείωση των θορύβων.

Όμως εκτός από την εφαρμογή αυτής της κλασσικής μεθόδου, τα αρχικά πλάτη των δακτυλίων μπορούν να μετατραπούν σε δείκτες εφαρμόζοντας τη μέθοδο της καμπύλης αξομάλυνσης (smoothing spline) ή κάποια παραλλαγή αυτής της μεθόδου. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, μεταξύ των πλατών των δακτυλίων που έχουν ομοιόμορφη τάση, προσαρμόζεται η κατάλληλη καμπύλη και στη συνέχεια ευρίσκονται οι νέοι δείκτες όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, δηλαδή από το μετρημένο και το υπολογισμένο πλάτος του δακτυλίου για κάθε έτος. η χρονοσειρά που προκύπτει

με τη μέθοδο αυτή παρουσιάζει πιο σημαντική εξάλιψη των "θορύβων" από την εφαρμογή της προηγούμενης μεθόδου.

Οι δείκτες που προκύπτουν από τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν ή από άλλες παρόμοιες, έχουν μέσο όρο κοντά στη μονάδα, τυπική απόκλιση πολύ μικρότερη από εκείνη του αρχικού πλάτους των δακτυλίων και οι διαφορές μεταξύ τους εξαρτώνται σε μεγάλο ποσοστό από τις μεταβολές στα κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία. Βέβαια είναι φανερό πως η σταθεροποίηση των τιμών γίνεται για όλα τα άτομα κάθε θέσης και στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών για κάθε έτος ξεχωριστά, που είναι και οι δείκτες για τη συγκεκριμένη θέση. Ο μέσος δείκτης, από τον υπολογισμό 20 τουλάχιστον ατόμων από κάθε θέση, είναι απαραίτητος ώστε να εξαλειφθούν, όπως αναφέρθηκε πρωτίτερα, οι διαφορές στην αύξηση των δένδρων λόγω του μικροκλίματος του καθενός και έτσι ο μέσος δείκτης να αντιπροσωπεύει την αύξηση των δένδρων της θέσης λόγω των κλιματικών παραγόντων.

#### **5.5. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΜΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ**

Η συσχέτιση των αύξεσης των δένδρων (δεικτών) με τις κλιματικές μεταβλητές είναι το στάδιο μιας δενδροχρονολογικής ανάλυσης που ακολουθεί μετά τη σταθεροποίηση του πλάτους των δακτυλίων. Η διαδικασία εύρεσης της στατιστικής-μαθηματικής σχέσης (μοντέλου) μεταξύ των δύο ομάδων των μεταβλητών είναι

γνωστή ως βαθμονόμηση (Calibration) και γίνεται υπό την προϋπόθεση ότι ισχύουν οι οικολογικοί νόμοι που διέπουν τη δενδροχρονολογία. Ο ερευνητής υποθέτει συνήθως από την αρχή το βιολογικό μοντέλο και στη συνέχεια δοκιμάζει αυτή την υπόθεση με τα δεδομένα που διαθέτει μέχρι να καταλήξει σε ένα αποδεκτό μαθηματικό μοντέλο. Η σχέση μπορεί να είναι απλή ή πολλαπλή ανάλογα με τον αριθμό των κλιματικών μεταβλητών που εξετάζονται. Επίσης, ανάλογα με τους σκοπούς της μελέτης, μία κλιματική μεταβλητή (π.χ. ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ή απορροή) μπορεί να θεωρηθεί σαν εξαρτημένη και να εκτιμηθεί από την αύξηση των δένδρων (Transfer function), όπως γίνεται στη δενδροϋδρολογία, ή ως ανεξάρτητη και να εκτιμηθεί από αυτή η αύξηση των δένδρων για τα χρόνια του παρελθόντος που δεν υπάρχουν πληροφορίες (Response function) (Fritts, 1976, Cook and Kairiukstis, 1990).

Η ακρίβεια της συσχέτισης εξαρτάται από το οικολογικό εύρος του δασικού είδους, τον αριθμό των δένδρων που επιλέγονται, από τους περιοριστικούς παράγοντες αύξησης και τέλος από το εύρος της μεταβλητότητας των περιοριστικών παραγόντων (Fritts, 1976). Από τη βιβλιογραφία καταδεικνύεται ότι στη δενδροϋδρολογία έχουν υπολογισθεί συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των κλιματικών και αυξητικών μεταβλητών μέχρι 0.94. Βέβαια υπήρξαν και περιπτώσεις όπου οι συντελεστές συσχέτισης ήταν μικρότεροι και συχνά αίτια γι' αυτό ήταν οι υγρές χρονιές όπου η αύξηση μετά από ορισμένο ύψος κατακρήμνισης δεν ακολουθούσε γραμμική σχέση. Τέτοιες

περιπτώσεις αντιμετώπισαν ιδιαίτερα οι Cook και Jacoby (1977), Blasing και Durick (1984) και πάλι ο Blasing κι οι συνεργάτες του (1988).

Λεπτομέρειες για τη συσχέτιση των κλιματικών μεταβλητών με την αύξηση των δένδρων δίνονται από τον Fritts (1976) και τους Cook and Kairiukstis (1990). Όμως εδώ πρέπει να επισημανθεί πως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η απορροή και η θερμοκρασία είναι οι τρεις μεταβλητές που κατά κανόνα ανακατασκευάζονται από την αύξηση των δένδρων για την επίλυση υδρολογικών προβλημάτων. Το ερώτημα όμως που προκύπτει είναι για ποιά χρονική περίοδο του έτους είναι δυνατό να ανακατασκευασθούν οι μεταβλητές αυτές. Απαντώντας στο παραπάνω ερώτημα επισημαίνουν πως παρά το γεγονός ότι η χρησιμότητα τέτοιων πληροφοριών θα ήταν ιδιαίτερα μεγάλη ανα αναφερόταν σε όσο το δυνατόν μικρότερα διαστήματα (π.χ. σε μήνες), αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Έτσι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αναφέρονται κατά κανόνα στο υδρολογικό έτος (Οκτώβριος - Σεπτέμβριος) ή στο διάστημα Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου ή Αυγούστου - Ιουλίου, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο της περιοχής που διεξάγεται η μελέτη. Επίσης πολύ συχνά χρησιμοποιούνται και τα κατακρημνίσματα μόνο της αυξητικής περιόδου του έτους. Το υδρολογικό έτος χρησιμοποιείται γιατί τα κατακρημνίσματα αυτής της περιόδου καθορίζουν την υγρασία του εδάφους από την οποία εξαρτάται η αύξηση των δένδρων. Έτσι αν η συσχέτιση επιχειρείτο με τα κατακρημνίσματα του ημερολογιακού έτους, τότε η υγρασία του εδάφους του Οκτωβρίου,

Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου δεν θα λαμβανόταν καθόλου υπόψη στην αύξηση της επόμενης περιόδου.

Η απορροή μιας υδρολογικής λεκάνης μπορεί επίσης να ανακατασκευασθεί, όπως αναφέρθηκε, με δενδροϋδρολογικές μεθόδους λόγω της στενής σχέσης μεταξύ βροχής - υγρασίας του εδάφους - απορροής και αύξησης των δένδρων. Και στην περίπτωση αυτή η μεταβλητή ανακατασκευάζεται για ολόκληρο το υδρολογικό έτος ή μόνο για ορισμένους μήνες της αυξητικής περιόδου των δένδρων. Ιδιαίτερη όμως σημασία πρέπει να δίνεται σε μία τέτοια περίπτωση στις αλλαγές χρήσεις γης της λεκάνης στο παρελθόν, αφού αυτές - ως γνωστό - επηρεάζουν σημαντικά τις σχέσεις βροχής - απορροής. Τέλος όσον αφορά τις θερμοκρασίες του παρελθόντος μιας υδρολογικής λεκάνης, με δενδροχρονολογικές μεθόδους μπορούν να ανακατασκευασθούν μόνο εκείνες της αυξητικής περιόδου.

Πρέπει να έχουμε υπόψιν ότι ειδικά όταν ασχολούμαστε με κατάσταση μοντέλων, είναι επιθυμητό να κρατάμε κάποια από τα περιβαλλοντικά δεδομένα για να τα χρησιμοποιούμε ως ανεξάρτητο έλεγχο. Οι ανακατασκευές που προέρχονται από τους δακτυλίους των δένδρων συγκρίνονται με τα πραγματικά περιβαλλοντικά δεδομένα για να πιστοποιηθεί η ακρίβεια των υπολογισμών. Αυτή η πιστοποίηση είναι απαραίτητη απόδειξη για να φανεί ότι οι ανακατασκευασμένες μεταβλητές υπήρξαν και στην πραγματικότητα, ιστορικά αρχεία, ποσοτικές παλαιοκλιματικές πληροφορίες και άλλα στοιχεία για τα κλίματα του παρελθόντος

μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν για επιπλέον ελέγχους (Fritts, 1976).

Ένα άλλο σημείο, στο οποίο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία κατά τη συσχέτιση των κλιματικών μεταβλητών με την αύξηση των δένδρων, είναι η αξιοπιστία των υδρομετεωρολογικών στοιχείων, όπως αυτά παραχωρούνται από τις διάφορες υπηρεσίες. Και τούτο γιατί είναι δυνατό να υπάρχουν και αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές λόγω υπαιτιότητας του παρατηρητή ή άλλων αιτίων. Επομένως είναι απαραίτητος ο έλεγχος και η διόρθωση αυτών σε περίπτωση εύρεσης αποκλίσεων, σύμφωνα με τις ισχύουσες υδρολογικές μεθόδους.

## 6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών μιας δενδροχρονολογικής μελέτης που αναφέρθηκαν προηγούμενα, αποφασίσθηκε στην παρούσα εργασία να επιλεγούν και να αναλυθούν τα πλάτη των ετησίων δακτυλίων ενός πολύ μικρού αριθμού δένδρων. Πιο συγκεκριμένα από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (Ι.Μ.Δ.ΟΙ. και Τ.Δ.Π.) ελήφθησαν οι διατομές δύο ατόμων Μαύρης πεύκης, τα οποία είχαν υλοτομηθεί τον Μάιο του 1994 για διαχειριστικούς σκοπούς. Η περιοχή από όπου υλοτομήθηκαν ήταν η Μάρνα Κατερίνης, που βρίσκεται μεταξύ Ολύμπου και Πιερίων και η θέση υλοτομίας είχε υψόμετρο 1300m και βαθιά εδάφη. Παρακάτω περιγράφονται όλα τα στάδια επεξεργασίας των κορμών αυτών, ο τρόπος μέτρησης του πλάτους των δακτυλίων, καθώς και τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα εκ των μετρήσεων.

### 6.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΩΝ ΑΥΞΗΤΙΚΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Αφού κόπηκαν οι δύο δίσκοι (Φωτογραφία 3) χρειάστηκε πρώτα να λειανθούν ώστε να γίνουν ευκρινείς οι δακτύλιοί τους. Όταν μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο χωρίστηκε ο καθένας σε τέσσερεις ακτίνες, ανά δύο κάθετες. Η μέτρηση του πλάτους των

δακτυλίων στις τέσσερις ακτίνες θεωρήθηκε αναγκαία ώστε να υπολογισθεί ο μέσος όρος από τις μετρήσεις αυτές, αφού το ξύλο είναι βιολογικό προϊόν και σπάνια οι δακτύλιοι έχουν το ίδιο πλάτος στις διάφορες κατευθύνσεις μιας διατομής του κορμού.

Η μέτρηση του πλάτους έγινε στο Ι.Μ.Δ.ΟΙ. και Τ.Δ.Π. και χρησιμοποιήθηκε ειδικό ηλεκτρονικό όργανο (Digital positionmeter). Αρχικά τοποθετήθηκε διαδοχικά ο κάθε δίσκος κάθετα - στο κύριο μέρος του οργάνου, (Φωτογραφία 4), όπου και στερεώθηκε ώστε να διατηρηθεί η καθετότητά του. Στο κύριο μέρος του οργάνου υπήρχε επίσης και μικροσκόπιο (Φωτογραφία 5α, 5β), έτσι ώστε να διευκολύνεται και να γίνεται πιο ακριβής η μέτρηση των δακτυλίων. Το δεύτερο μέρος του οργάνου μέτρησης ήταν η οθόνη όπου εμφανιζόταν το σημείο του δίσκου που φαινόταν από το μικροσκόπιο. Οι μετρήσεις ξεκινούσαν από το κέντρο του δίσκου και κατέληγαν στην περιφέρεια για κάθε ακτίνα. Σε έναν μετρητή δίπλα καταγραφόταν η απόσταση του κάθε δακτυλίου από το κέντρο. Οπότε το πλάτος κάθε δακτυλίου προέκυπε σαν διαφορά της απόστασής του από το κέντρο μείον το πλάτος των δακτυλίων που μετρήθηκαν πριν από αυτόν.

Αφού με τη μέθοδο αυτή καταγράφηκαν τα πλάτη των δακτυλίων κάθε ακτίνας, μετά προέκυψε ο μέσος όρος τους. Η ίδια διαδικασία μέτρησης ακολουθήθηκε και για τον δεύτερο δίσκο.



### 6.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα πλάτη των αυξητικών δακτυλίων των δύο δένδρων που προέκυψαν από τις τέσσερις μετρήσεις σε κάθε διατομή απεικονίζονται στα Σχήματα 3,4.

Από ότi φαίνεται σε αυτά τα δένδρα έχει εφαρμογή ο συγχρονισμός αφού οι κορυφές και οι αυχένες των δύο διαγραμμάτων συμπίπτουν.

Τα δένδρα αυτά είχαν ηλικία 91 ετών, από την οποία αφαιρέθηκαν τα 10 πρώτα έτη διότι κρίθηκε ότi το δένδρο δεν είχε αναπτύξει σταθερή βιολογική συμπεριφορά. Το πλάτος των αυξητικών τους δακτυλίων κυμάνθηκε από 0,78mm έως 5,75mm. Στο παρακάτω διάγραμμα διαπιστώνεται πως το πλάτος αποτελείται από δύο τμήματα, το ανώτερο, που είναι παρουσιάζει έντονη ετήσια μεταβλητότητα και το κατώτερο, που παρουσιάζει σχετική σταθερότητα. Επομένως το ανώτερο, που περιλαμβάνει το οδοντωτό τμήμα όλου του διαγράμματος, επηρεάζεται από κάποιο παράγοντα ο οποίος μεταβάλλεται ετησίως και ως τέτοιος θεωρείται η βροχή ή η θερμοκρασία. Αντίθετα το κατώτερο επηρεάζεται από παράγοντες που παραμένουν γενικά σταθεροί για πολλά χρόνια και ως τέτοιοι θεωρούνται η ηλικία, η κληρονομικότητα του δέντρου, του είδους αυτού κ.λπ. Κατά συνέπεια πρέπει να εξαλειφθεί το τμήμα του πλάτους που οφείλεται στους δεύτεροσ παράγοντες και να παραμείνει μόνο το πρώτο. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως σταθεροποίηση του πλάτους των δακτυλίων (Standardization) και επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση των κορυφών των Σχημάτων 3,4.

Πιο συγκεκριμένα εδώ προσαρμόσθηκαν δύο καμπύλες εξομάλυνσης - μία για κάθε δένδρο. Οι καμπύλες αυτές ήταν εκθετικής μορφής. Η καμπύλη εξομάλυνσης για το πρώτο δένδρο είχε εξίσωση  $x=14.32474e^{-0.11007\psi} + 1.746$  και τετραγωνικό σφάλμα  $R^2=0,149$ , ενώ η καμπύλη εξομάλυνσης για το δεύτερο δένδρο είχε εξίσωση  $x=11,570768e^{-0,09126\psi} + 1,721$  και  $R^2=0,272$  (Σχήματα 5,6). Στις προηγούμενες καμπύλες ως  $x$  λαμβάνεται το εκτιμημένο πλάτος του δακτυλίου ενώ ως  $\psi$  λαμβάνεται το αντίστοιχο έτος.

Μετά τη διαδικασία της εξομάλυνσης προέκυψαν οι δείκτες για τα δύο δένδρα, σαν πηλίκο.

$$I = \frac{\text{Μετρημένο πλάτος}}{\text{Εκτιμημένο πλάτος}}$$

Το διάγραμμα του μέσου όρου των δεικτών των δύο δένδρων απεικονίζεται στο Σχήμα 7.

Μετά τη μετατροπή του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων σε δείκτες, επιχειρήθηκε η συσχέτιση αυτών με το ύψος βροχής του υδρολογικού έτους, που ελήφθησαν από τους σταθμούς Σκοτεινών - Φωτεινών Κατερίνης και είναι οι πλησιέστεροι στην περιοχή που κόπηκαν τα δέντρα. Τα στοιχεία των πλατών των δακτυλίων και των δεικτών φαίνονται στους παρακάτω Πίνακες 1,2.

Δυστυχώς όμως ο συντελεστής συσχέτισης που προέκυψε από αυτή την προσπάθεια ήταν 0,23 για το πρώτο δένδρο και 0,27 για το δεύτερο. Η τιμή αυτή θεωρήθηκε πολύ μικρή και οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι για την ανάπτυξη αυτών των δένδρων δεν ήταν περιοριστικός παράγοντας η βροχή. Έτσι δεν επιχειρήθηκε να γίνει ανακατασκευή του ύψους βροχής για τα έτη που αυτό δεν

είχε μετρηθεί.

" Παράδειγμα δενδροχρονολογικής ανάλυσης "

#### 6.4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κεφάλαιο έχει ως σκοπό περισσότερο να δείξει και να κάνει πιο κατανοητά τα διάφορα στάδια μιας δενδροχρονολογικής μελέτης, παρά να καταλήξει σε συγκεκριμένες προτάσεις και συμπεράσματα. Αυτός ήταν και ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν μόνο δύο δένδρα.

Άλλωστε δεν ήταν δυνατόν στα πλαίσια αυτής της εργασίας να αναληφθεί προσπάθεια εκτεταμένης δενδροχρονολογικής μελέτης, διότι δεν υπήρχαν τα αναγκαία οικονομικά μέσα.

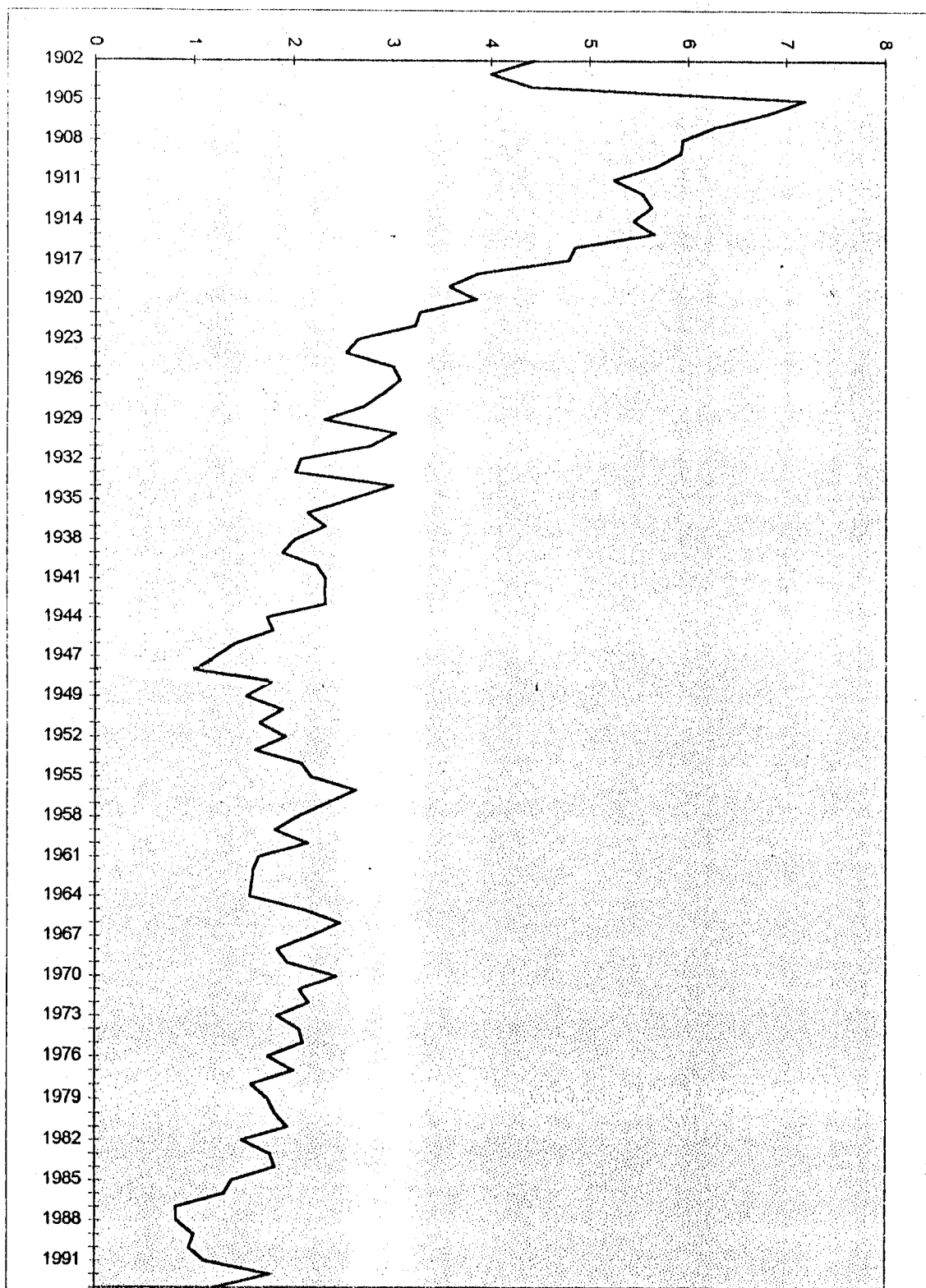
Τα δένδρα αυτά αναλύθηκαν κανονικά. Παρόλα αυτά δεν ευρέθη ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών των αυξητικών τους δακτυλίων και της βροχής του υδρολογικού έτους κι'έτσι δεν κρίθηκε σκόπιμη η ανακατασκευή του ύψους βροχής των υπολοίπων ετών.

Κατά πάσα πιθανότητα η μικρή συσχέτιση, στην περίπτωση που εξετάζεται, οφείλεται στο ότι:

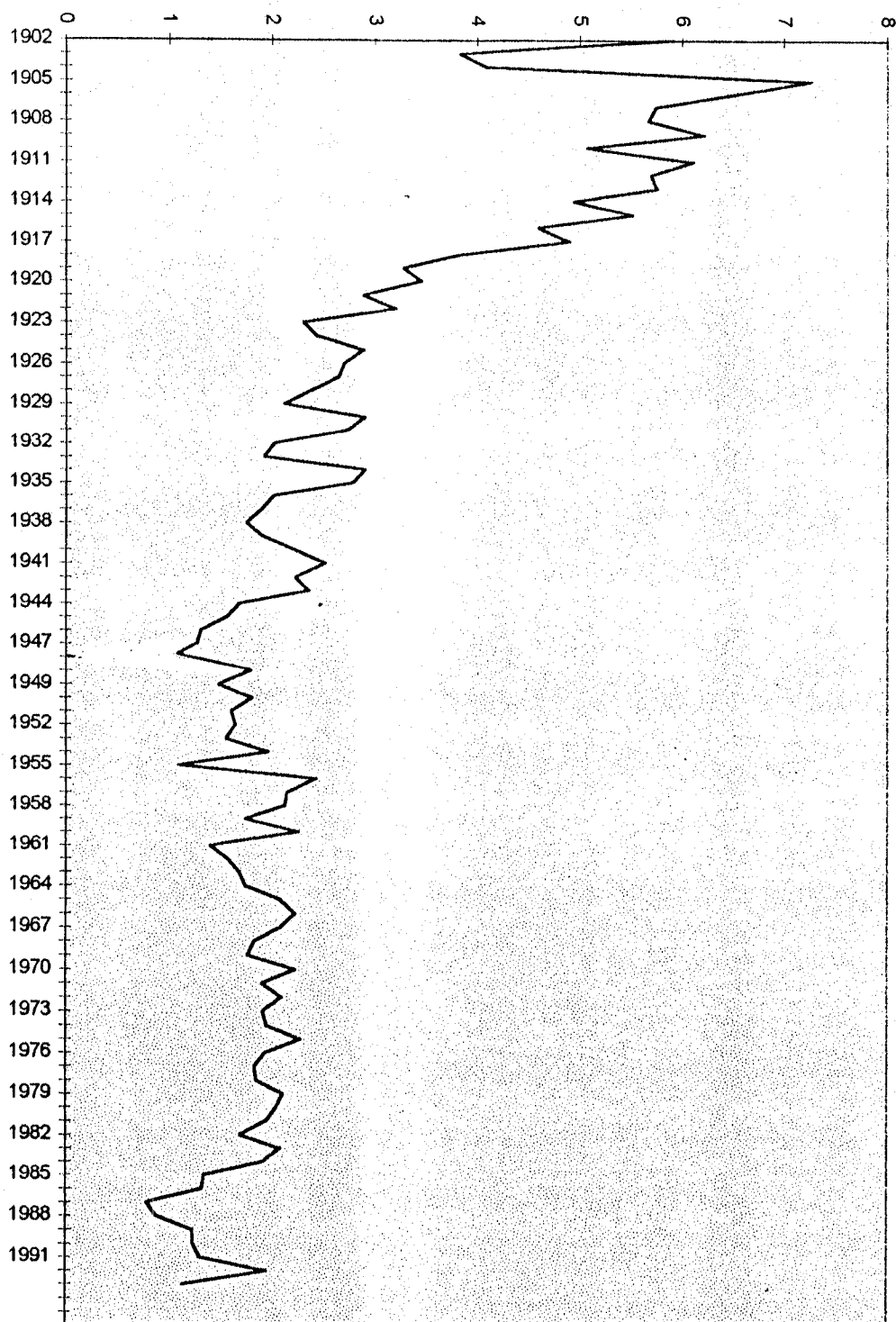
- α) Τα δένδρα δεν επελέγησαν με δενδροχρονολογικά, αλλά με διαχειριστικά κριτήρια. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιήθηκαν δένδρα που είχαν επιλεγεί για άλλο σκοπό και όχι για δενδροχρονολογική ανάλυση (π.χ. ανακατασκευή βροχής, μελέτη ξηρασιών κ.λπ.).

- β) Τα δένδρα υλοτομήθηκαν από θέσεις που είχαν βαθύ έδαφος και η ετήσια αύξηση ίσως δεν επηρεαζόταν από το ετήσιο ύψος βροχής, αφού λόγω του βάθους του το έδαφος συγκρατούσε αρκετό νερό ώστε να παρέχει στο δένδρο ακόμη και κατά τις ξηρές περιόδους.
- γ) Το υψόμετρο της θέσης ήταν αρκετά υψηλό (1300m) και το ύψος βροχής εκεί πρέπει να ήταν πολύ υψηλότερο από ότι στις πεδινές περιοχές, όπου βρίσκονταν οι βροχομετρικοί σταθμοί. Ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες οπότε ξεσπάνε ξαφνικές καταγίδες με μεγάλο ύψος βροχής στα ορεινά, θα πρέπει να υπήρχε σημαντική απόκλιση από το ύψος βροχής που μετρήθηκε στην πεδινή περιοχή.

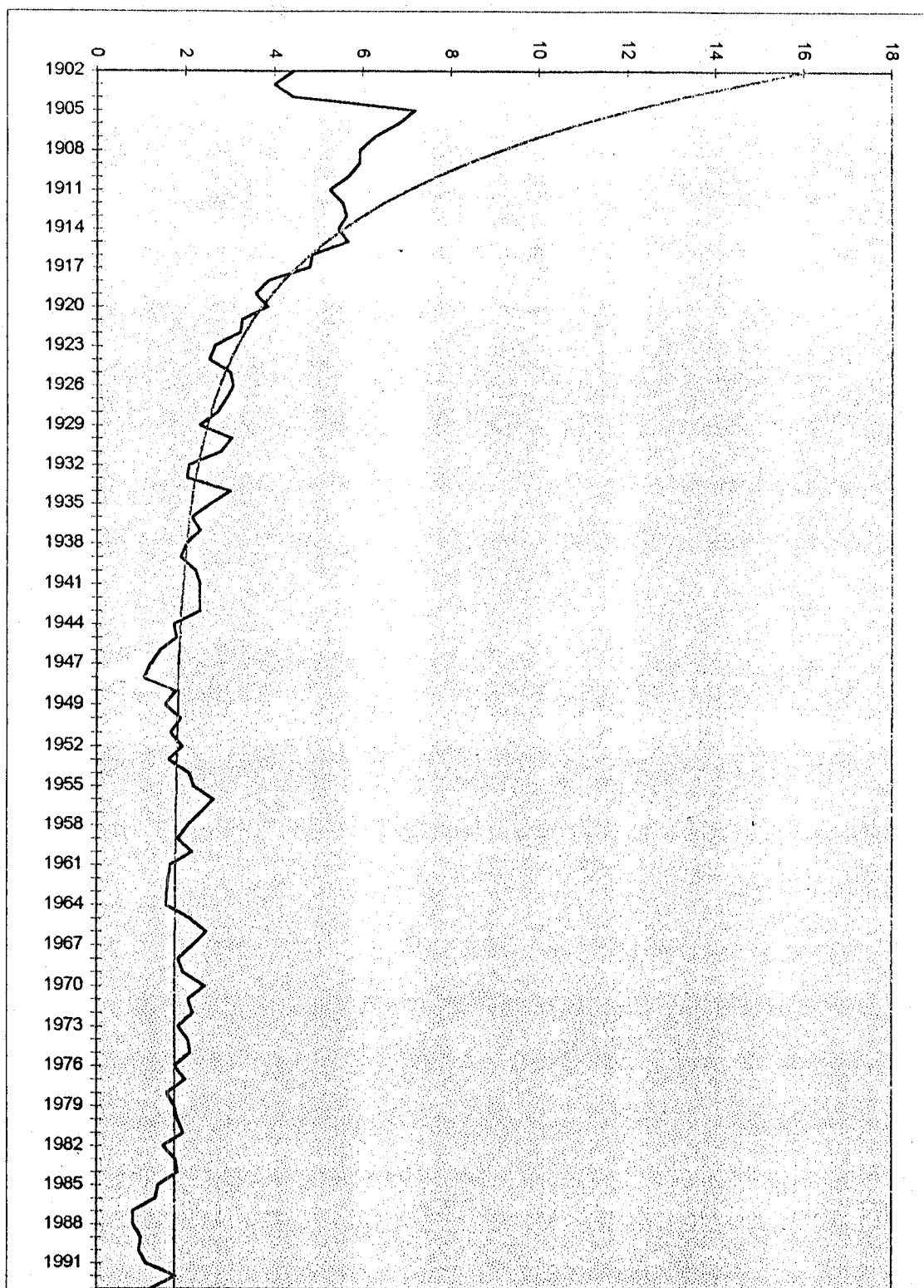
Όμως παρότι η συσχέτιση μεταξύ του ύψους βροχής και των δεικτών των δακτυλίων ήταν ασθενής και παρότι η ανακατασκευή του ύψους βροχής παρελθόντων ετών στάθηκε αδύνατη, η ανάλυση είχε και θετικά αποτελέσματα. Καταρχάς έδειξε πόσο σημαντική είναι η επιλογή της κατάλληλης θέσης και του κατάλληλου υψόμετρου όπου βρίσκεται το δένδρο. Επίσης μέχρι του σημείου προ της ανακατασκευής των ετήσιων υψών βροχής παρουσιάστηκαν αναλυτικά μέσω του παραδείγματος αυτού τα στάδια μιας δενδροχρονολογικής μελέτης.



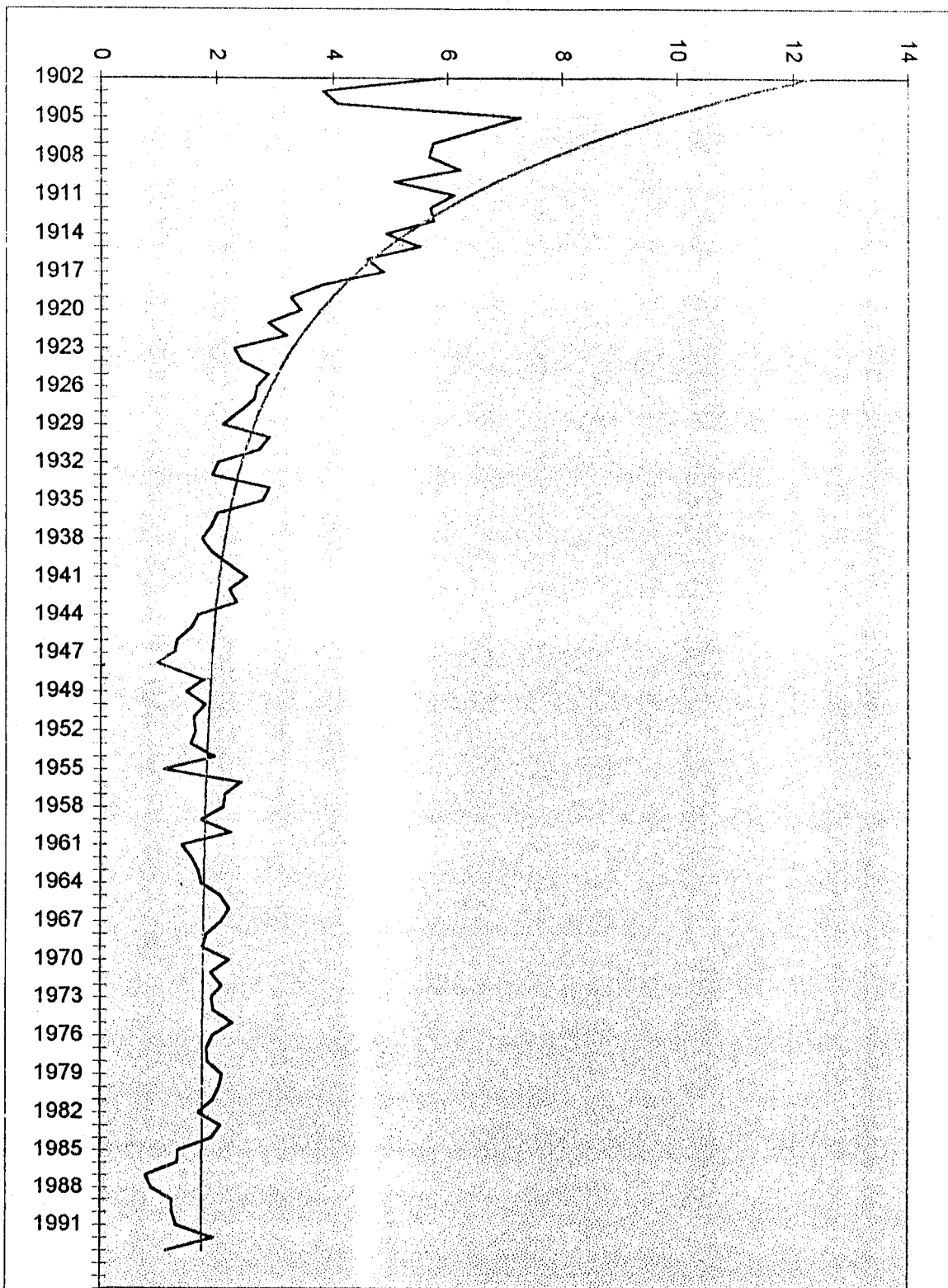
Σχήμα 3: Πλάτος αυξητικών δακτυλίων (Δένδρο 1)



Σχήμα 4: Πλάτος αυξητικών δακτυλίων (Δένδρο 2)

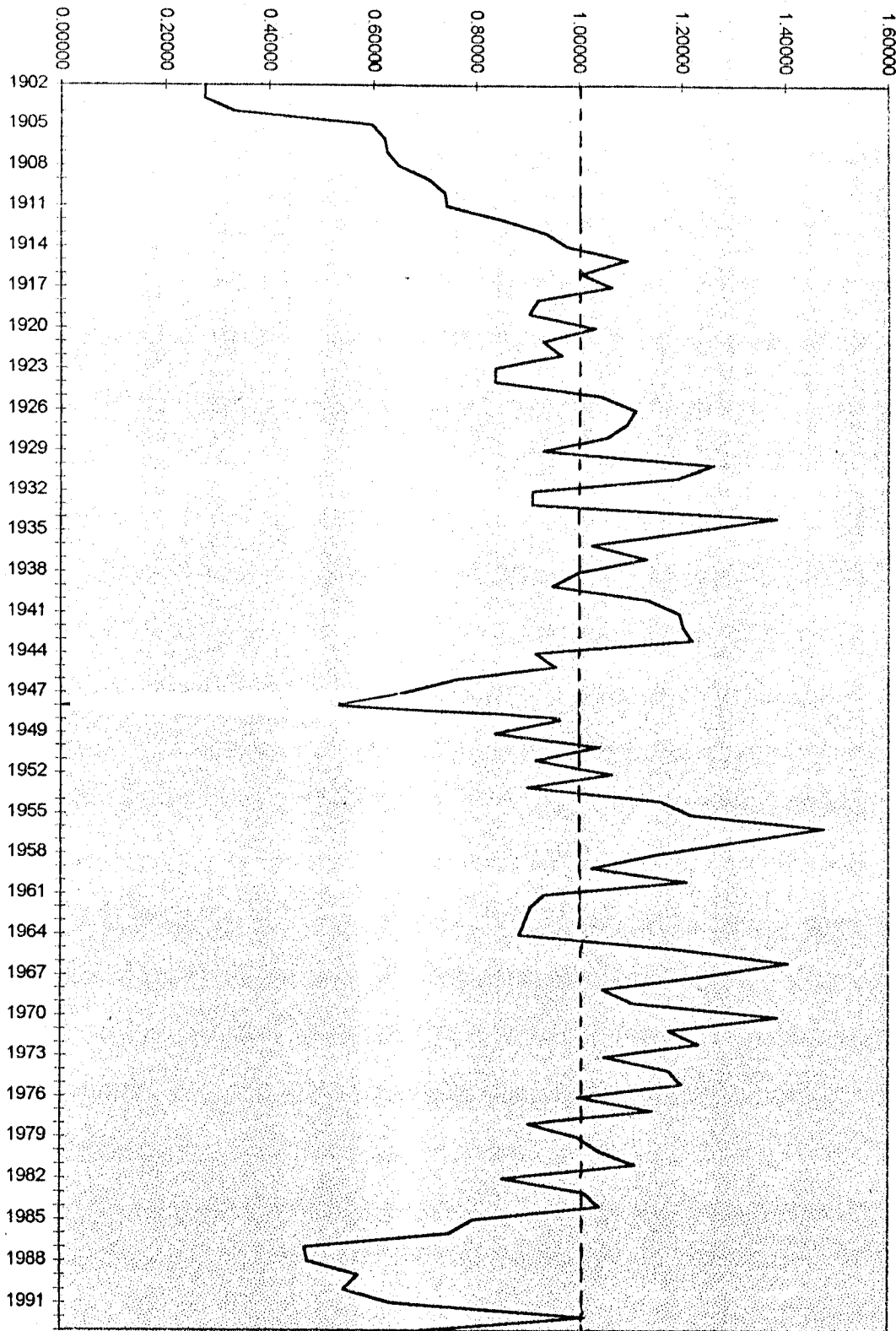


Σχήμα 5: Καμπύλη εξομάλυνσης του αρχικού πλάτους των αυξητικών δακτυλίων (Δένδρο 1)



Σχήμα 6: Καμπύλη εξομάλυνσης του αρχικού πλάτους των αυξητικών δακτυλίων (Δένδρο 2)





Σχήμα 7: Μέσος όρος των δεικτών του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων (Δένδρο 1, 2)

ΕΤΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΔΕΙΚΤΕΣ (ΔΕΝΔΡΟ 1)
1902	4.43	0.27566
1903	3.99	0.27371
1904	4.41	0.33307
1905	7.18	0.59623
1906	6.81	0.62084
1907	6.27	0.62651
1908	5.94	0.64942
1909	5.92	0.70684
1910	5.67	0.73787
1911	5.24	0.74264
1912	5.53	0.84934
1913	5.62	0.93444
1914	5.44	0.97676
1915	5.65	1.09265
1916	4.84	1.00541
1917	4.78	1.06360
1918	3.87	0.91973
1919	3.57	0.90353
1920	3.84	1.03189
1921	3.27	0.93018
1922	3.22	0.96667
1923	2.65	0.83707
1924	2.53	0.83835
1925	3.01	1.04323
1926	3.07	1.10970
1927	2.91	1.09392
1928	2.71	1.05658
1929	2.31	0.93163
1930	3.03	1.26089
1931	2.78	1.19079
1932	2.07	0.91060
1933	2.02	0.91062
1934	3	1.38309
1935	2.57	1.20943
1936	2.14	1.02615
1937	2.32	1.13166
1938	2.02	1.00080
1939	1.89	0.94975
1940	2.23	1.13511
1941	2.32	1.19478
1942	2.31	1.20226
1943	2.32	1.21906
1944	1.73	0.91693
1945	1.79	0.95617
1946	1.42	0.76389
1947	1.22	0.66048

Πίνακας 1: Πλάτος αυξητικών δακτυλίων (mm) και δείκτες δένδρου 1.

ΕΤΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΔΕΙΚΤΗΣ (ΔΕΝΔΡΟ 1)
1948	1.77	0.96373
1949	1.53	0.83736
1950	1.89	1.03920
1951	1.66	0.91656
1952	1.92	1.06410
1953	1.62	0.90087
1954	2.08	1.16019
1955	2.18	1.21929
1956	2.63	1.47458
1957	2.33	1.30925
1958	2.04	1.14856
1959	1.82	1.02651
1960	2.14	1.20891
1961	1.65	0.93344
1962	1.6	0.90631
1963	1.58	0.89601
1964	1.56	0.88557
1965	2.1	1.19322
1966	2.47	1.40461
1967	2.17	1.23492
1968	1.84	1.04782
1969	1.94	1.10543
1970	2.43	1.38537
1971	2.06	1.17499
1972	2.16	1.23256
1973	1.84	1.05036
1974	2.06	1.17635
1975	2.1	1.19956
1976	1.75	0.99991
1977	2	1.14304
1978	1.58	0.90320
1979	1.75	1.00058
1980	1.82	1.04079
1981	1.94	1.10959
1982	1.49	0.85233
1983	1.77	1.01263
1984	1.82	1.04136
1985	1.39	0.79540
1986	1.31	0.74969
1987	0.82	0.46931
1988	0.83	0.47507
1989	1	0.57241
1990	0.95	0.54382
1991	1.11	0.63545
1992	1.77	1.01333
1993	1.2	0.68703

ΕΤΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ(mm)	ΔΕΙΚΤΕΣ (ΔΕΝΔΡΟ 2)
1902	5.9	0.479379774
1903	3.83	0.336366386
1904	4.08	0.386892619
1905	7.26	0.74247803
1906	6.5	0.716055151
1907	5.74	0.680251057
1908	5.67	0.721890028
1909	6.21	0.848173982
1910	5.06	0.740273857
1911	6.11	0.955969006
1912	5.69	0.950511799
1913	5.75	1.023784617
1914	4.93	0.933917402
1915	5.51	1.108494351
1916	4.59	0.978793096
1917	4.89	1.103159502
1918	3.83	0.912255068
1919	3.27	0.820682017
1920	3.45	0.910470292
1921	2.88	0.797554407
1922	3.2	0.927974428
1923	2.3	0.696992781
1924	2.43	0.767927575
1925	2.88	0.947165285
1926	2.69	0.918799663
1927	2.64	0.934624908
1928	2.39	0.875271276
1929	2.11	0.797819912
1930	2.9	1.130021785
1931	2.73	1.0942875
1932	2.02	0.831458369
1933	1.92	0.810176315
1934	2.9	1.252460572
1935	2.78	1.22695292
1936	2.01	0.905225598
1937	1.9	0.871935448
1938	1.75	0.817264733
1939	1.91	0.906583004
1940	2.21	1.064884648
1941	2.51	1.226414096
1942	2.22	1.098793766
1943	2.35	1.177080784
1944	1.68	0.850797007
1945	1.56	0.798085004
1946	1.31	0.676485835
1947	1.27	0.661504962

Πίνακας 2: Πλάτος αυξητικών δακτυλίων (mm) και δείκτες δένδρου 2.

ΕΤΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ(mm)	ΔΕΙΚΤΗΣ (ΔΕΝΔΡΟ 2)
1948	1.79	0.93978042
1949	1.48	0.782713261
1950	1.8	0.958352163
1951	1.6	0.857131482
1952	1.64	0.883542249
1953	1.55	0.839400374
1954	1.96	1.066500807
1955	1.09	0.595699951
1956	2.42	1.327866067
1957	2.14	1.178541936
1958	2.12	1.17145529
1959	1.74	0.964439007
1960	2.25	1.250635637
1961	1.4	0.780181134
1962	1.57	0.876982853
1963	1.68	0.940454022
1964	1.74	0.975965417
1965	2.07	1.163159202
1966	2.22	1.249505904
1967	2.08	1.172475388
1968	1.83	1.032976118
1969	1.76	0.994716096
1970	2.22	1.256144518
1971	1.9	1.076210609
1972	2.09	1.184970523
1973	1.91	1.08386739
1974	1.95	1.107454602
1975	2.27	1.2901362
1976	1.93	1.097634707
1977	1.83	1.041399187
1978	1.85	1.053368848
1979	2.1	1.196326142
1980	2.04	1.162686947
1981	1.94	1.106162995
1982	1.69	0.963990646
1983	2.07	1.18116487
1984	1.91	1.090220177
1985	1.34	0.765092753
1986	1.32	0.753877001
1987	0.78	0.445582614
1988	0.88	0.5028211759
1989	1.23	0.70295213
1990	1.24	0.708800158
1991	1.3	0.743224231
1992	1.94	1.109292683
1993	1.13	0.646226642

## 7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ

### 7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δένδροχρονολογία χρησιμοποιήθηκε -εκτός των άλλων- για την επίλυση υδρολογικών και κλιματικών προβλημάτων διαφόρων περιοχών από πολύ νωρίς και μεγάλος αριθμός μελετών έχει δημοσιευθεί μέχρι το πρόσφατο παρελθόν σε διάφορα επιστημονικά περιοδικά ανά τον κόσμο. Αναφορά στις μελέτες αυτές έχει γίνει με αρκετές λεπτομέρειες από τον Fritts (1976).

Την τελευταία όμως 15ετία οι εφαρμογές του επιστημονικού αυτού κλάδου αυξήθηκαν σημαντικά λόγω των εξάρσεων της μεταβλητότητας του κλίματος και γενικά λόγω των έντονων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η ανησυχία των επιστημόνων για το ποιες θα είναι οι κλιματικές συνθήκες του μέλλοντος, τους ώθησε να αναζητήσουν ποιες ήταν οι κλιματικές συνθήκες του παρελθόντος και κυρίως στον εντοπισμό θερμότερων και ξηρότερων περιόδων από τις σημερινές πριν την έναρξη καταγραφής των κλιματικών μεταβλητών. Η διερεύνηση των συνθηκών αυτών έγινε σε διάφορες χώρες και ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής όπου πρωτοαναπτύχθηκε η δένδροχρονολογία.

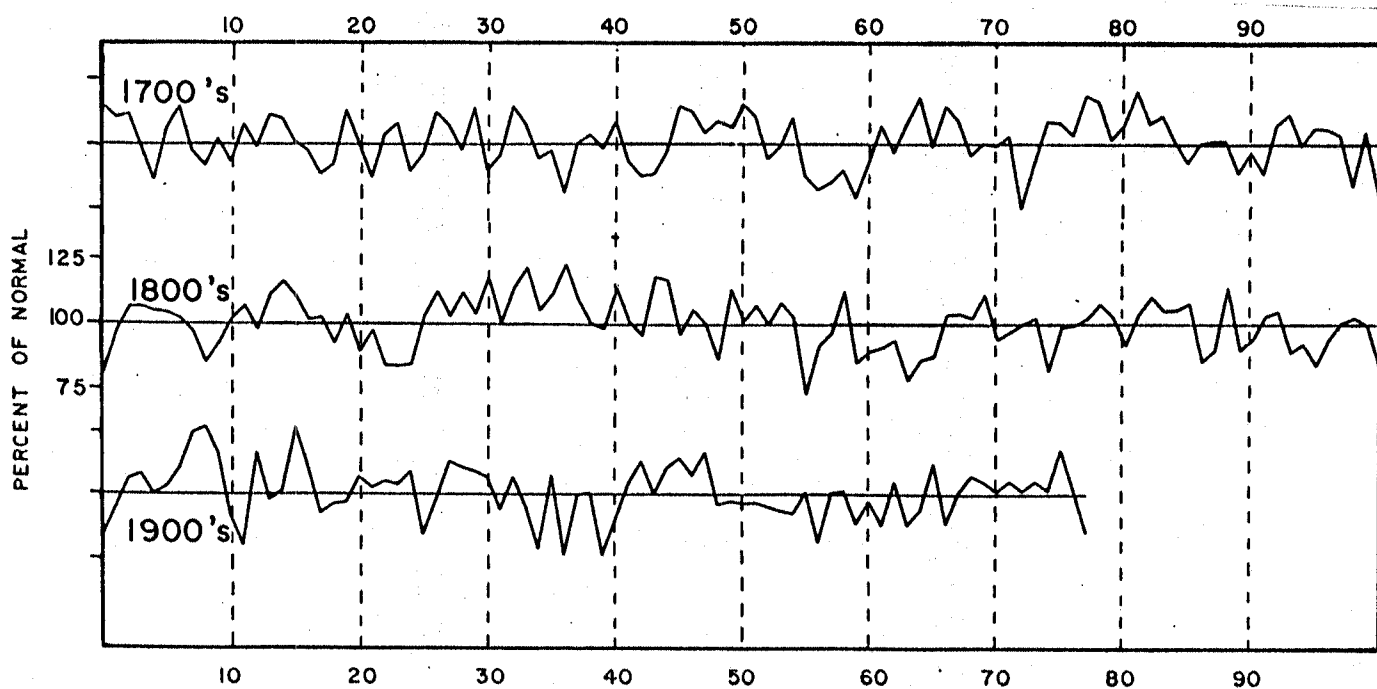
Παρακάτω περιγράφονται περιληπτικά οι κυριότερες εφαρμογές της δένδροχρονολογίας ανά τον κόσμο.

## 7.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Ο Cook και Jacoby (1977) αναλύοντας στοιχεία κατακρημνισμάτων και θερμοκρασίας της περιόδου 1931-70 και αυξητικούς δακτυλίους από *Tsuga canadensis* και διάφορα είδη πεύκης και δρυός σε περιοχή της Νέας Υόρκης, ανακατασκεύασαν τις ξηρασίες μέχρι το 1728. Ήταν οι ίδιοι ερευνητές που αργότερα (1981) μελέτησαν τις θερμοκρασίες της αυξητικής περιόδου στο Yukon του Καναδά από δακτυλίους ερυθρελάτης για τα προηγούμενα 400 χρόνια. Επίσης ανακατασκεύασαν (Cook and Jacoby, 1983) τις θερινές μηνιαίες παροχές του ποταμού Potomac στην Washington μέχρι το 1730. Επιπλέον ο Weekly -όπως αναφέρουν οι Rosenberg και Wilhite, 1985 - είχε μελετήσει νωρίτερα (1965) την εμφάνιση των ξηρασιών στις μεγάλες πεδιάδες (Great plains) των Η.Π.Α. από δακτυλίους δένδρων μέχρι το 1220.

Ο Phipps (1983) εκτίμησε με δενδροχρονολογικές μεθόδους τις θερινές μηνιαίες απορροές του ποταμού Occoquan στην Virginia των Η.Π.Α. για το διάστημα 1841-1975.

Οι Stockton και Meko (1983) χρησιμοποίησαν δενδροχρονολογικά στοιχεία από την Iowa, την Oklahoma, την ανατολική Montana και το ανατολικό Wyoming, για την ανακατασκευή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από το 1700 (Σχ. 8). Σκοπός τους ήταν η πρόβλεψη των μελλοντικών ξηρασιών και προέκυψαν αρκετά στοιχεία που ενίσχυαν την ορθότητα του μοντέλου της 22-χρονης περιοδικότητας των ξηρασιών. Όμως ακόμη ορθότερα αποδείχθηκαν τα μοντέλα της 25-χρονης και της



Σχήμα 8: Ανακατασκευή ετήσιων βροχοπτώσεων για την περιοχή μελέτης από το 1700. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις λαμβάνονται ως ποσοστό της μέσης ετήσιας βροχοπτώσεως της περιόδου 1993 - '77.

150χρονης περιοδικότητας των ξηρασιών.

Την επόμενη χρονιά, οι Mitsch και Rust(1984) με μία εργασία τους για το βορειοανατολικό Illinois επιχειρήσαν να μελετήσουν την απόκριση της ανάπτυξης των δένδρων των παραποτάμιων περιοχών στις πλημμύρες. Από την εργασία αυτή δεν βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ της ανάπτυξης των μετρίως υδρανθεκτικών δένδρων και της έντασης της πλημμύρας είτε αυτή συνέβαινε κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης είτε την υπόλοιπη χρονιά. Η ολική σχέση μεταξύ ανάπτυξης και πλημμύρας



αποδείχθηκε δύσκολο να παρασταθεί από απλά γραμμικά μοντέλα. Έτσι σαν συμπέρασμα προέκυψε ότι τα μοντέλα προσομοίωσης και η μη γραμμική στατιστική πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την καλύτερη δυνατή περιγραφή των επιπτώσεων της πλημμύρας στις όχθες των ποταμών.

Ο Puckett (1981) και οι Stahle και Cleaveland (1985) μελέτησαν το δείκτη σφοδρότητας ξηρασίας του Palmer στην Virginia και το Arkansas για χρονικό διάστημα 230 και 450 χρόνων αντίστοιχα.

Ο Jacoby κ.ά (1985), χρησιμοποίησαν τρεις χρονοσειρές θερμοκρασιών βασισμένες σε ακριβώς χρονολογημένα ετήσια πλάτη δακτυλίων από την Κεντρική Αλάσκα και τον βορειοδυτικό Καναδά, για να ανακατασκευάσουν τις θερμοκρασίες του Ιουνίου και Ιουλίου από το 1524. Η χρονοσειρά που προέκυψε ήταν η μεγαλύτερη για την περιοχή και για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν 57 δείγματα (τρυπανίδια) από 27 δένδρα. Η ανακατασκευή δείχνει περισσότερο τη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας ανά έτος, καθώς και τις εκτεταμένες θερμές και ψυχρές περιόδους. Αυτή, καθώς και αντίστοιχες ανακατασκευές, δίνουν ποσοτικές πληροφορίες για να συγκριθούν με γενικά κυκλοφοριακά και ενεργειακά μοντέλα για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους, για τις οποίες υπάρχουν μετεωρολογικά στοιχεία.

Η Cookney (1986) χρησιμοποίησε τις χρονοσειρές μεγίστων πυκνοτήτων και πλατών της *Picea rubens* Sarg από μεγάλα υψόμετρα στο Maine, για να ανακατασκευάσει τις εαρινές θερμοκρασίες του παρελθόντος για 310 χρόνια, για τους παρακείμενους

μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης βοήθησαν τόσο στην αύξηση της κατανόησης της σχέσεως του κλίματος και της πυκνότητας του ξύλου, όσο και στην επιπλέον ανάπτυξη παλαιοκλιματικών και παλαιοπεριβαλλοντικών μελετών μέσω των δακτυλίων από δένδρα περιοχών όπως η βορειοανατολική Βόρεια Αμερική.

Λίγο αργότερα ο Brinkman (1987) ανακατασκεύασε τις απορροές Ιουνίου - Ιουλίου υδατορρευμάτων στο Ontario και σε πολιτείες των Η.Π.Α.

Οι ξηρασίες του παρελθόντος (1698-1980) ανακατασκευάστηκαν και στο Texas από τον Stahle και Cleaveland (1988), ενώ ο Blasing κ.ά. (1988), μελέτησαν τα κατακρημνίσματα και τις ξηρασίες για το διάστημα 1750-1980 σε διάφορες πολιτείες της Αμερικής.

Την ίδια χρονιά, η Haston κ.ά. (1988), χρησιμοποιώντας δένδρα Μεγαλόκωνου ερυθρελάτης από τα όρη του San Rafael και την Santa Barbara Country, ανακατασκεύασαν δύο καινούργιες χρονοσειρές μέσω των δακτυλίων τους. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν ότι υπάρχει θεϊκή σχέση μεταξύ της ανάπτυξης και της χειμερινής και εαρινής βροχόπτωσης και μια αρνητική σχέση με τις εαρινές και τις πρώτες θερινές θερμοκρασίες. Η ανταπόκριση της Μεγαλόκωνου ερυθρελάτης βρέθηκε να διαφέρει από αυτή άλλων ανατολικών κωνοφόρων και επίσης βρέθηκε σύμφωνη με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μεσογειακής κλιματικής ζώνης.

Λίγο αργότερα ο Souderi (1990) παρατήρησε ότι η μεταβλητότητα του πλάτους των δακτυλίων των ευαίσθητων στη

θερμοκρασία δένδρων που μελέτησε σε μεγάλα υψόμετρα της Sierra Nevada, έδειχνε να ανταποκρίνεται στα μοντέλα δεκαετίας των θειϊκών ηφαιστειακών αερίων που παρατηρήθηκαν στο προφίλ οξύτητας ενός δείγματος πάγου της Γροιλανδίας και μια αρνητική ανταπόκριση ως προς την ανάπτυξη στις ξεχωριστές εκρήξεις των ηφαιστείων. Η παρουσία συγκεκριμένων γεγονότων στα αρχεία των περιοχών μέσου γεωγραφικού πλάτους, σε συνδυασμό με στοιχεία από δείγματα πάγου των αρκτικών περιοχών, καθώς και με ιστορικά στοιχεία από την Μεσόγειο, έδειξε ότι η πλειοψηφία αυτών των γεγονότων αναπαριστά εκρήξεις ενεργών (κλιματικά) ηφαιστείων, που προκάλεσαν μείωση της θερμοκρασίας κατά 1°C έως και δύο χρόνια μετά από την αρχική άκρηξη. Σαν συμπέρασμα εξάγεται ότι το σύνολο των ηφαιστειακών εκρήξεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αρχή για τη μελέτη των πάγων και σχετίζεται σταθερά με τους στενούς δακτυλίους των δένδρων. Επίσης φαίνεται ότι οι χρονοσειρές των δακτυλίων των δένδρων κάνουν εμφανή την εντατικοποίηση της λήψης ηλιακής ακτινοβολίας και των θερμοκρασιών, λόγω των ηφαιστειακών αερίων, ειδικά κατά τη διάρκεια των γεγονότων του Recess Peak και του Matthes από το 1400 έως το 1850.

Μετά από 2 χρόνια, ο Briffa κ.ά (1992), χρησιμοποιώντας στοιχεία πυκνότητας των δακτυλίων των δένδρων της δυτικής Βορείου Αμερικής, ανακατασκεύασαν τις μέσες θερινές θερμοκρασίες (Απριλίου - Σεπτεμβρίου) για τη χρονική περίοδο 1600-1982. Επίσης έγινε χρήση και της μεθόδου των πλατών των δακτυλίων των δένδρων και τα αποτελέσματα ήταν εξίσου

ικανοποιητικά. Η έρευνα έδειξε ότι τα χρόνια 1680-1770 ήταν θερμά για τη δυτική περιοχή. Εκτεταμένη ζέση επισημάνθηκε επίσης για το 1790, το 1820 (εκτός της California), το 1850 και ιδιαίτερα το 1930. Περίοδοι ψύχους ήταν οι δεκαετίες του 1600, 1620, 1660, 1670, 1690, 1700. Η περίοδος 1870-1930 ήταν χαρακτηριστική για τα ευρέως ψυχρά καλοκαίρια της. Τέλος δεν πρέπει να παραλειφθεί η χρονιά 1601 οπότε παρατηρήθηκε ισχυρό ψύχος.

Ο Young (1994), μέσω στοιχείων μηνιαίων κατακρημνισμάτων και χρονοσειρών δακτυλίων δένδρων των παραποτάμιων περιοχών της κεντρικής Αριζόνα, ανακατασκεύασε, τη χρονοσειρά των παροχών των ποταμών Verde, Tonto Greek και Salt της περιοχής από το 1580. Και για τους τρεις ποταμούς παρατηρήθηκε κυκλική επαναφορά των φαινομένων της τάξεως των 70 ετών. Συμπερασματικά προκύπτει ότι η Αριζόνα θα έχει μία ιδιαίτερα ξηρή περίοδο κατά τα έτη 2020-2029. Επίσης παρατηρήθηκε και κυκλική επαναφορά των φαινομένων ανά 5,2 χρόνια, που σχετίζεται (πάντως όχι ιδιαίτερα) με το φαινόμενο El Nino Southern Oscillation.

Μία ιδιαίτερα πρόσφατη μελέτη είναι αυτή των Meko και Graybill (1995). Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατες χρονοσειρές δακτυλίων δένδρων για την ανακατασκευή της ετήσιας παροχής του ποταμού Gila στην νοτιοανατολική και νοτιοδυτική Αριζόνα από το 1663. Η έρευνα για στοιχεία υδρολογικής μεταβλητότητας σε αυτή την ημίξηρη περιοχή κρίθηκε απαραίτητη γιατί οι ανάγκες αυτής της περιοχής σε νερό δεν καλύπτονται.

Από την έρευνα προέκυψε ότι οι περίοδοι χαμηλής παροχής παρατηρούνται σε ακανόνιστα χρονικά διαστήματα της τάξεως των 20 περίπου ετών. Η σύγκριση με άλλες ανακατασκευασμένες χρονοσειρές δακτυλίων δένδρων έδειξε ότι αυτές οι περίοδοι μικρής παροχής είναι ταυτόχρονες από τη λεκάνη απορροής του ποταμού Gila ως της λεκάνη απορροής του Upper Colorado.

Ένας σημαντικός αριθμός δενδροχρονολογικών μελετών έχει πραγματοποιηθεί και στην Ευρώπη. Βέβαια σε σύγκριση με την Αμερική οι μελέτες εδώ άρχισαν κάπως αργότερα, πάντως τα αποτελέσματα είναι εξίσου σημαντικά και αξιόπιστα.

Ο Hughes κ.ά. (1984), το Εδιμβούργο της Σκωτίας ανακατασκεύασαν τις θερινές θερμοκρασίες (Ιουλίου - Αυγούστου) για την περίοδο 1721-1975 από την πυκνότητα του ξύλου δακτυλίου δασικής πεύκης.

Τέσσερα χρόνια αργότερα, ο Briffa κ.ά. (1988), βασισμένοι στις μέγιστες πυκνότητες του χειμερινού ξύλου των κωνοφόρων της Ευρώπης, ανακατασκεύασαν τις μεταβολές της θερμοκρασίας στην Ευρώπη, για θερινή περίοδο 6 μηνών (Απρίλιος - Σεπτέμβριος) και για τη χρονική περίοδο 1750-1850. Η ανακατασκευή έδειξε ότι τα ψυχρότερα καλοκαίρια παρατηρήθηκαν κατά το διάστημα 1812-1816 και κατά τη δεκαετία του 1830. Αντιθέτως τα καλοκαίρια της δεκαετίας του 1820 ήταν τα θερμότερα αυτών που ανακατασκευάστηκαν. Προέκυψε επίσης ότι κατά τη διάρκεια κάποιων δεκαετιών υπήρξε μεταβλητότητα κατά περιοχές, αλλά δεν παρατηρήθηκαν τόσο ακραία θερμά ή ψυχρά καλοκαίρια για την περίοδο 1750-1810 σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Επίσης ο Briffa κ.ά. (1990), ανακατασκεύασαν τις θερινές θερμοκρασίες (Απριλίου - Αυγούστου) στην Σουηδία από το 500 έως σήμερα, χρησιμοποιώντας τα πλάτη των δακτυλίων της δασικής πεύκης.

Ο Norton (1987) ανακατασκεύασε στην Νέα Ζηλανδία της βροχές και τις απορροές για το διάστημα 1879-1977 από δακτυλίους *Nothofagus salandri*.

Τέλος επισημαίνεται πως ομάδα επιστημόνων από την Αυστραλία και τις Η.Π.Α. (Anderson, 1991) ανακατασκεύασαν από δακτυλίους *Lagarostrobos franklinii* που αναπτύσσεται στην Τασμανία, τη θερμοκρασία των τελευταίων 1000 χρόνων και παρατήρησαν ασυνήθιστη άνοδο μόνο για τα έτη 1965-1990.

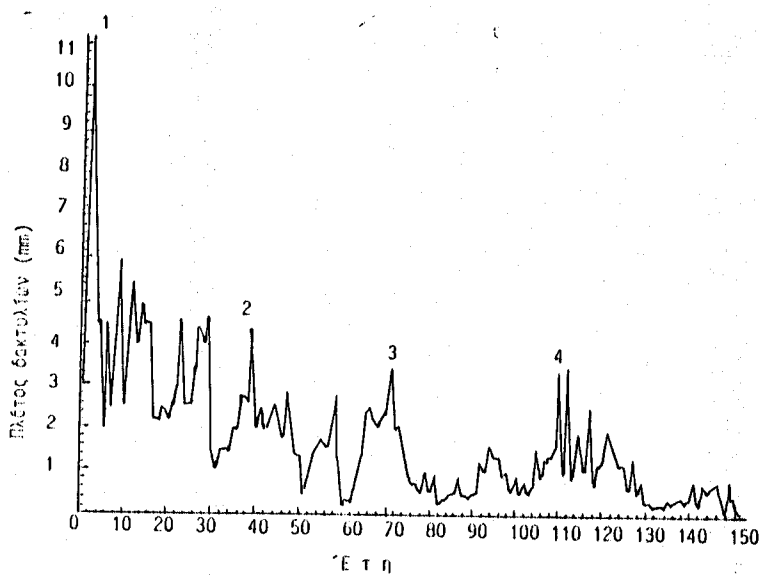
Στην Μεσογειακή ζώνη η δενδροχρονολογία - για την ανακατασκευή βροχών και θερμοκρασιών - άρχισε να εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια ή μετά τη μεγάλη ξηρασία που έπληξε την περιοχή από το 986 έως το 1990. Όμως η εφαρμογή της χρειάζεται περισσότερη προσπάθεια γιατί τα δάση της ζώνης αυτής είναι κακοποιημένα από μακροχρόνιους πολέμους, συχνές εμφανίσεις πυρκαγιών και έντονων υλοτομιών και βοσκής. Για τους λόγους αυτούς δεν υπάρχει πληθώρα δένδρων μεγάλης ηλικίας και απαιτούνται σημαντικές προσπάθειες για τον εντοπισμό τους.

Πάντως από αυτή την περιληπτική ανασκόπηση αυτών των μελετών της τελευταίας 20-ετίας φαίνεται ότι η δενδροχρονολογία προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τις υδρολογικές και γενικά για τις κλιματικές συνθήκες του παρελθόντος, που δεν είχε αρχίσει η καταγραφή των κλιματικών μεταβλητών.

## 8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### 8.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Από την ανασκόπηση της σχετικής με τη δενδροχρονολογία βιβλιογραφίας, διαπιστώνεται πως ο πρώτος που χρησιμοποίησε την επιστήμη αυτή για τη μελέτη και επίλυση κλιματικών προβλημάτων στη χώρα μας ήταν ο Μαρσιολόπουλος (1962). Πιο συγκεκριμένα ο παραπάνω ερευνητής μελέτησε τεμάχια ξύλου κυπαρισσιού (εμπόγια), που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνδεση των κλώνων του Παρθενώνα και χρονολογούνται πως ανήκουν στον 5ο π.Χ. αιώνα. Τα τεμάχια αυτά υπέστησαν κατάλληλη επεξεργασία και από το πλάτος των δακτυλίων τους (Σχήμα 9) διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:



Σχήμα 9: Πλάτος αυξητικών δακτυλίων τεμαχίων ξύλου κυπαρισσιού εντός των κλώνων του Παρθενώνα, που χρησιμοποιήθηκε τον 5ο αι. π.Χ. (Μαρσιολόπουλος, 1962).

- α) Κατά τη διάρκεια των 200 χρόνων ζωής του δένδρου, πριν από το 440 π.Χ. (περίπου), οι δακτύλιοι των κομματιών ξύλου που μελετήθηκαν, έδειξαν μεγάλη και καθαρή διακύμανση πάχους, εμφανιζόμενη περιοδικά.
- β) Αυτή η διακύμανση επιβεβαιώνει την ύπαρξη 35χρονης και 11χρονης περιοδικότητας της βροχόπτωσης (Bruckner) πριν από 2600 χρόνια. Οι μέσες τιμές αυτής της περιοδικότητας βρέθηκαν να είναι 34.5 και 11.5 χρόνια.
- γ) Υπάρχουν δύο μεγάλα αξιοπρόσεκτα μέγιστα, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται 108 χρόνια.

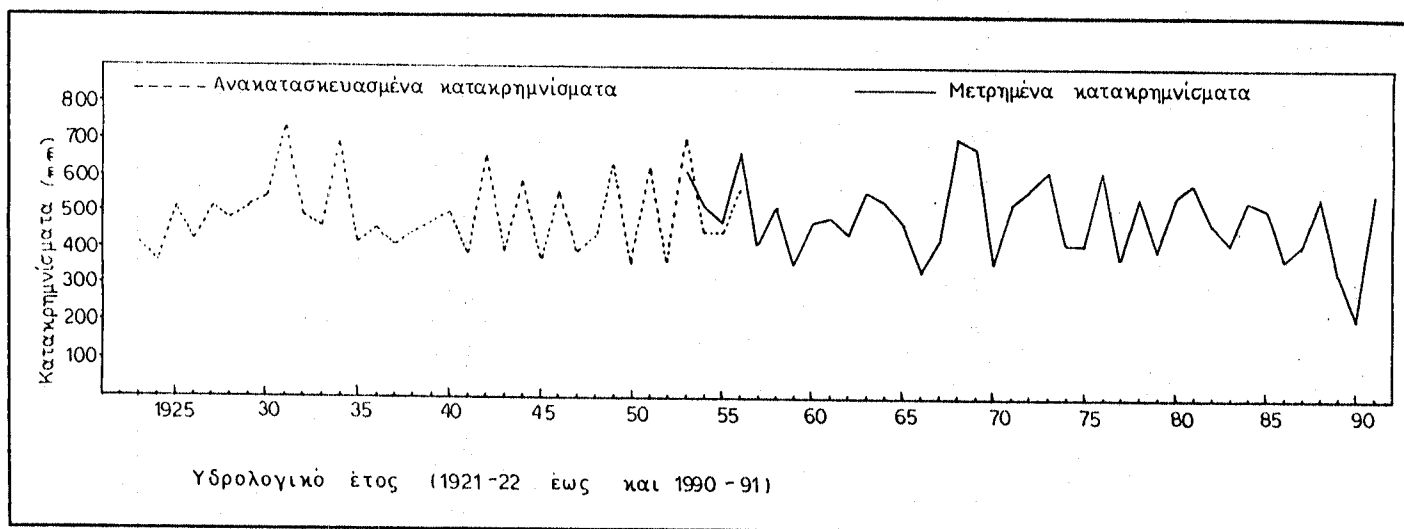
Μετά το Μαρτιολόπουλο, άλλος ερευνητής που χρησιμοποίησε τη δενδροχρονολογία στην Ελλάδα ήταν ο Θεριανός (1967). Ο τελευταίος προσπάθησε να ανακατασκευάσει τις μέσες ετήσιες παροχές του ποταμού Αχελώου. Δυστυχώς όμως η μελέτη του δεν τον οδήγησε σε συμπεράσματα και ο κύριος λόγος ήταν ότι δεν έκανε χρήση της εξομάλυνσης, δηλαδή δοκίμασε να συσχετίσει άμεσα τα μετρημένα πλάτη των δακτυλίων με τις παροχές.

Επίσης οι Ζάγκας (1990) και Σπανός (1992) εφάρμοσαν για πρώτη φορά τη δενδροοικολογία στη χώρα μας, στα δάση Τραχείας πεύκης της θάσου.

Κατόπιν το 1993 ο Μπανούτσος κι οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν τα πλάτη των αυξητικών δακτυλίων της Χαλεπίου πεύκης (*Pinus halpensis*), που φύεται στην Δεκέλεια (Τατόλι)



Αττικής, για την ανακατασκευή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ορισμένων υδρολογικών ετών πριν την έναρξη των μετρήσεων στην περιοχή. Συγκεκριμένα αναλύθηκαν 13 δένδρα και το πλάτος των δακτυλίων τους, με τη χρήση της μεθόδου της απλής παλινδρόμησης, συσχετίσθηκε με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα 35 υδρολογικών ετών (1956-57 έως 1990-91). Μετά από εξέταση διαπιστώθηκε η αξιοπιστία της εξίσωσης παλινδρόμησης και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για την ανακατασκευή των κατακρημνισμάτων των υδρολογικών ετών 1956-57 έως και 1922-23 (Σχήμα 10). Οι τιμές αυτών των υψών βροχής κυμάνθηκαν από μία μέγιστη τιμή 737,1 mm έως μία ελάχιστη τιμή 362,7 mm. Συμπερασματικά ως ξηρά σχετικά έτη χαρακτηρίστηκαν τα 1923-24, 1944-45 και 1951-52.



Σχήμα 10: Ανακατασκευή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της περιόδου 1956-'57 έως και 1922-'23 στην Δεκέλεια (Τατόϊ) Αττικής. (Μπαλούτσος κ.ά., 1993).

Ο Τσακίρης κ.ά. (1993) και ο Μπαλούτσος κ.ά. (1992), προσπάθησαν να καθορίσουν και να εκτιμήσουν τους κύριους παράγοντες που συντελούν στην υποβάθμιση της βλάστησης από την Ξηρασία. Ως περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η λεκάνη απορροής του Άνω Μόρνου, ενώ ως αντιπροσωπευτικό στοιχείο βλάστησης ελήφθη η Ελάτη. Και σε αυτή την εργασία, η μεθοδολογία που διαμορφώθηκε εντάσσεται στην κατηγορία των δενδροχρονολογικών μεθόδων. Η ετήσια αύξηση των δένδρων από επιλεγμένες θέσεις προσιδορίσθηκε από το πλάτος των αυξητικών δακτυλίων. Η συσχέτιση της αύξησης των δένδρων με τους μετεωρολογικούς παράγοντες της Ξηρασίας επιτεύχθηκε με τη μετατροπή σε "ανηγμένους" δείκτες αυξήσεως. Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε μία περίοδο 40 ετών σε σειρά συνδυασμών ορογραφικών χαρακτηριστικών όπως το πέτρωμα, η έκθεση και το βάθος του εδάφους. Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν μία σημαντική συσχέτιση των δεικτών αυξήσεως με το ύψος βροχής της αυξητικής περιόδου.

Η πιο πρόσφατη μελέτη ήταν αυτή του Παπαδόπουλου (1995), ο οποίος ανέλυσε τα βροχοθερμικά και δενδροχρονολογικά δεδομένα της Ηπειρωτικής Ελλάδας, στα πλαίσια μιας δενδροκλιματολογικής μελέτης της Χαλεπίου πεύκης στη χώρα μας. Στην κατεύθυνση αυτή, η ανάλυση του κλίματος και ο καθορισμός ομοιογενών κλιματικών ενοτήτων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη δειγματοληψία και την ανάλυση του δενδροχρονολογικού υλικού (Schweingnuber, 1987).

## 8.2. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Ο σχεδιασμός για ορθολογική ανάπτυξη και διαχείριση των υδατικών πόρων μιας χώρας, καθώς και η αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων -όπως είναι ξηρασίες και πλημμύρες- προϋποθέτουν την ύπαρξη αξιόπιστων υδρομετεωρολογικών πληροφοριών για όσο το δυνατόν περισσότερα χρόνια του παρελθόντος. Από αυτή την κατηγορία πληροφοριών τα κατακρημνίσματα, η απορροή των υδατορρευμάτων και οι θερμοκρασίες είναι τα πιο απαραίτητα για τους σκοπούς που αναφέρθηκαν. Για την Ελλάδα όμως οι πληροφορίες αυτές δεν είναι αρκετές, αφού το σύνολο των σταθμών καταγραφής τους δεν λειτουργεί πάνω από 20-30 χρόνια. Εξαίρεση αποτελεί κυρίως ο βροχομετρικός σταθμός του Αστεροσκοπείου Αθηνών, που λειτουργεί συνεχώς από το 1859.

Είναι όμως φανερό πως η δενδροχρονολογία μπορεί να δώσει στην Ελλάδα επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες για τα ύψη βροχής, τις απορροές, τις θερμοκρασίες και την εμφάνιση ξηρασιών παρελθόντων ετών και γενικά μπορεί να συμβάλλει στην ανακατασκευή στοιχείων που είναι απαραίτητα για τον ορθολογικό σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων κρίσιμων λεκανών απορροής. Έτσι το κενό τέτοιου είδους πληροφοριών που υπάρχει στη χώρα μας, καλύπτεται με την εφαρμογή σύγχρονων δενδροχρονολογικών μεθόδων.

Οι λεκάνες απορροής του Μόρνου και Εύηνου ποταμού - και

κυρίως του πρώτου - είναι δύο για τις οποίες η δεικτοχρονολογία μπορεί να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τα ετήσια ύψη των κατακρημνισμάτων του παρελθόντος, τις τάσεις αυξήσεως ή ελαττώσεως αυτών, τις περιόδους επαναφοράς των ξηρών και υγρών ετών, για τις μέσες θερμοκρασίες της αυξητικής περιόδου και ακόμα για τις ετήσιες και μηνιαίες απορροές τους, αλλά με ορισμένες επιφυλάξεις ως προς τις τελευταίες μεταβλητές. Οι παραπάνω πληροφορίες για τις συγκεκριμένες λεκάνες είναι μικρής διάρκειας, αφού τα πρώτα στοιχεία βροχής στο Λιδωρίκι άρχισαν να συλλέγονται συστηματικά μετά το 1959. Βέβαια η έναρξη λειτουργίας του σταθμού έγινε το 1982, αλλά από τότε μέχρι το 1948 υπάρχουν στοιχεία μόνο για 4.5 χρόνια (πληροφορίες από Ε.Μ.Υ.)

Η έλλειψη των πληροφοριών που αναφέρθηκαν δυσχεραίνει προφανώς το σχεδιασμό λήψης ακταλλήλων μέτρων για την αντιμετώπιση των ξηρασιών στις συγκεκριμένες λεκάνες απορροής και το κενό αυτό έγινε εμφανές κατά τη μεγάλη ξηρασία της περιόδου 1989-90. Έτσι είναι νωπή ακόμη η μνήμη της σύγκλισης που δημιούργησε η έλλειψη πληροφοριών για την περίοδο επαναφοράς τέτοιων ξηρασιών όχι μόνο στα μέσα ενημέρωσης, αλλά και μεταξύ των ειδικών στους υδατικούς πόρους.

Βέβαια δεν είναι ο Μόρνος κι ο Εύηνος οι μόνες λεκάνες απορροής, για τις οποίες είναι απαραίτητη η ανακατασκευή υδρομετεωρολογικών στοιχείων παρελθόντων ετών. Στη χώρα μας ως γνωστό λειτουργούν, κατασκευάζονται ή προγραμματίζονται φράγματα και ταμειυτήρες πολλαπλών σκοπών, καθώς και

λιμνοδεξαμενές μικρών σχετικά διαστάσεων σε πολλές λεκάνες απορροής και συνεπώς σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η δενδροχρονολογία μπορεί να δώσει χρήσιμες και πολλές φορές απαραίτητες πληροφορίες για τις υδατικές και κλιματικές συνθήκες του παρελθόντος. Αλλά και οι πιο ξηρές περιοχές της χώρας μας, όπως είναι οι ανατολικές, μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στο σχεδιασμό επίλυσης των υδατικών τους προβλημάτων με τη χρήση της δενδροχρονολογίας. Όμως στην προκειμένη περίπτωση απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εύρεση του κατάλληλου δασοπονικού είδους για το συγκεκριμένο είδος της ανάλυσης.

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα δασοπονικά είδη είναι ένας άλλος τομέας που ίσως μπορεί να διαφωτιστεί με τη χρήση δενδροχρονολογικών μεθόδων. Επίσης η εξέταση κι η ποσοτικοποίηση της επίδρασης φυσιολογικών, τοπογραφικών, εδαφικών, υδατικών κλπ. παραγόντων στην αύξηση των δασικών δένδρων μπορεί να εντατικοποιηθεί από τους αυξητικούς δακτύλιους στη χώρα μας, όπως γίνεται και αλλού (Kienast and Luxmoure, 1988, Kienast et al., 1987, Petersen and Eckstein, 1988).

Ακόμη πρέπει να αναφερθούν οι πολύτιμες πληροφορίες που μπορεί να προσφέρει ο επιστημονικός αυτός κλάδος στην αρχαιολογία της Ελλάδας και η ως τώρα καθυστέρηση προς την κατεύθυνση αυτή είναι αδικαιολόγητη. Η κατασκευή χρονοσειρών από αυξητικούς δακτυλίους που γίνεται από ξένους ερευνητές (Kuniholm and Striker, 1987) για το σκοπό αυτό στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και συνεπώς και στη χώρα μας,

πρέπει να παρακινήσει για την έναρξη των εργασιών.

Μετά την παρουσίαση, που έγινε παραπάνω, ορισμένων από τις εφαρμογές που έχει η δενδροχρονολογία στην Ελλάδα, το ερώτημα που ίσως προκύψει είναι κατά πόσο τα δασοπονικά μας είδη είναι κατάλληλα για τέτοιου είδους αναλύσεις. Απαντώντας στο ερώτημα αυτό επισημαίνουμε πως ενώ στη χώρα μας υπάρχει μεγάλος αριθμός ειδών, λείπουν κατά κανόνα άτομα μεγάλης σχετικά ηλικίας. Η έλλειψη αυτή οφείλεται στην υποβάθμιση των δασών κυρίως από υλοτομίες και πυρκαγιές. Και ακόμα τα άτομα μεγάλης ηλικίας διαφόρων ειδών είναι πιθανόν να είναι ακατάλληλα για ανάλυση λόγω κακοποίησης του κορμού από ρητίνευση ή άλλες αιτίες. Οι παραπάνω "ιδιομορφίες" δεν σημαίνουν βέβαια πως τα δασοπονικά μας είδη δεν προσφέρονται για δενδροχρονολογική ανάλυση, γιατί ενώ σπανίζουν άτομα πολύ μεγάλης ηλικίας (330 ή και παραπάνω ετών), υπάρχει πληθώρα ατόμων 100-150 ή και 200 ετών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη των υδρολογικών συνθηκών του παρελθόντος. Το γεγονός αυτό γίνεται ιδιαίτερα ενδιαφέρον αν ληφθεί υπόψη πως οι ηλικίες αυτές είναι 4-5πλάσιες από τα χρόνια των διαθέσιμων υδρομετεωρολογικών στοιχείων.

## 9. ΣΥΖΗΤΗΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της δενδροχρονολογίας στην υδρολογία, την κλιματολογία και τις άλλες περιβαλλοντικές επιστήμες, ενώ ξεκίνησε από τις αρχές του αιώνα μας, παρουσίασε ραγδαία εξέλιξη την τελευταία 20ετία. Σήμερα, λόγω των σημαντικών επιτυχών αποτελεσμάτων των διαφόρων μελετών, οι αυξητικοί δακτύλιοι των δένδρων αναγνωρίζονται πλήρως σαν περιβαλλοντικοί αισθητήρες (Environmental sensors) και επομένως σαν πολύτιμο εργαλείο για τον καθορισμό των υδρολογικών και γενικά των κλιματικών συνθηκών των χρόνων του παρελθόντος, που η καταγραφή των κλιματικών μεταβλητών ήταν ελλειπής ή ακόμη και ανύπαρκτη. Η δυνατότητα αυτή οφείλεται στην ισχυρή συσχέτιση της ετήσιας αύξησης καταλλήλως επιλεγμένων δένδρων και των ετησίων κατακρημνισμάτων ή της θερμοκρασίας, οπότε μπορεί να ευρεθεί και διατυπωθεί η σχέση μεταξύ των μεταβλητών αυτών.

Ο προσδιορισμός και η διατύπωση της σχέσης που αναφέρθηκε μπορεί να γίνει με ορισμένες διαδικασίες, προϋποθέσεις και περιορισμούς και στην περίπτωση αυτή οι γνώσεις και η εμπειρία του δενδροχρονολόγου είναι αποφασιστικής σημασίας. Οι δυσκολίες που τυχόν απαντώνται απορρέουν από το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται άμεσα η ετήσια αύξηση όλων των δένδρων μιας περιοχής από τα κατακρημνίσματα της αντίστοιχης χρονιάς, ακόμη και σε ξηρά έτη. Πιο συγκεκριμένα η ετήσια αύξηση δένδρων που βρίσκονται π.χ. σε θέσεις με βαθιά εδάφη, βόρειες εκθέσεις κλπ. δεν επηρεάζεται από τη μείωση των

κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια μιας ξηρασίας, αφού υπάρχει περίσσεια υγρασίας του εδάφους από την προηγούμενη υγρή περίοδο. Επομένως για να είναι σωστή η επιλογή των δένδρων για ανάλυση, πρέπει να γίνεται από θέσεις μιας περιοχής όπου οι υπό μελέτη κλιματικοί παράγοντες είναι περιοριστικοί για την ανάπτυξή τους. Αλλά ακόμη και τα δένδρα που επιλέγονται πρέπει να έχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ώστε να εξομαλύνονται όσο ο δυνατόν οι γενετικοί και ενδοφυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση και να επικρατούν οι κλιματικοί. Έτσι η επιλογή δένδρων για υδρολογική και κλιματική εξέταση του παρελθόντος, που επιχειρείται με τυχαία δειγματοληψία από όλα τα δένδρα μιας περιοχής και χωρίς αυτά να έχουν ειδικά χαρακτηριστικά που θέτει ο δενδροχρονολόγος, συνήθως δεν οδηγεί σε συμπεράσματα. Όπως εξάλλου φάνηκε και στο κεφάλαιο 6 του παραδείγματος της δενδροχρονολογικής ανάλυσης, όπου τα δένδρα δεν είχαν επιλεγεί με δενδροχρονολογικά κριτήρια, η ανάλυση δεν κατέληξε σε συσχέτιση του πλάτους των δακτυλίων με τα ύψη βροχής όπως ήταν επιθυμητό. Αυτό συνέβη επειδή οι συντελεστές συσχέτισης ήταν εξαιρετικά μικροί και δεν επέτρεπαν συμπλήρωση της χρονοσειράς των ετησίων υψών βροχής και επέκτασή της στο παρελθόν για τα έτη, για τα οποία είχαμε τα πλάτη των δακτυλίων των δύο δένδρων. Επίσης, δεν πρέπει να παραλειφθεί πως ο αριθμός των δένδρων που επιλέγονται από κάθε θέση πρέπει να είναι ικανός ώστε να εξαλείφονται οι μικροδιαφορές από δένδρο σε δένδρο λόγω του μικροκλίματος και έτσι ο μέσος όρος της αύξησης για κάθε έτος να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν



περισσότερο στα κατακρημνίσματα ή τη θερμοκρασία.

Προκειμένου τα συμπεράσματα που εξάγονται από μία δενδροχρονολογική μελέτη να είναι ασφαλή, α απαραίτητη προϋπόθεση είναι επιπλέον τόσο η διασταύρωση του χρόνου σχηματισμού κάθε δακτυλίου σε όλα τα δένδρα, όσο και η σταθεροποίηση του πλάτους τους. Επιπλέον τονίζεται ότι για την ανακατασκευή των ετησίων κατακρημνισμάτων ή των απορροών πρέπει να γίνεται αναφορά στο υδρολογικό και όχι στο ημερολογιακό έτος. Και αυτό γιατί χρησιμοποιώντας το 12μηνο Οκτωβρίου - Σεπτεμβρίου δεν διαταράσσεται η σχέση μεταξύ κατακρημνισμάτων, απορροής, υγρασίας του εδάφους και ετήσιας αύξησης των δένδρων.

Στην Ελλάδα η δενδροχρονολογία και πιο συγκεκριμένα η δενδροϋδρολογία έτυχε ελάχιστης μελέτης και εφαρμογής τα τελευταία χρόνια. Η πρώτη εργασία που δημοσιεύθηκε ήταν εκείνη του Θεριανού (1967), που επιχείρησε τη συσχέτιση των βροχών και απορροών με την ετήσια αύξηση των δένδρων στη λεκάνη απορροής του Άνω Αχελώου. Δυστυχώς δενδροχρονολογικές μελέτες στην Ελλάδα ξαναπραγματοποιήθηκαν μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι έχουμε κάποιες πρόσφατες δενδροοικολογικές μελέτες (Ζάγκας, 1990 και Σπανός, 1992), καθώς και κάποιες δενδροκλιματολογικές μελέτες (Μπαλούτσος και συνεργάτες, 1993, Τσακίρης και συνεργάτες, 1993 και ο Μπαλούτσος και συνεργάτες, 1992, Παπαδόπουλος, 1995), όπου ως επί το πλείστον ανακατασκευάστηκαν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα διαφόρων περιοχών της Ελλάδας.

Όμως οι παραπάνω εφαρμογές δεν επαρκούν και οι

εξαιρέσεις της μεταβλητότητας του κλίματος τα τελευταία χρόνια και η έλλειψη υδρομετεωρολογικών στοιχείων για μακρό χρονικό διάστημα του παρελθόντος ώστε να αποδεικνύουν την έναρξη ή όχι μιας κλιματικής αλλαγής και τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων, κάνει επιτακτική την ανάγκη εφαρμογής της δενδροχρονολογίας και στην Ελλάδα, για τη συμβολή κατά το μέτρο του δυνατού στη μελέτη του συγκεκριμένου προβλήματος.

## B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

- . Anderson, I., 1987, Global warming rings true, New Scientist, No. 1787: 23.
- . Baker, D., 1992. Running down to Rio. New Scientist, No 1819: 38.
- . Blasing, I.J., D.W. Stahle, D.N. Duvick, 1988. tree ring based reconstruction of annual precipitation in the South Central United States from 1750 to 1980. Water Resourc, Res., 24(1):163-171.
- . Briffa, K.R., P.D. Jones, F.H. Schweingruber, 1988. Summer temperature pattern: A reconstruction from 1750 A.D. based on maximum latewood density indices of conifers. Quaternary Research, 30: 36-52.
- . Briffa, K.R., T.S. Bartholin, D. Eckstein, P.D. Jones, W. Karten, F.H. Schweingruber, P. Zetterberg, (1990). A 1400 - year tree-ring record of summer-temperatures in Fennoscandia. Nature, 346:434-439.
- . Briffa et al., 1992. Tree ring density reconstructions of summer temperature patterns across Western North America since 1600. J. of Climate, 5:735-754.

- . Brinkman, W., 1987, Water supplies to the Great Lakes-reconstructed from tree-rings. J. Of Clim. and Appl. Meteor., 26(4):530-538.
- . Conkey, L.E., 1986. Red spruce tree-ring widths and densities in Eastern North America as indicators of past climate. Quaternary Research, 26:232-243.
- . Cook, E.R., G.C. Jacoby, 1977. Treering relationships in the Hudson Valley, New York. Science, 198:399-401.
- . Cook, E.R. G.C. Jacoby, 1983. Potomac stream flow since 1730 as reconstructed by tree-rings. J.Clim. and Appl. Meteor.22:1659-1672.
- . Cook, E.R., L.A. Kairiukstis, 1990. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 394 pp.
- . Fritts, H.C., 1976. Tree-rings and climate. Academic Press, London, New York, San Francisco, 567 pp.
- . Gleick., P., 1986. Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes. J. Hydrology, 88 : 97-116.

- . Haston, L., F.W. Davis, J. Michaelsen, 1988. Climate response functions for Bignone spruce : A Mediterranean climate conifer. *Physical Geography*, 9 (1) : 81-97.
- . Hughes, M., F.H. Schweingruber, D. Cartwright, P. Kelly, 1984. July - August temperature at Edinburg between 1721-1975 from tree-ring density and width data. *Nature*, 308 (5957) : 341 -344.
- . Jacoby, G.C., E.R. Cook, 1981. Past temperature variation inferred from a 400 year tree - ring chronology from Yukon Territory, Canada. *Arct. Alp. Res.*, 12 : 409 - 418.
- . Jacoby, G.C., E.R. Cook, L.D. Wan, 1985. Reconstructed summer degree days in Central Alaska and Northwestern Canada since 1524. *Quaternary Research*, 23: 18-26.
- . Jones, P.D., 1990. Possible future environmental change in: *Methods of Dendrochronology - Applications in the Environmental Sciences*, edited by Cook, E.R., L.A. Kairiukstis, Dordrecht, Boston, London, pp.: 387-340.
- . Kaennel, M., F.H. Schweingruber, 1995. *Multilingual Glossary of Dendrochronology*. Paul Haupt Publishers, Berne, Stuttgart, Vienna, 493 pp.

- . Mariolopoulos, E.G., 1962. Fluctuation of rainfall in Attica during the years of the erection of the Parthenon. *Geofisica Pura e Applicata*, Milano, 51(1) : 243 - 250.
- . Meko, D., D.A. Graybill, 1995. Tree - ring reconstruction of Upper Gila river discharge. *Water Resources Bulletin*, 31(4) : 605-616.
- . Mimikou, M., Y. Kouvopoulos, G. Caradias, N. Vagianos, 1991 a. Regional hydrological effects of climate change. *J. Hydrology*, 128 : 119 - 146.
- . Mimikou, M., Y. Kouvopoulos, 1991 b. Regional climate change impacts: I. Impacts on Water resources. *Hydrological Sciences Journal*, 36, 3,6, : 247 - 258.
- . Mitsch, W.J., W.G. Rust, 1984. Tree growth responses to flooding in Northeastern Illinois, *Forest Sci.*, 30 : 499-510.
- . Μπαλούτσος, Γ., Σ. Καϊμάκη, Α. Ρέππας, Γ. Τσακίρης, 1992. Επιπτώσεις της ξηρασίας στην υποβάθμιση της βλάστησης της λεκάνης απορροής του Μόρνου ποταμού. *Πρακτικά, 1<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ*, σελ. 235-244.
- . Μπαλούτσος, Γ., Γ. Αμοργιανιώτης, Ε. Γκουντούφας, 1993. Ανακατασκευή ετήσιων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων από αυξητικούς δακτυλίου δένδρων Χαλεπίου πεύκης στην Δεκέλεια

Αττικής. Γεωτεχνικά Επιστ. Θέματα, σελ. 48-55.

- . Norton, D., 1987. Reconstruction of past river flow and precipitataion in Ganterbury, New Zealand, from analysis of tree-rings. J. Hydrology (N.Z.), 26(2): 161-174.
- . Παπαδόπουλος, Α.Μ., 1995. Ανάλυση της κατά χώρο μεταβλητότητας βροχοθερμικών και δενδροχρονικών δεδομένων της Ηπειρωτικής Ελλάδας. 2<sup>ο</sup> Συνέδριο Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας.
- . Phipps, R.L., 1983. Streamflow of the Occoquan River in Virginia as reconstructed from tree-ring series. Water Resour. Bull., 19 : 735-743.
- . Pucket, L.J., 1981. Dendroclimatic estimates of a drought index for Nathern Virginia, Geological Surrey Water-Supply Paper 2080, H.S. Government. Printing Office, Washington, 39 pp.
- . Scuderi, L.A., 1990. Tree-ring evidence for climatically effective volanic eruptions. Quaterrary Research, 34 : 67-85.
- . Επανός, Ι., 1992. Ανάλυση δομής και αναγέννηση τραχείας πεύκης θάσου. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Γεωτ. Επιστημ., Α.Π.Θ., σελίδες 80.

- . Stahle, D., M. Cleaveland, 1988. Texas drought history reconstructed and analysed from 1698 to 1980. *J. of Climate*, 1(1): 59-74.
- . Stockton, C.W., M.M. Meko, 1983. Drought recurrence in the Great Plains as reconstructed from long-term tree-ring records. *J. of Climate*, 22 : 17-29.
- . Θεριανός, Α.Δ., 1967. Έρευνα επί των ακραίων εν Ελλάδι απορροών. Διατριβή επί δικτατορίας, Ε.Μ.Π., σελίδες 163.
- . Tsakiris, G., 1993. Drought effects on vegetation and soil degradation in Mediterranean countries (Final Report). Commission of the European Communities directorate - General for science research and development, pp. 53-66.
- . Τσούμης, Γ., 1989. Το μεγαλείο του δάσους. Δασικά Χρονικά, τεύχος 1-12, σελ. 65-73.
- . Young, K.C., 1994. Reconstructing streamflow time series in Central Arizona using northly precipitation and tree-ring records. *J. of Climate*, 7: 361 - 374.
- . Ζάγκας, Θ.Δ., 1990. Συνθήκες φυσικής εγκατάστασης της δασικής πεύκης σε περιοχές της Ροδόπης. Διδακτορική διατριβή, Επιστ. Επετ. του Τμήματος Δασ. και Φυσ. Περ., Σχολής Γεωτ. Επιστ. Α.Π.Ι., Παραρτ. Αρ. 10 του ΑΒ' τόμου, σελίδες 170.