

1/2026

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 34 ΣΕΙΡΑ II

# ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

---

# GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

# CONTENTS

---

## SCIENTIFIC PAPERS

|                                                   |                                                                                                                           |       |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>S. Gatzojannis</i>                             | The self-thinning lines $N_{max}$ and $G_{max}$ as starting points for silvicultural management and forest yield research | 4-27  |
| <i>S. Gatzojannis</i>                             | Alternative Simulation Procedures for Forest Stand Growth and Yield - The Case of <i>Pinus brutia</i> Stands -            | 28-49 |
| <i>A. Stampouli</i><br><i>F. A. Aravanopoulos</i> | Analysis of molecular and morphometric diversity in a poplar population of the Axios Delta National Park                  | 50-60 |
| <i>A. Stergiadou</i><br><i>K. Triantafyllidis</i> | Forest road roadside vegetation and its timeless role                                                                     | 61-76 |

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

## ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

|                                             |                                                                                                                               |       |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Σ. Γκατζογιάννης</i>                     | Οι γραμμές αυτοαραίωσης $N_{max}$ και $G_{max}$ ως αφετηρίες για δασοκομικό χειρισμό και δασοαποδοτική έρευνα                 | 4-27  |
| <i>Σ. Γκατζογιάννης</i>                     | Εναλλακτικές διαδικασίες προσομοίωσης της αύξησης και απόδοσης δασοσυστάδων<br>- Η περίπτωση συστάδων Τραχείας πεύκης Θάσου - | 28-49 |
| <i>Α. Σταμπούλη<br/>Φ. Α. Αραβανόπουλος</i> | Ανάλυση Μοριακής και Φαινοτυπικής Ποικιλότητας Πληθυσμού Λεύκης στο Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού                                  | 50-60 |
| <i>Α. Στεργιάδου<br/>Κ. Τριανταφυλλίδης</i> | Παρόδια βλάστηση δασικού δρόμου και ο διαχρονικός της ρόλος                                                                   | 61-76 |

# Οι γραμμές αυτοαραίωσης $N_{max}$ και $G_{max}$ ως αφετηρίες για δασοκομικό χειρισμό και δασοαποδοτική έρευνα

† Δρ. Στυλιανός Γκατζογιάννης<sup>1</sup>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα απόκτησης των γραμμών  $N_{max}=f(Dg)$  και  $G_{max}=f(Ho)$  ως γραμμών αυτοαραίωσης των δασοσυστάδων. Η ανάπτυξη των γραμμών αυτών έγινε προκειμένου να βρεθούν συγκριτικά μέτρα αξιολόγησης πραγματικών καταστάσεων, αναφορικά με την πυκνότητα και το δασοκομικό χειρισμό των δασοσυστάδων, αλλά και ως αφετηρίες δασοαποδοτικής έρευνας. Για τον σκοπό αυτόν αξιοποιήθηκε υλικό μιας απογραφής δοκιμαστικών επιφανειών από τέσσερα σημαντικά δασοπονικά είδη της Ελλάδας (μαύρη πεύκη, οξιά, δρυς και τραχεία πεύκη).

Η έρευνα περιελάμβανε: α) Ανάλυση της κατανομής του αριθμού κορμών ( $N$ ) και της εγκάρσια κυκλικής επιφάνειας ( $G$ ) κατά βαθμίδες διαμέτρου ( $d_{1,3}$ ), καθώς και της διασποράς των παρατηρήσεων, προκειμένου να φανούν ενδεχόμενοι περιορισμοί στην αναζήτηση των γραμμών αυτοαραίωσης. β) Αναζήτηση γραμμών “οροφής” των παρατηρήσεων  $\ln N/\ln Dg$  και “βάσης” του νέφους  $L/Dg$  με τη μέθοδο παλινδρόμησης ποσοστημορίων και μετάβασης αντίστοιχα σε γραμμές αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(Dg)$ , γ) Σύγκριση των γραμμών αυτών με τον κανόνα του Reineke, σύμφωνα με τον οποίο ο συντελεστής  $b_1$  των γραμμών  $\ln N_{max}=bo+b_1*\ln Dg$  έχει σταθερό μέγεθος ( $b_1=-1.605$ ) και κοινό για όλα τα δασοπονικά είδη και δ) Αναζήτηση των γραμμών αναφοράς  $G_{max}=f(Ho)$  μέσα από τρεις διαφορετικούς δρόμους: 1) Εκτίμηση της γραμμής οροφής των παρατηρήσεων ( $G/Ho$ ) με τη διαδικασία των ποσοστημορίων. 2) Ανάπτυξη εξισώσεων της μορφής  $G=bo+b_1*SD+b_2*SD/Ho$  και αναζήτηση γραμμών οροφής  $G_{max}=f(Ho)$ , εισάγοντας στις εξισώσεις μέγιστες τιμές πυκνότητας ( $SD$ ) και 3) Απόκτηση γραμμών  $G_{max}$  μέσω των γραμμών αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(Dg)$ .

Από τη δοκιμασία της μεθόδου των ποσοστημορίων προέκυψε ότι είναι εφικτή η ανάπτυξη γραμμών μέγιστης πυκνότητας ικανών να εκπροσωπήσουν με βεβαιότητα τις ζητούμενες γραμμές αυτοαραίωσης των συστάδων. Οι περιορισμοί, αναφορικά με τη ελάχιστη μετρούμενη διάμετρο και το έλλειμμα σε παρατηρήσεις μέγιστης πυκνότητας συστάδων, επηρέασαν τη διαμόρφωση των γραμμών  $N_{max}$ , όχι όμως και τις γραμμές  $G_{max}$ . Οι τελικές, προτεινόμενες προς εφαρμογή, γραμμές αυτοαραίωσης δίνονται αναλυτικά από τις εξισώσεις του πίνακα III, όπου για τις εξισώσεις 1.1, 1.3, 1.6 και 1.8 ο συντελεστής  $b_1$  δεν φαίνεται να διαφέρει σημαντικά από τον συντελεστή  $-1,605$  του Reineke.

Οι δυο πρώτες μέθοδοι προσδιορισμού της  $G_{max}$ , δηλαδή οι γραμμές οροφής ( $G_{max.99}$ ) και τα πρότυπα  $G_{max}=f(Ho, SDI_{max}$  ή  $SD.L_{max}$ ) συγκλίνουν ικανοποιητικά σε ένα κοινό αποτέλεσμα και δίνουν τις ζητούμενες γραμμές αναφοράς (βλ. τις σχετικές εξισώσεις στον πίνακα IV) ως αφετηρίες για τον έλεγχο της πυκνότητας των συστάδων. Η απόκτηση γραμμών  $G_{max}$  μέσω των γραμμών αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(Dg)$  κρίθηκε επίσης ως εφικτή και οδήγησε μάλιστα σε αποτελέσματα τα οποία δεν αποκλίνουν σημαντικά από αυτά των δυο πρώτων μεθόδων.

Τα αποτελέσματα, αναφορικά με τις γραμμές  $N_{max}=f(Dg)$  και  $G_{max}=f(Ho)$ , σηματοδοτούν μέγιστα που επιτυγχάνουν πράγματι οι συστάδες. Οι γραμμές αυτές μπορούν συμβατικά να παρατηρηθούν και ως βιολογικά μέγιστα, αλλά και ως γραμμές αυτοαραίωσης και να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την ταξινόμηση των συστάδων σε επίπεδα πυκνότητας με βάση τις σχέσεις  $G/G_{max}$ . Με τον τρόπο αυτόν μεταβαίνουμε σε αυξητικές σειρές που μας επιτρέπουν στη συνέχεια να σχεδιάσουμε το δασοκομικό χειρισμό και να μελετήσουμε την απόδοση των συστάδων που εντάσσονται στις διάφορες αυξητικές σειρές, αλλά και να σχεδιάσουμε τη διαχείριση των δασών σύμφωνα με το πρότυπο του κανονικού δάσους.

**Λέξεις κλειδιά:** Μαύρη πεύκη, οξιά, τραχεία πεύκη, δρυς, εγκάρσια κυκλική επιφάνεια, φυσικός βαθμός ξυλοβρίθειας, αραιότητα συστάδων, αυξητικές σειρές.

1. Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, ΕΘΙΑΓΕ

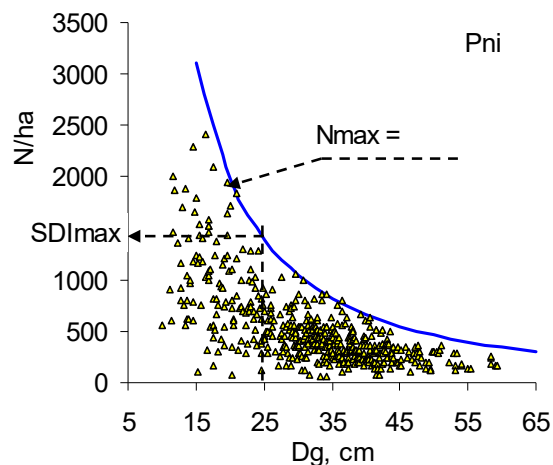
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της εργασίας είναι η αναζήτηση γραμμών αναφοράς, οι οποίες δίνουν το μέτρο της απόκλισης πραγματικών συστάδων από καταστάσεις που διαμορφώνει η φυσική εξέλιξη (βιολογικά όρια) ή ακόμα και από τεχνητά όρια, τα οποία όμως να συνδέονται ή να απορρέουν από γραμμές φυσικής εξέλιξης. Στο επίκεντρο προβληματισμού βρίσκεται η εξέλιξη της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας ( $G$ ), ως συνάρτηση του ανώτερου ύψους ( $H_o$ ) ομηλίκων συστάδων που αυξάνουν κανονικά, κάτω από αδιατάρακτες συνθήκες και χωρίς την ανθρώπινη συνδρομή (χωρίς αραιώσεις). Κάτω από τέτοιες συνθήκες οι συστάδες αποκτούν τη μέγιστη δυνατή κυκλική επιφάνεια ( $G_{max}$ ) που η φυσική τους πορεία μπορεί να δώσει τη ζητούμενη γραμμή αναφοράς.

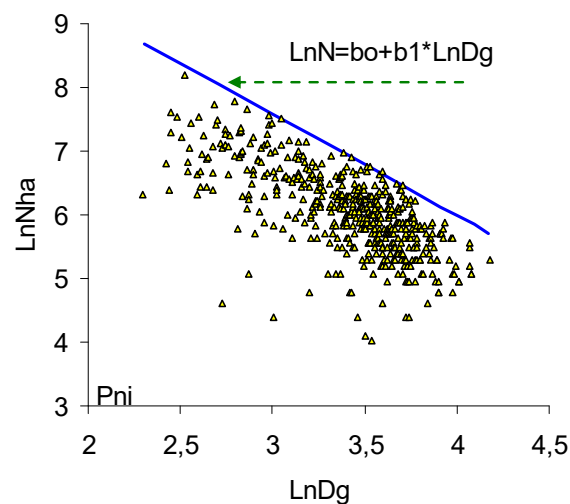
Η  $G_{max}$  είναι έννοια ταυτόσημη με τον «Φυσιολογικό βαθμό ξυλοβρίθειας» (Naturliches Bestockungsgrad ή και τη μέγιστη κυκλική επιφάνεια ζώντων δένδρων στη μονάδα της επιφάνειας (Assmann, 1970, Krammer, 1988, Gadov, 2003). Η φυσική αυτή πορεία είναι αποτέλεσμα του ανταγωνισμού μεταξύ των δένδρων και της θνησιμότητας που επέρχεται εξαιτίας αυτού του ανταγωνισμού. Η θνησιμότητα αυτή δημιουργεί και την έννοια της αυτοαραίωσης των συστάδων, δηλαδή της βαθμιαίας απομείωσης του αριθμού δένδρων των συστάδων που λαμβάνει χώρα φυσικά και χωρίς την ανθρώπινη συνδρομή (Yoda et al, 1963, Hynynen, 1993, Monserud et al, 2005, Zhang et al, 2015). Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η ύπαρξη ενός ανώτατου ορίου ζώντων δένδρων, τα οποία μπορούν να διατηρηθούν σε μια συγκεκριμένη συστάδα δάσους, γεγονός που οδηγεί και στα ανώτατα όρια για τον αριθμό δένδρων και την εγκάρσια κυκλική επιφάνεια των συστάδων.

Αν χαρακτηρίσουμε τα στάδια αύξησης των συστάδων μέσω της  $Dg$  τότε η σχέση που διαμορφώνεται μεταξύ  $Dg$  και  $N/ha$  δίνει τη βάση για τη δημιουργία των δεικτών ελέγχου της πυκνότητας, αλλά και την εκτίμηση της «βιοχωρητικότητας» των συστάδων. Έχει διαπιστωθεί ότι σε κάθε στάδιο αύξησης των συστάδων υπάρχει πάντοτε ένας μέγιστος αριθμός δένδρων ( $N_{max}$  στο σχήμα 1a) που δημιουργεί μια «οροφή» στις παρατηρήσεις  $N/Dg$ , όπου η σχέση μεταξύ μέσης διαμέτρου και αριθμού κορμών γίνεται κατά κανόνα γραμμική στη λογαριθμική της μορφή (Εξίσ. 1, Σχ. 1b).

$$(1) \quad \text{Ln}N_{max} = b_0 + b_1 * \text{Ln}Dg$$



(a)



(b)

**Σχήμα 1.** Η οροφή ( $N_{max}$ ) των παρατηρήσεων  $N/Dg$  (a) και η λογαριθμική της έκφραση ( $\text{Ln}N = b_0 + b_1 * \text{Ln}Dg$ ) (b) ( $\text{SDImax} = N_{max}$  για  $Dg = 25$  cm). Υποδείγματα που παρήχθησαν με υλικό 482 δοκιμαστικών επιφανειών Μαύρης πεύκης Ταυγέτου (Gatzojannis, 1999)

**Figure 1.** The roof/ ceiling ( $N_{max}$ ) of observations  $N/Dg$  (a) and its logarithmic expression ( $\text{Ln}N = b_0 + b_1 * \text{Ln}Dg$ ) (b) ( $\text{SDImax} = N_{max}$  for  $Dg = 25$  cm). Specimens created with material from 482 plots of Black pine stands in Taygetos forest (Gatzojannis, 1999)

Η γραμμή αυτή οροφής, καλούμενη και ως γραμμή αυτοαραίωσης «self thinning line», ή και «mortality line» δημιουργείται όταν με την αύξηση των συστάδων έχουν εξαντληθεί τα περιθώρια βιοχωρητικότητας και η θνησιμότητα των δένδρων αποκτάει έναν συγκεκριμένο ρυθμό διαμορφώνοντας ταυτόχρονα και τη γραμμή βιωσιμότητας των δένδρων (Oliver & Larson, 1996).

Για τη σχέση (1) υπήρξε πρόταση του Reineke (1933), σύμφωνα με την οποία, η κλίση  $b1$  της γραμμής αυτής είναι σταθερή, κοινή για όλα τα δασοπονικά είδη και ίση με  $-1,605$ , όχι όμως για τον συντελεστή  $b0$  ο οποίος διαφέρει μεταξύ των ειδών. Η άποψη αυτή επέτρεψε να δημιουργηθεί και ο γνωστός δείκτης πυκνότητας των συστάδων (SDI: Stand Density Index) ο οποίος παίρνει τη μορφή της εξίσωσης (2):

$$(2) SDI = N * (25/Dg)^{-1.605}$$

Ο SDI είναι ένα ποσοτικό κριτήριο (Curtis L., 2019) ανεξάρτητο από ηλικία και ποιότητα τόπου (Krammer, 1988, s. 185) και χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των συστάδων από άποψη πυκνότητας, ως ανεξάρτητη μεταβλητή στα πλαίσια βιομετρικών (Dahlhausen et al 2017) και δασοαποδοτικών ερευνών (Γκατζογιάννης, 2017, Gatzojannis, 1998, 1999). Ο δείκτης  $SDI_{max}$  σηματοδοτεί τη μέγιστη δυνατή πυκνότητα των συστάδων και ισοδυναμεί με το μέγιστο αριθμό δένδρων  $N_{max}$  που χαρακτηρίζει τις συστάδες με διάμετρο  $Dg=25$  cm (βλ.  $N_{max}$  στο σχήμα 1a). Ο δείκτης  $SDI_{max}$  που χρησιμοποιείται στη διαχείριση των δασών, ιδιαίτερα για τον καθορισμό του βέλτιστου χρόνου έναρξης και της έντασης των αραιώσεων, αποκτάει σήμερα ιδιαίτερη σημασία όχι μόνο από δασική-διαχειριστική, αλλά και από οικολογική άποψη, δεδομένης της ευαισθησίας του απέναντι σε κλιματικούς παράγοντες (Andrius et al 2018). Οι δασικές πυρκαγιές σηματοδοτούν επίσης την ανάγκη αναζήτησης αιτιών του κινδύνου αυτού, αξιολογώντας μεταξύ άλλων και ανάλογους δείκτες πυκνότητας των δασών (Woodall et al 2005).

Η γενική ισχύς της εξίσωσης (1) συχνά αμφισβητείται, σε ότι αφορά στον συντελεστή  $b1=-1,605$ , γιατί διαπιστώνεται ότι σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από την τιμή αυτή (Gadow, 2003, Monserud et al, 2005).

Ένας άλλος τρόπος αξιολόγησης της πυκνότητας των συστάδων είναι η οριακή γραμμή του Nilson (Zhang et al, 2015). Το κριτήριο αυτό μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέση απόσταση μεταξύ των δένδρων μιας συστάδας ενός εκταρίου, σύμφωνα με τον τύπο (3):

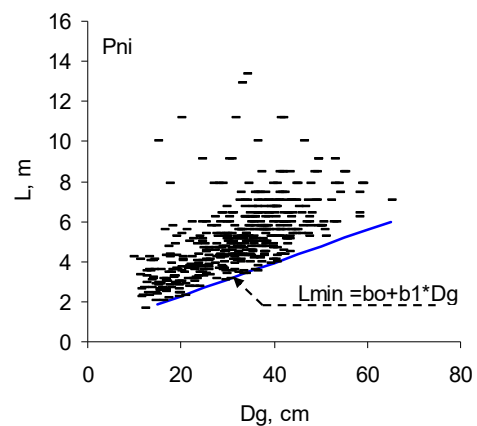
$$(3) L = (10000/N)^{0.5}$$

Ο Nilson (2006) χαρακτήρισε αυτή τη μέση απόσταση μεταξύ των δέντρων ως “stand sparsity” (αραιότητα συστάδων) και πρότεινε να εκτιμηθεί η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των επιζώντων δένδρων χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση (Gadow und Kotze, 2014):

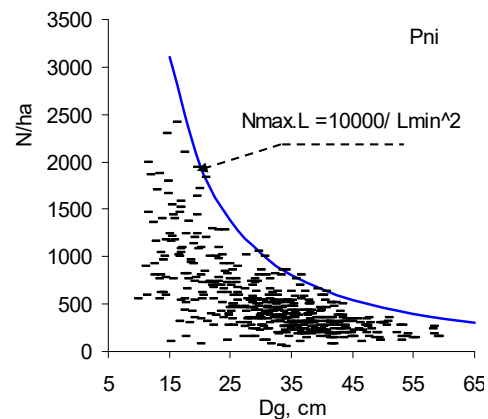
$$(4) L_{min} = b0 + b1 * Dg$$

Η σχέση αυτή οδηγεί στη “γραμμή βάσης” του αντίστοιχου νέφους διασποράς, που δίνεται στο σχήμα 2a, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της μέγιστης πυκνότητας ( $N_{max}$ ) σύμφωνα με τη σχέση (5):

$$(5) N_{max}.L = 10000/(b0+b1*Dg)^2$$



(a)



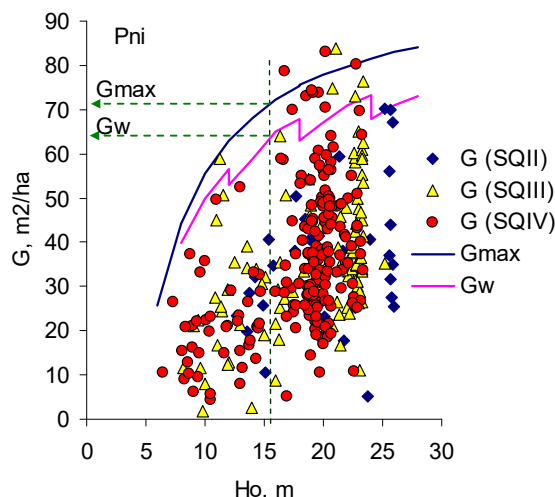
(b)

**Σχήμα 2.** Η διασπορά των παρατηρήσεων αραιότητας των συστάδων (L) με τη «γραμμή βάσης» ( $L_{min}$ ) (a) και η γραμμή αυτοαραίωσης  $N_{max}.L$  (b) Υποδείγ-

ματα που παρήχθησαν με υλικό 482 δοκιμαστικών επιφανειών Μαύρης πεύκης Ταυγέτου (Gatzojannis, 1999)

**Figure 2.** Dispersion of stand sparsity observations (L) with the baseline (Lmin) (a) and the self-thinning line  $N_{max} \cdot L$  (b). Specimens created with material from 482 plots of Black pine stands in Taygetos forest (Gatzojannis, 1999)

Στην πορεία αύξησης των συστάδων, παράλληλα με τη γραμμή αυτοαραιώσης  $N_{max}$  παράγεται και η γραμμή της μέγιστης εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας ( $G_{max}$ ) (Σχ. 3). Η  $G_{max}$  δεν συνδέεται κατ' ανάγκη και με τη μέγιστη δυνατή ποσοτική και ποιοτική απόδοση των συστάδων (Krammer, 1988), γι' αυτό και η δασοπονική πρακτική καθιέρωσε τις αραιώσεις ως μέσο για την επιτυχία συγκεκριμένων στόχων οικονομίας και απόδοσης των συστάδων. Αν στην πορεία αύξησης των συστάδων επιδιώξουμε τη διατήρησή τους σε ένα ορισμένο επίπεδο πυκνότητας τότε έχουμε και τη γραμμή αύξησης της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας  $G_w$  συναρτήσει της ηλικίας ή του ανώτερου ύψους των συστάδων ( $G_w = f(H_o)$  στο σχήμα 3). Αυτή αποβαίνει κατόπιν καθοριστική και για την πορεία αύξησης των συστάδων προς άλλες κατευθύνσεις, όπως είναι το ξυλαπόθεμα και η συνολική απόδοση.



**Σχήμα 3.** Η εγκάρσια κυκλική επιφάνεια ( $G$ ) συναρτήσει του ανώτερου ύψους ( $H_o$ ) και της ποιότητας τόπου ( $SQ$ ) των συστάδων μαύρης πεύκης ( $Pni$ ), σε συνδυασμό με  $G_{max} = f(H_o)$  (γραμμή οροφής) και την πραγματική πορεία αύξησης της κυκλικής επιφάνειας

( $G_w$ ) μιας δεδομένης συστάδας. Υπόδειγμα που παρήχθη με υλικό 482 δοκιμαστικών επιφανειών Μαύρης πεύκης Ταυγέτου (Gatzojannis, 1999)

**Figure 3.** The basal area ( $G$ ) in relation to dominant height ( $H_o$ ) and site quality ( $SQ$ ) of black pine stands ( $Pni$ ), in combination with  $G_{max} = f(H_o)$  (roof line) and the actual growth path of the basal area ( $G_w$ ) of a given stand. Specimens created with material from 482 plots of Black pine stands in Taygetos forest (Gatzojannis, 1999)

Το μέγιστο επίπεδο κυκλικής επιφάνειας μπορούν να αποκτήσουν οι συστάδες ορισμένου ανώτερου ύψους ανεξάρτητα της ποιότητας του σταθμού (Σχ. 3), με μόνη τη διαφορά ότι οι συστάδες κατώτερων σταθμών χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να αποκτήσουν το δεδομένο αυτό ύψος έναντι συστάδων ανώτερων ποιότητων τόπου. Αυτός είναι και ο λόγος που οι γραμμές  $G_{max}$  μπορούν να αποτελέσουν ένα κοινό μέτρο αναφοράς και ελέγχου της πυκνότητας, αλλά και έναν οδηγό για την καθοδήγηση και τον έλεγχο των αραιώσεων του συνόλου των συστάδων ενός δασοπονικού είδους.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα απόκτησης των ως άνω γραμμών αναφοράς ( $N_{max}$  και  $G_{max}$ ) για τέσσερα σημαντικά δασοπονικά είδη της Ελλάδας, με στοιχεία μιας απογραφής. Εξετάζονται επίσης περιορισμοί που υπάρχουν στη διερεύνηση των γραμμών αυτών εξαιτίας πρακτικών της απογραφής λόγων και συζητούνται τα αποτελέσματα της έρευνας ενόψει εφαρμογής τους στη δασοπονική πράξη.

## ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε για τέσσερα δασοπονικά είδη: μαύρη πεύκη - *Pinus nigra* ( $Pni$ ), οξιά - *Fagus moisiaca* ( $Fmo$ ), τραχεία πεύκη - *Pinus brutia* ( $Pbr$ ) και πλατύφυλλο δρυ - *Quercus conferta* ( $Qco$ ). Το υλικό της έρευνας προέρχεται από προηγούμενες εργασίες, που είχαν ως στόχο την κατάρτιση πινάκων παραγωγής (βλ. Gatzojannis, 1998 για την οξιά, Gatzojannis, 1999 για τη Μαύρη πεύκη, Γκατζογιάννης, 2017 για τη δρυ και Γκατζογιάννης, 2024 για την τραχεία πεύκη). Τα στοιχεία οξιάς και δρυός προέρχονται από το δασικό σύμπλεγμα δασών Αρναίας Χαλκιδικής, η μαύρη πεύκη από το δάσος Ταυγέτου Καλαμάτας και η τραχεία πεύκη από δάση της νήσου Θάσου. Οι συστάδες των τριών πρώτων ειδών προήλθαν μετά από φυσική αναγέννηση (σπερμοφυείς), ενώ αυτές της δρυός μετά από αποψιλωτική υλοτομία

και αναγέννηση με πρεμνοβλαστήματα και τελούν σήμερα υπό αναγωγή σε υψηλό δάσος. Το υλικό συγκεντρώθηκε με εφαρμογή συστηματικής δειγματοληψίας και δοκιμαστικές επιφάνειες κυκλικού σχήματος μεγέθους 500 τ.μ. Η απογραφή περιελάμβανε πλήρη παχυμέτρηση των ζώντων δένδρων κάθε ΔΕ με ελάχιστη μετρούμενη διάμετρο  $d=7$  cm, ενώ σε υποδείγμα κορμών μετρήθηκε το ύψος (h, m) και λήφθηκαν τρυπανίδια, προκειμένου να εκτιμηθεί η τρέχουσα προσάυξηση όγκου, η ηλικία και η ποιότητα τύπου των συστάδων. Οι κρίσιμες (για την παρούσα έρευνα) μεταβλητές και τα βασικά τους στατιστικά δίνονται στο πίνακα Ι.

Για την επιτυχία των στόχων της εργασίας εφαρμόστηκε η ακόλουθη διαδικασία:

α) Ανάλυση της κατανομής του αριθμού κορμών (N) και της εγκάρσια κυκλικής επιφάνειας (G) κατά βαθμίδες διαμέτρου ( $d_{1,3}$ ), καθώς και της διασποράς των παρατηρήσεων όσον αφορά στην πυκνότητα των συστάδων (SDI). Στόχος ήταν να φανούν ενδεχόμενοι περιορισμοί στην αναζήτηση των γραμμών αυτοαραίωσης, αλλά και οι δυνατότητες παράκαμψής τους.

β) Αναζήτηση οροφής παρατηρήσεων ( $\ln N/\ln Dg$ ) με τη βοήθεια του πρότυπου (1) και της βάσης των παρατηρήσεων ( $L_{min}$ ) με το πρότυπο (4). Η

εκτίμηση των γραμμών αυτών έγινε με τη διαδικασία «παλινδρόμησης ποσοστημορίων» του προγράμματος Gretl (2020) με ποσοστημότητα της τάξης του 99% ( $\tau=0,99$ ) για την εξίσωση (1) και 1% ( $\tau=0,01$ ) για την εξίσωση (4). Ακολούθησε η ανάπτυξη των γραμμών αυτοαραίωσης  $N_{max.99}=\exp(b_0+b_1*\ln Dg)$  και  $N_{max.L}=10000/(b_0+b_1*Dg)^2$  και η μεταξύ τους σύγκριση, καθώς και η σύγκριση αυτών με ενδεχόμενη γραμμή Reineke  $N_{max.R}=\exp(b_0-1.605*\ln Dg)$ .

γ) Αναζήτηση της καμπύλης  $G_{max}=f(H_0)$  ακολουθώντας τρεις διαφορετικές διαδρομές. Στην πρώτη αναζητήθηκε η οροφή των παρατηρήσεων  $G=f(H_0)$  εφαρμόζοντας τη διαδικασία παλινδρόμησης ποσοστημορίων ( $\tau=0,99$ ) και μοντέλο την εξίσωση (6):

$$(6) \quad G_{max.99}=b_0+b_1/H_0$$

Ο δεύτερος δρόμος βασίστηκε στην προσαρμογή, με γραμμικές διαδικασίες παλινδρόμησης, εξισώσεων της μορφής (7) στο συνολικό νέφος διασποράς των παρατηρήσεων και δημιουργία της οροφής με επίλυσή τους χρησιμοποιώντας μέγιστες τιμές για την πυκνότητα (SD) που δίνουν τα πρότυπα (1)  $SDI_{max}$  και (5)  $SD.L_{max}$  αντίστοιχα.

$$(7) \quad G=b_0+b_1*SD + b_2*SD/H_0 \quad (SD=SDI_{max} \text{ ή } SD.L_{max})$$

**Πίνακας Ι.** Βασικά στατιστικά δοκιμαστικών επιφανειών μαύρης πεύκης, τραχείας πεύκης, οξιάς και δρυός  
**Table I.** Base statistics of black pine, beech, calabrian pine and oak plots

|                                                                      | Dg (cm) | Ho (m) | N/ha    | G(m <sup>2</sup> /ha) | SDI     | L (m) | SI <sub>50</sub> (m) | Tk (yrs) |
|----------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------|-----------------------|---------|-------|----------------------|----------|
| (Pni) Μαύρης πεύκης ( <i>Pinus nigra</i> ) (n=482)                   |         |        |         |                       |         |       |                      |          |
| Minimum                                                              | 9,91    | 6,45   | 56,00   | 1,83                  | 45,39   | 1,65  | 7,00                 | 18,20    |
| Maximum                                                              | 65,40   | 26,66  | 3666,67 | 83,91                 | 1471,38 | 13,36 | 23,95                | 166,16   |
| Mean                                                                 | 32,10   | 17,65  | 530,99  | 34,55                 | 638,73  | 5,13  | 13,51                | 89,25    |
| Std. Deviat.                                                         | 10,42   | 4,21   | 407,87  | 16,12                 | 273,52  | 1,73  | 3,05                 | 33,38    |
| (Pbr) Τραχείας πεύκης Θάσου ( <i>Pinus brutia</i> ) (n=120)          |         |        |         |                       |         |       |                      |          |
| Minimum                                                              | 10,61   | 8,69   | 110,00  | 11,84                 | 249,54  | 1,89  | 10,87                | 27,24    |
| Maximum                                                              | 53,46   | 28,98  | 2800,00 | 46,98                 | 909,65  | 9,53  | 25,98                | 97,87    |
| Mean                                                                 | 28,57   | 19,26  | 559,33  | 28,22                 | 554,04  | 4,86  | 18,36                | 57,62    |
| Std. Deviat.                                                         | 8,03    | 3,85   | 416,39  | 7,56                  | 149,08  | 1,40  | 3,01                 | 15,66    |
| (Fmo) Οξιάς Αρναίας ( <i>Fagus moisiaca</i> ) (n=1084)               |         |        |         |                       |         |       |                      |          |
| Minimum                                                              | 9,84    | 10,76  | 80,00   | 3,00                  | 65,27   | 2,27  | 7,99                 | 33,71    |
| Maximum                                                              | 52,56   | 31,73  | 1940,00 | 38,21                 | 812,70  | 11,18 | 40,74                | 174,60   |
| Mean                                                                 | 22,70   | 21,46  | 514,95  | 18,58                 | 394,49  | 4,85  | 17,02                | 77,99    |
| Std. Deviat.                                                         | 5,91    | 3,25   | 253,90  | 6,60                  | 129,87  | 1,35  | 3,66                 | 18,84    |
| (Qco) Δρυός Πλατύφυλλος Αρναίας ( <i>Quercus conferta</i> ) (n=1045) |         |        |         |                       |         |       |                      |          |
| Minimum                                                              | 8,72    | 5,14   | 120,00  | 1,83                  | 47,96   | 2,17  | 6,20                 | 21,75    |
| Maximum                                                              | 40,41   | 27,02  | 2120,00 | 37,28                 | 713,51  | 9,13  | 26,46                | 115,75   |
| Mean                                                                 | 16,44   | 15,56  | 749,17  | 14,54                 | 349,03  | 3,98  | 16,07                | 49,64    |
| Std. Deviat.                                                         | 4,39    | 3,51   | 343,63  | 5,47                  | 118,11  | 1,06  | 3,31                 | 13,38    |

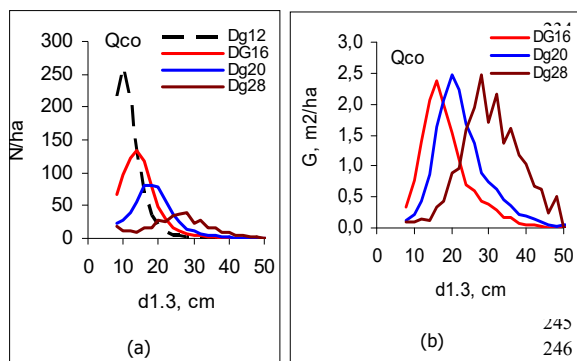


Ο τρίτος δρόμος περιλάμβανε την απόκτηση γραμμών  $G_{max}$  μέσω των γραμμών αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(Dg)$ . Προς τούτο, για κάθε ΔΕ υπολογίστηκε η  $N_{max}$  με την εξίσωση 1 και εν συνεχεία η μεταβλητή  $G(N_{max})=(\pi/4)*Dg^2*N_{max}.99$ . Για το νέφος διασποράς  $G(N_{max})/H_0$ , που προέκυψε, δημιουργήθηκαν γραμμές οροφής αλλά και μέσες καμπύλες, με τη βοήθεια της σχέσης (8), οι οποίες συγκρίθηκαν με τις υπόλοιπες γραμμές  $G_{max}$  και εξήχθησαν σχετικά συμπεράσματα.

$$(8) G(N_{max}) = b_0 + b_1 * / H_0$$

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

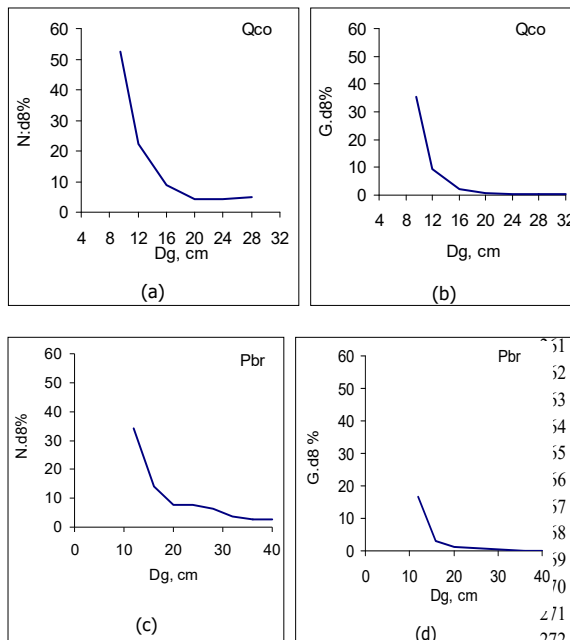
Η αναζήτηση των καμπυλών αναφοράς  $N_{max}$  και  $G_{max}$  με στοιχεία μιας απογραφής υπόκειται σε περιορισμούς που έχουν να κάνουν αφενός με την ελάχιστη μετρούμενη διάμετρο των δένδρων ( $d < 7$  cm) και αφετέρου με τη διασπορά των παρατηρήσεων. Η εφαρμογή της ελάχιστης μετρούμενης διαμέτρου ( $d = 7$  cm), κατά την απογραφή των ΔΕ, οδηγεί σε ένα έλλειμμα κορμών που επηρεάζει την κατανομή (κατά βαθμίδες διαμέτρου) του αριθμού κορμών και της αντίστοιχης κυκλικής επιφάνειας (Σχ. 4a,b).



**Σχήμα 4.** Κατανομή των κορμών (N/ha) (a) και της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας (G, m²/ha) (b) συστάδων κατά βαθμίδες διαμέτρου (d, εύρους 2 cm) συστάδων δρυός (Qco) διαφορετικών σταδίων αύξησης

Στα πρώτα στάδια αύξησης των συστάδων, το έλλειμμα αυτό μπορεί για ορισμένα είδη να είναι σημαντικό. Στη δρυ πχ. το έλλειμμα (N.d8%) για συστάδες με  $Dg = 8$  cm ξεπερνάει το 50% (Σχ. 5a), ενώ στα άλλα δασοπονικά είδη κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπε-

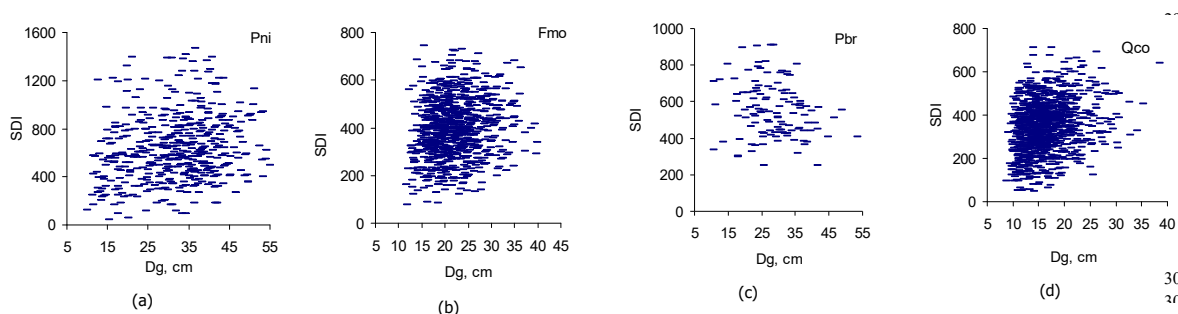
δα. Αυτό μειώνεται βαθμιαία όσο μεταβαίνουμε σε συστάδες με μεγαλύτερη μέση διάμετρο ( $Dg$ ), οπότε και η κατανομή αποκτάει πλέον την κωδωνοειδή μορφή (Σχ. 4a για  $Dg = 16, 20$  ή  $28$ ) που χαρακτηρίζει τις ομήλικες συστάδες. Το έλλειμμα αυτό είναι πολύ μικρότερο στην περίπτωση της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας ( $G.d8\%$ ) (Σχ. 5b και d).



**Σχήμα 5.** Συμμετοχή (%) της βαθμίδας  $d = 8$  cm στη συνολική κατανομή κορμών (N.d8%) (a & c) και στη συνολική κυκλική επιφάνεια ( $G.d8\%$ ) (b & d) των συστάδων δρυός (Qco) και τραχείας πεύκης (Pbr)

**Figure 5.** Participation (%) of the diameter steps  $d = 8$  cm in the total distribution of stems (N.d8%) (a & c) and in the total basal area ( $G.d8\%$ ) (b & d) of oak (Qco) and calabrian pine (Pbr) stands

Ένας δεύτερος περιορισμός προέρχεται από τη διασπορά των παρατηρήσεων και τον βαθμό εκπροσώπησης όλων των βαθμίδων διαμέτρου με συστάδες μέγιστης πυκνότητας. Αν δεχτούμε ότι ο δείκτης SDI είναι ένα κριτήριο που επιτρέπει ικανοποιητική σύγκριση συστάδων διαφόρων σταδίων αύξησης, τότε η διασπορά των παρατηρήσεων SDI ως προς  $Dg$  (Σχ. 6) μας δίνει μια πρώτη εικόνα για την εκπροσώπηση (στο δείγμα) των συστάδων μεγάλης πυκνότητας. Η ίδια εικόνα προκύπτει αν χρησιμοποιήσουμε ένα άλλο κριτήριο, όπως πχ. η σχετική πυκνότητα (Relative Density,  $RD = G/Dg^{0.5}$ ), αντί SDI. Βέβαια, η



**Σχήμα 6.** Διαγράμματα διασποράς των παρατηρήσεων (SDI) συναρτήσει της μέσης διαμέτρου (Dg) των συστάδων μαύρης πεύκης (Pni) (a), οξιάς (Fmo) (b), τραχείας πεύκης (Pbr) (c) και δρυός (Qco) (d)

**Figure 6.** Scatter plots of the SDI-observations in relation to the mean diameter (Dg) of black pine (Pni) (a), beech (Fmo) (b), calabrian pine (Pbr) (c) and oak (Qco) (d) stands

έλλειψη μέγιστων τιμών για το δείκτη SDI στις μικρές βαθμίδες είναι δυνατόν να οφείλεται και στην έλλειψη κορμών N.d8 και όχι κατ' ανάγκη στην έλλειψη παρατηρήσεων. Για τον λόγο αυτόν και η χρήση του δείκτη SDI, ως μέτρο σύγκρισης πυκνότητας μεταξύ συστάδων, κρίνεται ως ασφαλής μόνο για τα στάδια που έχουν ξεπεράσει το φάσμα των ελλείψεων κορμών εξαιτίας της ελάχιστης μετρούμενης διαμέτρου.

Στο σχήμα 6 παρατηρούμε ότι έχουμε ευρεία εκπροσώπηση των βαθμίδων Dg με συστάδες μεγάλης πυκνότητας όλων των ειδών, πλην όμως με μικρό (Pni και Fmo) έως μεγαλύτερο έλλειμμα παρατηρήσεων (στην Pbr και Qco) στα δυο άκρα του νέφους διασποράς (Σχ. 6).

Οι εξισώσεις. Με ποσοστημοριακές εκτιμήσεις αναπύχθηκαν δυο ομάδες εξισώσεων που δίνονται στον

**Πίνακας II.** Μοντέλα από ποσοστημοριακές εκτιμήσεις (LnNmax με tau=0,99 and Lmin με tau=0,01) των δασοπονικών ειδών μαύρης πεύκης (Pni), οξιάς (Fmo), τραχείας πεύκης (Pbr) και δρυός (Qco)

**Table II.** Quintile regression models (LnNmax with tau = 0,99 and Lmin with tau = 0,01) of black pine (Pni), beech (Fmo), calabrian pine (Pbr) and oak (Qco) forest stands

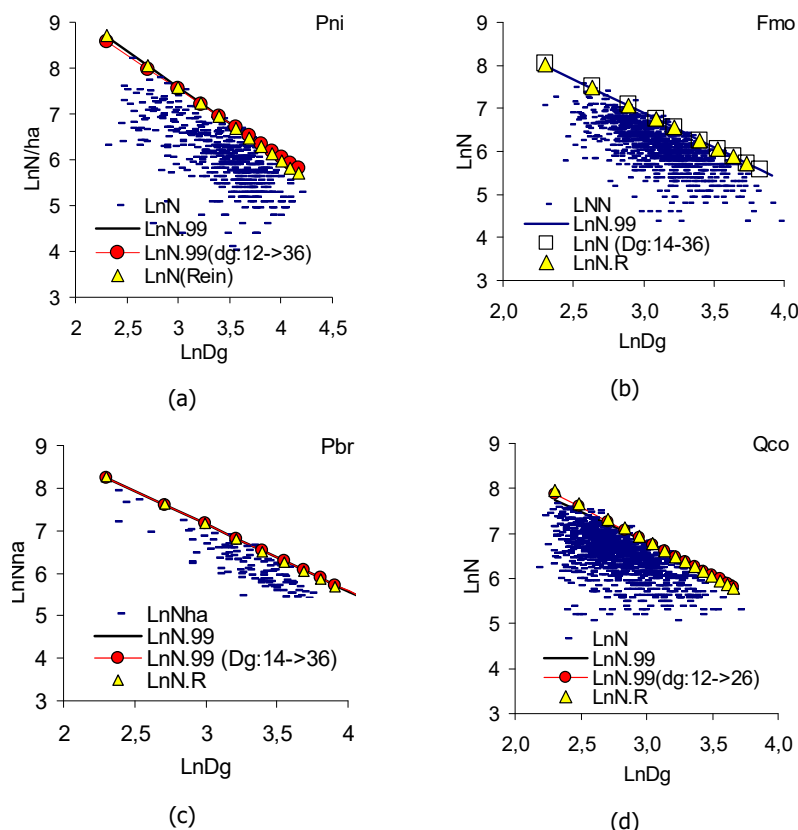
| Εξισώσεις                        |                                                                | bo     | b1     | Διάστημα<br>εμπιστοσύνης του<br>b1 -<br>Conf. Interv.<br>of b1 | Τυπική<br>απόκλιση -<br>StDev<br>of Y | Αριθμός<br>ΔΕ -<br>n of Plots | Εύρος<br>παρατηρήσεων |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| (1)                              | (2)                                                            | (3)    | (4)    | (5)                                                            | (6)                                   | (7)                           | (8)                   |
| α) Εξισώσεις οροφής παρατηρήσεων |                                                                |        |        |                                                                |                                       |                               |                       |
| (1.1)                            | (Pni) $\text{LnN}_{.99} = \text{bo} + \text{b1} * \text{LnDg}$ | 12,334 | -1,585 | (-2,188-> -1,434)                                              | 0,67                                  | 482                           |                       |
| (1.2)                            | »                                                              | 11,977 | -1,479 | (-1,748-> -1,442)                                              | 0,64                                  | 301                           | Dg:12->36             |
| (1.3)                            | (Fmo) $\text{LnN}_{.99} = \text{bo} + \text{b1} * \text{LnDg}$ | 11,656 | -1,587 | (-1,717-> -1,468)                                              | 0,64                                  | 1084                          |                       |
| (1.4)                            | »                                                              | 11,789 | -1,624 | (-1,725-> -1,199)                                              | 0,48                                  | 1012                          | Dg:14->36             |
| (1.5)                            | (Pbr) $\text{LnN}_{.99} = \text{bo} + \text{b1} * \text{LnDg}$ | 11,861 | -1,569 | (-2,947-> -1,226)                                              | 0,60                                  | 120                           |                       |
| (1.6)                            | »                                                              | 11,848 | -1,566 | (-2,051-> -1,566)                                              | 0,44                                  | 93                            | Dg:14->36             |
| (1.7)                            | (Qco) $\text{LnN}_{.99} = \text{bo} + \text{b1} * \text{LnDg}$ | 10,803 | -1,327 | (-1,585-> -1,04)                                               | 0,49                                  | 1045                          |                       |
| (1.8)                            | »                                                              | 11,341 | -1,506 | (-1,625-> -1,242)                                              | 0,42                                  | 865                           | Dg:12->26             |
| β) Εξισώσεις βάσης παρατηρήσεων  |                                                                |        |        |                                                                |                                       |                               |                       |
| (4.1)                            | (Pni) $\text{L}_{.01} = \text{bo} + \text{b1} * \text{Dg}$     | 0,6130 | 0,083  | (0,078->0,110)                                                 | 1,73                                  | 482                           |                       |
| (4.2)                            | »                                                              | 0,6126 | 0,083  | (0,079->0,086)                                                 | 1,59                                  | 301                           | Dg:12->36             |
| (4.3)                            | (Fmo) $\text{L}_{.01} = \text{bo} + \text{b1} * \text{Dg}$     | 0,631  | 0,125  | (0,117->0,132)                                                 | 1,35                                  | 1084                          |                       |
| (4.4)                            | »                                                              | 0,702  | 0,122  | (0,098->0,129)                                                 | 1,25                                  | 1012                          | Dg:14->36             |
| (4.5)                            | (Pbr) $\text{L}_{.01} = \text{bo} + \text{b1} * \text{Dg}$     | -0,217 | 0,138  | (0,097->0,186)                                                 | 1,40                                  | 120                           |                       |
| (4.6)                            | »                                                              | 0,678  | 0,105  | (0,010->1,130)                                                 | 0,97                                  | 93                            | DG:14-36              |
| (4.7)                            | (Qco) $\text{L}_{.01} = \text{bo} + \text{b1} * \text{Dg}$     | 0,958  | 0,116  | (0,110->0,124)                                                 | 1,06                                  | 1045                          |                       |
| (4.8)                            | »                                                              | 0,723  | 0,128  | (0,108->0,137)                                                 | 0,985                                 | 865                           | DG:12->26             |

πίνακα II. Η ομάδα (α) δίνει τις γραμμές οροφής των παρατηρήσεων  $\text{LnN}/\text{LnDg}$  με τη βοήθεια του μοντέλου (1) (για  $\tau=0,99$ ) και η δεύτερη τις γραμμές βάσης των παρατηρήσεων  $\text{L}/\text{Dg}$  με τη βοήθεια του μοντέλου (4) (για  $\tau=0,01$ ). Οι εξισώσεις αυτές αναπτύχθηκαν αφενός με το σύνολο των παρατηρήσεων και αφετέρου, εναλλακτικά, με τις παρατηρήσεις που αντιστοιχούν στο εύρος των διαμέτρων  $\text{Dg}$  για το οποίο η εκπροσώπηση συστάδων μεγάλης πυκνότητας κρίθηκε ως ικανοποιητική (βλ. στήλη 8 στον πίνακα II). Οι τελευταίες κρίθηκαν αναγκαίες προκειμένου να ελεγχθούν επιδράσεις εξαιτίας τόσο της έλλειψης αριθμού κορμών, όσο και παρατηρήσεων αριθμού και δεξιά του νέφους διασποράς.

Στα σχήματα 7 και 8 δίνονται επίσης τα διαγράμματα διασποράς ( $\text{LnN}/\text{LnDg}$ ) και ( $\text{L}/\text{Dg}$ ) με τις γραμμές οροφής  $\text{Nmax},99=\text{bo}+\text{b1}*\text{LnDg}$  και βάσης  $\text{Lmin}=\text{bo}+\text{b1}*\text{Dg}$ , όπως αυτές προέκυψαν από τις αντίστοιχες εξισώσεις.

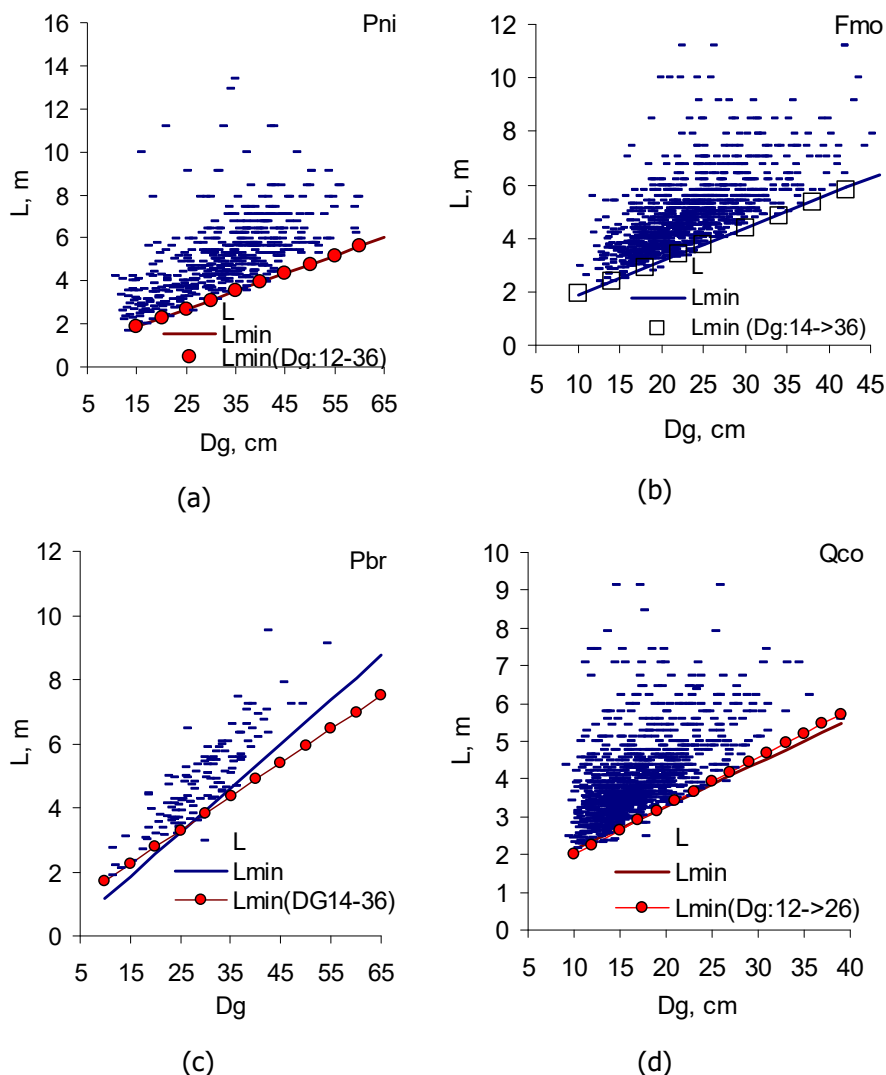
Από τα αποτελέσματα της ομάδας (α) των εξισώσεων προκύπτουν οι ακόλουθες ενδείξεις: Για τα τρία είδη (Pni, Fmo και Pbr) δεν έχουμε ουσιαστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των αρχικών μοντέλων (1.1, 1.3 και 1.5) και των εναλλακτικών τους (1.2, 1.4 και 1.6). Στη δρυ (1.7 και 1.8) έχουμε σημαντική αύξηση τόσο του “intercept” (bo) όσο και της κλίσης (b1) της γραμμής, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί κατά κύριο λόγο στο έλλειμμα κορμών N.d8, όπως υποδεικνύει το σχήμα 5.

Με την αποφυγή των ακραίων παρατηρήσεων στα τρία πρώτα είδη οι συντελεστές b1 δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά από την προσέγγιση του Reineke, ότι δηλαδή  $\text{b1}=-1,605$ , αφού η τιμή αυτή βρίσκεται εντός των ορίων εμπιστοσύνης (με πιθανότητα 95%) των συντελεστών b1 των εξισώσεων. Το ίδιο συνάγεται και από τα αντίστοιχα γραφικά. Στη δρυ όμως έχουμε σημαντική απόκλιση ( $\text{b1}=-1,327$ )



**Σχήμα 7.** Διαγράμματα διασποράς και γραμμές παλινδρόμησης ποσοστημορίου ( $\text{LnN.99}=\text{bo}+\text{b1}*\text{LnDg}$ ) με το σύνολο των παρατηρήσεων ( $\text{LnN}/\text{LnDg}$ ) και εναλλακτικά με τις παρατηρήσεις ορισμένου εύρους  $\text{Dg}$  συστάδων μαύρης πεύκης (α), οξιάς (β), τραχειάς πεύκης (γ) και δρυός (δ)

**Figure 7.** Scatter plots and percentile regression lines ( $\text{LnN.99}=\text{bo}+\text{b1}*\text{LnDg}$ ) with all observations ( $\text{LnN} / \text{LnDg}$ ) and alternatively with observations of a certain  $\text{Dg}$  range of black pine (Pni) (α), beech (Fmo) (β), calabrian pine (Pbr) (γ) and oak (Qco) (δ) stands



**Σχήμα 8.** Οι γραμμές παλινδρόμησης ποσοστημορίου με τη βοήθεια του πρότυπου  $L_{min}=b_0+b_1 \cdot Dg$  με το σύνολο των παρατηρήσεων του νέφους διασποράς ( $L/Dg$ ) και εναλλακτικά με τις παρατηρήσεις ορισμένου εύρους  $Dg$  για μαύρη πεύκη (a), οξιά (b), τραχεία πεύκη (c) και δρυ (d).

**Figure 8.** Scatter plots and percentile regression lines ( $L_{min}=b_0+b_1 \cdot Dg$ ) with all observations ( $L/Dg$ ) and alternatively with observations of a certain  $Dg$  range of black pine (Pni) (a), beech (Fmo) (b), calabrian pine (Pbr) (c) and oak (Qco) (d) stands

από την τιμή  $b_1=-1,605$  στο βασικό μοντέλο (1.7), και μικρότερη ( $b_1=-1,506$ ) στο εναλλακτικό (1.8).

Από τα αποτελέσματα της δεύτερης ομάδας (β) εξισώσεων βάσης προκύπτει ότι: Για μαύρη πεύκη και οξιά έχουμε τις ίδιες ενδείξεις, όπως και στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή  $b_0$  και  $b_1$  των εναλλακτικών μοντέλων παραμένουν στα ίδια περίπου επίπεδα με τα αρχικά ή βασικά μοντέλα. Στην περίπτωση της τραχείας πεύκης και της δρυός έχουμε μια διαφορετική συμπεριφορά, αφού στην τραχεία πεύκη έχου-

με σημαντική αύξηση του  $b_0$  και μείωση του  $b_1$ , και αντίστροφα στη δρυ, γεγονός που δεν μας επιτρέπει τη συναγωγή συμπερασμάτων για τα δυο αυτά είδη. Οι διαπιστώσεις αυτές ελέγχονται και από τα διαγράμματα που ακολουθούν στο σχήμα 9, όπου δίνονται οι γραμμές αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(Dg)$  που προκύπτουν από το μετασχηματισμό των ως άνω μοντέλων της πρώτης  $L_{N.99}=b_0+b_1 \cdot L_{nDg}$  και της δεύτερης ( $L.01=b_0+b_1 \cdot Dg$ ) ομάδας.

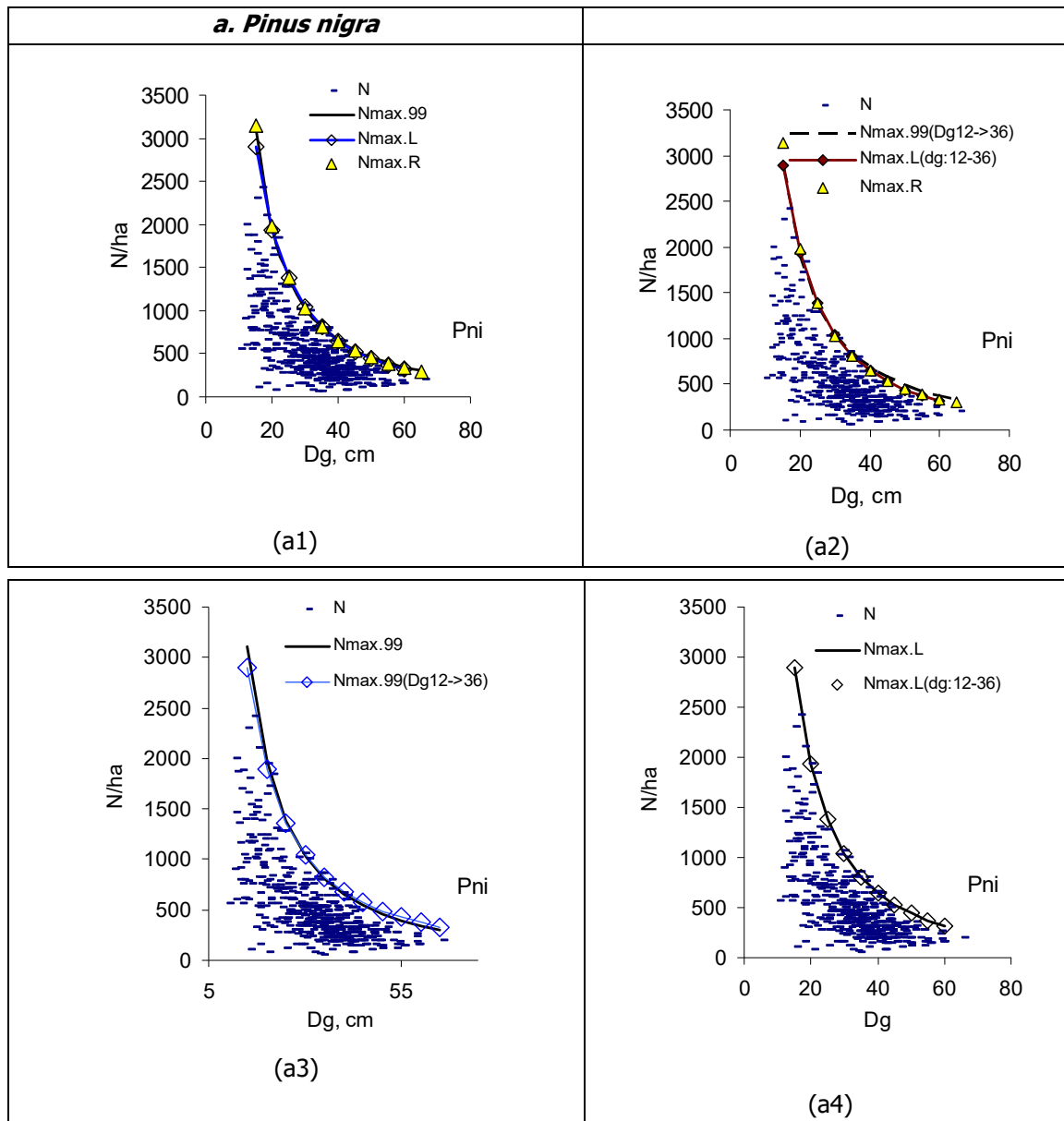
Από τα διαγράμματα αυτά (Σχ. 9) προκύπτουν τα εξής:

\* Για τη μαύρη πεύκη (Pni) (Σχ.9a1->a4), και οξιά (Fmo) (Σχ.9b1->b4) έχουμε καλή ανταπόκριση τόσο μεταξύ των καμπυλών εναλλακτικών και βασικών μοντέλων, όσο και μεταξύ αυτών (Nmax.99, Nmax.L) και του μοντέλου του Reineke (Nmax.R).

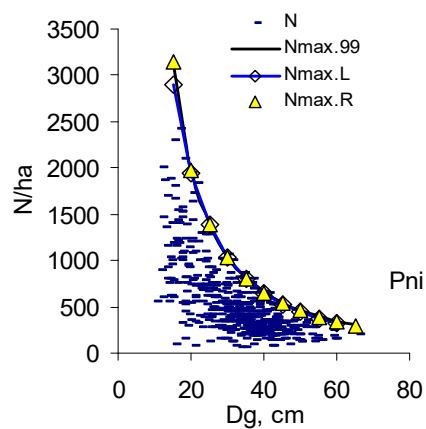
\* Στην τραχεία πεύκη έχουμε μια διαφορετική εικόνα για τις γραμμές αυτοαραίωσης που μας δίνουν τα δυο μοντέλα (Nmax.99 και Nmax.L) (Σχ.9c1). Με την απομόνωση όμως των παρατηρήσεων για  $Dg < 14$

&  $Dg > 36$ , το εναλλακτικό μοντέλο Nmax.L ( $Dg: 14 > 36$ ) δίνει γραμμή αυτοαραίωσης που προσεγγίζει σημαντικά τη γραμμή Nmax.99 (Σχ.9c3), καθώς και τη γραμμή Nmax.R (Σχ.9c2).

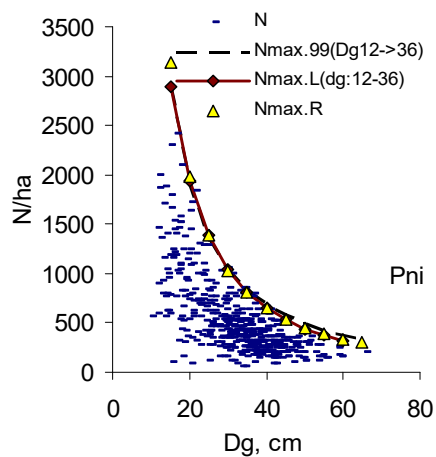
\* Στη δρυ έχουμε σχεδόν σύμπτωση μεταξύ των γραμμών οροφής (Nmax.99) και βάσης (Nmax.L), τόσο των βασικών μοντέλων (Σχ.9d1), όσο και των εναλλακτικών τους (Σχ.9d2). Πλην όμως οι γραμμές αυτοαραίωσης, που δίνουν τα εναλλακτικά μοντέλα (για  $Dg: 12 > 36$ ), διαφέρουν σημαντικά από αυτές των βασικών και στις δυο περιπτώσεις (οροφής και



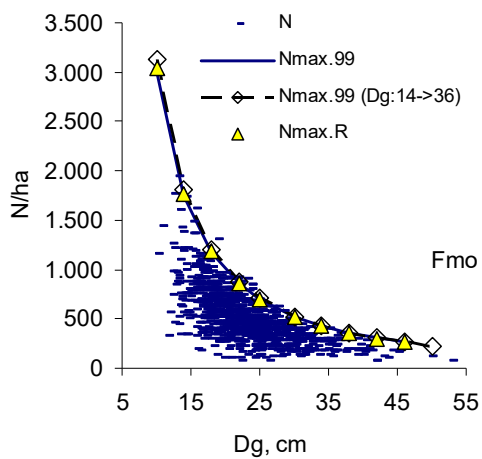
***b. Fagus moisiaca***



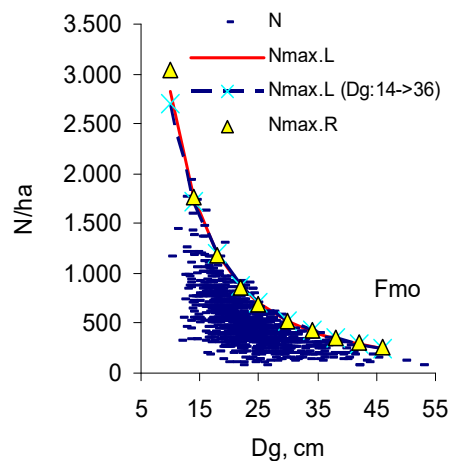
(b1)



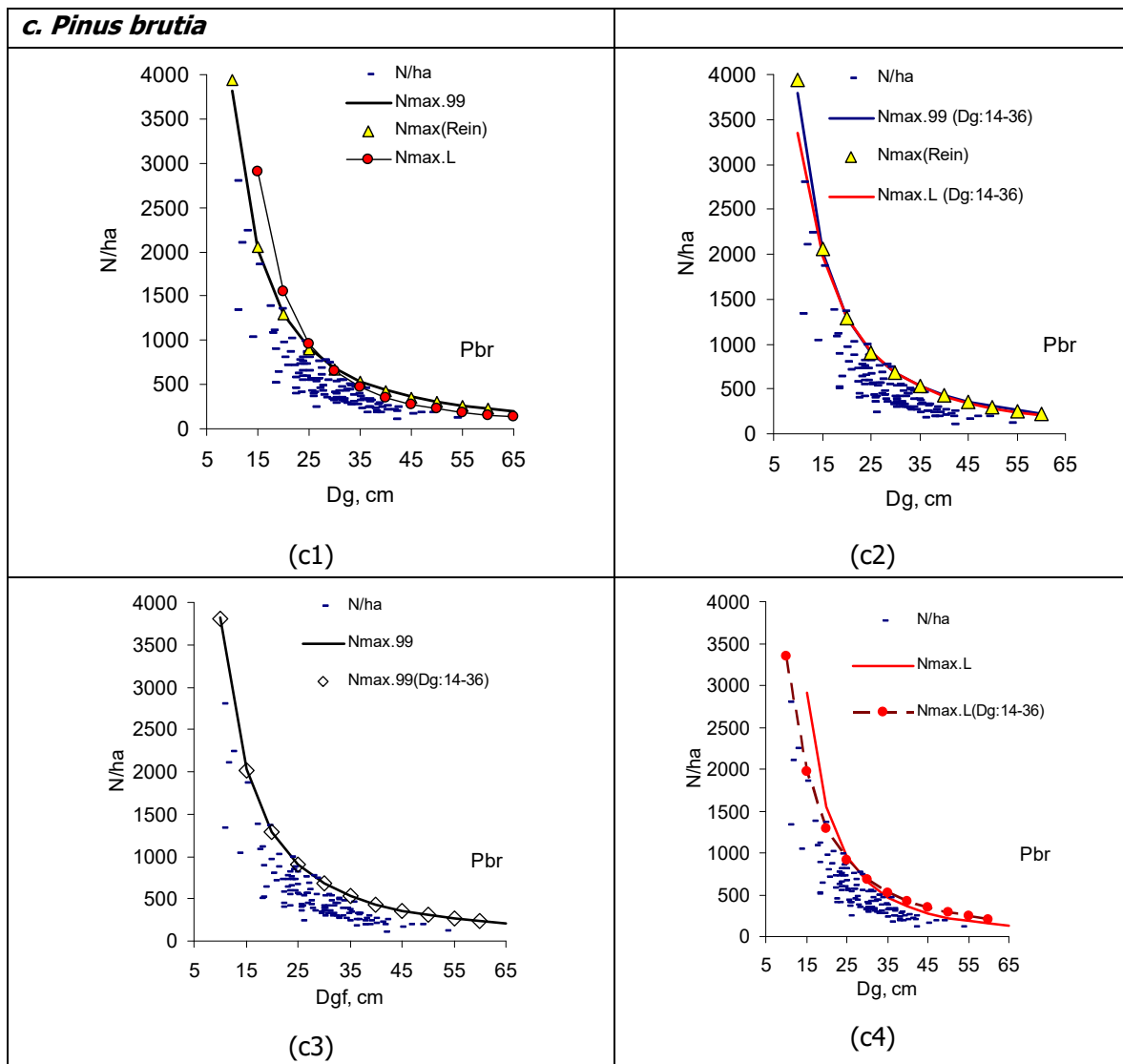
(b2)

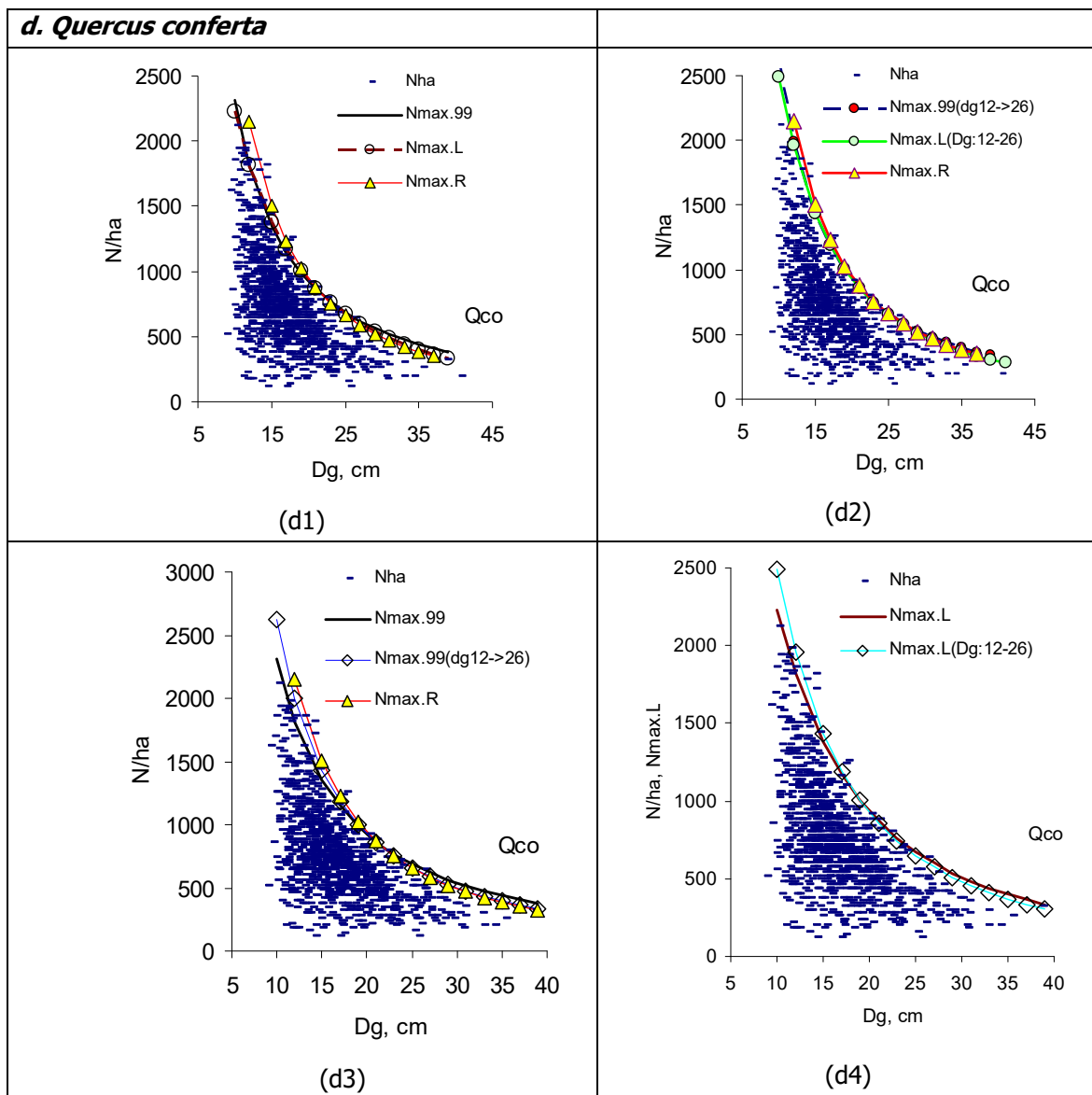


(b3)



(b4)





**Σχήμα 9.** Οι γραμμές αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(D_g)$  των δασοπονικών ειδών μαύρης πεύκης (α), οξιάς (β), τραχείας πεύκης (γ) και δρυός (δ) ( $N_{max.99} = \exp(\ln N_{.99})$ ,  $N_{max.L} = 10000 / \ln^2$ ,  $N_{max.R} = \exp(b_0 - 1.605 \cdot \ln D_g)$ ).

**Figure 9.** The self-thinning lines  $N_{max}=f(D_g)$  of black pine (Pni) (α), beech (Fmo) (β), calabrian pine (Pbr) (γ) and oak (Qco) (δ) stands ( $N_{max.99} = \exp(\ln N_{.99})$ ,  $N_{max.L} = 10000 / \ln^2$ ,  $N_{max.R} = \exp(\ln N_{max.R})$ ).

βάσης) (Σχ.9d3,d4), όπως επίσης και από τη γραμμή Reineke ( $N_{max.R}$ ), η οποία βρίσκεται πιο κοντά στις γραμμές των εναλλακτικών μοντέλων (Σχ.9d2)

Το γεγονός ότι στη δρυ υπάρχει πράγματι σημαντικό έλλειμμα σε κορμούς  $N_{.d8}$ , σημαίνει ότι, αν χρησιμοποιηθούν τα βασικά μοντέλα, τότε η γραμμή αυτοα-

ραίωσης θα προσαρμόζεται στις πραγματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές που δίνουν τα εναλλακτικά μοντέλα θα προσεγγίζουν το συνολικό αριθμό δένδρων (συμπεριλαμβανομένων και των  $N_{d8}$ ).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά και προκειμένου να δημιουργηθούν γραμμές αυτοαραίωσης που κατά

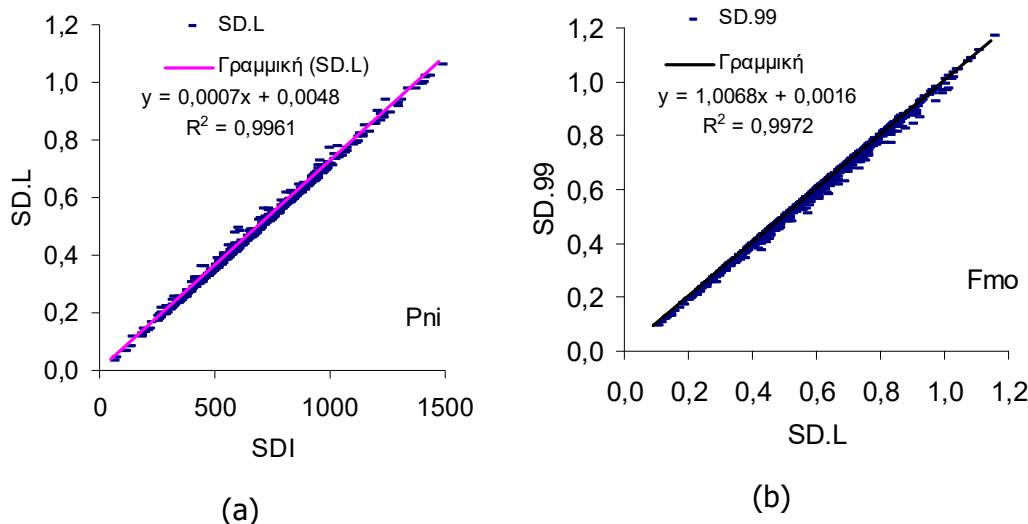


το δυνατόν προσεγγίζουν τη φυσική διαδικασία εξέλιξης των συστάδων προτείνονται προς εφαρμογή τα βασικά μοντέλα της μαύρης πεύκης και της οξιάς και τα εναλλακτικά για τα είδη της τραχείας πεύκης και της δρυός.

Η πρόταση αυτή αποτυπώνεται στον πίνακα III όπου δίνονται οι προτεινόμενες γραμμές αυτοαραίωσης (στ. 1) και οι παράγωγες αυτών εξισώσεις των (στ. 2), καθώς και η Nmax (στ. 4) που αντιστοιχεί στη διάμετρο αναφοράς Dg=25.

Η χρήση των εναλλακτικών μοντέλων δημιουργεί στην πράξη και ένα ζήτημα συγκριτικής αξιολόγησης μεταξύ πραγματικών και θεωρητικών καμπυλών και χρήσης των δεικτών πυκνότητας κατά τρόπο ενιαίο σε ολόκληρο των εύρος των διαμέτρων (Dg). Στην περίπτωση αυτή μπορούν εναλλακτικά να χρησιμοποιηθούν και οι γραμμές αυτοαραίωσης των βασικών μοντέλων.

Νέοι δείκτες πυκνότητας συστάδων. Αν χρησιμοποιήσουμε τις γραμμές αυτοαραίωσης (Πίν. III, στ.1) ως



**Σχήμα 10.** Σχέσεις μεταξύ των δεικτών πυκνότητας (SD.99, SD.L και SDI) συστάδων μαύρης πεύκης (a) και οξιάς (b)

**Figure 10.** Relationships between stand density indexes (SD.99, SD.L και SDI) of black pine (a) and beech (b) stands

**Πίνακας III.** Οι γραμμές αυτοαραίωσης, οι παράγωγες αυτών εξισώσεις των δασοπονικών ειδών μαύρης πεύκης, οξιάς, τραχείας πεύκης και δρυός, καθώς και οι δείκτες Nmax για Dg=25 cm

**Table III.** The self-thinning lines and their derivatives equations of the forest species Pni, Fmo, Pbr & Qco, as well as the indices Nmax, SDImax for Dg = 25 cm

| Γραμμές αυτοαραίωσης<br>(1)                  | Παράγωγος εξίσωση<br>(2)              | Dg<br>(3) | Nmax<br>(4) |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------------|
| (1.1) (Pni) Nmax99=exp(LnN.99)               | LnN.99=12,334-1,585*LnDg              | 25        | 1383        |
| (4.1) (Pni) Nmax.L=10000/(Lmin) <sup>2</sup> | Lmin=0,613+0,083*Dg                   | 25        | 1384        |
| (1.3) (Fmo) Nmax.99=exp(LnN.99)              | LnN.99=11,656-1,587*LnDg              | 25        | 698         |
| (4.3) (Fmo) Nmax.L=10000/(Lmin) <sup>2</sup> | Lmin=0,631+0,125*Dg                   | 25        | 709         |
| (1.6) (Pbr) Nmax99=exp(LnN.99)               | LnN.99=11,861-1,5696*LnDg (Dg:14->36) | 25        | 906         |
| (4.6) (Pbr) Nmax.L=10000/(Lmin) <sup>2</sup> | Lmin=0,678+0,105*Dg (Dg:14->36)       | 25        | 917         |
| (1.8) (Qco) Nmax.99=exp(LnN.99)              | LnN.99=11,341-1,506*LnDg (Dg:12->26)  | 25        | 661         |
| (4.8) (Qco) Nmax.L=10000/(Lmin) <sup>2</sup> | Lmin=0,723+0,128*Dg (Dg:12->26)       | 25        | 650         |

γραμμές αναφοράς, τότε, ο λόγος του πραγματικού αριθμού κορμών (N) μιας συστάδας δεδομένης μέσης διαμέτρου (Dg) προς τον αντίστοιχο αριθμό των γραμμών αυτοαραίωσης (Nmax.99 ή Nmax.L) μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε νέους δείκτες πυκνότητας σύμφωνα με τις σχέσεις (9) και (10).

$$(9) SD.99 = N/N_{max.99}$$

$$(10) SD.L = N/N_{max.L}$$

Οι δείκτες αυτοί βρίσκονται σε στενή/ γραμμική σχέση μεταξύ τους και με το δείκτη SDI, όπως υποδεικνύουν τα διαγράμματα στο σχήμα 10), και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ανάπτυξη των εξισώσεων  $G=f(Ho, SDI.99 \text{ ή } SDI.L)$ .

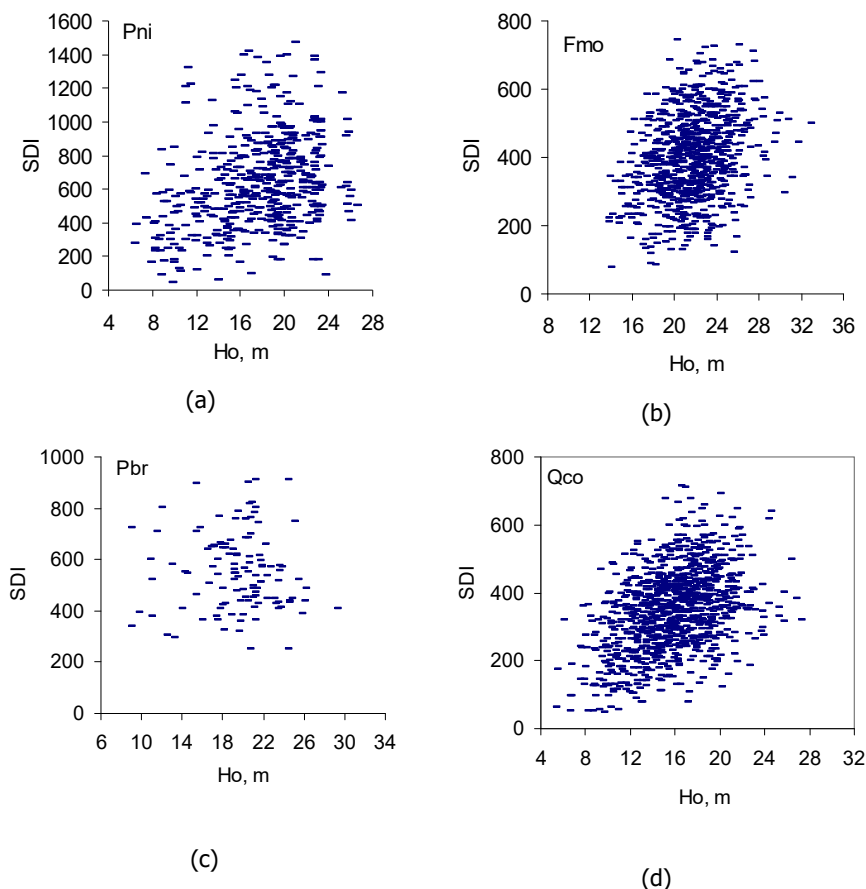
**Η Gmax ως οδηγός.** Μελετώντας τη διασπορά των παρατηρήσεων SDI/Ho (Σχ. 11) διαπιστώνεται μια σχετική έλλειψη σε συστάδες μεγάλης πυκνότητας για τις πρώτες βαθμίδες ύψους σε όλα τα δασοπονι-

κά είδη, πλην της τραχείας πεύκης. Το έλλειμμα αυτό μπορεί να αποδοθεί, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, είτε στο έλλειμμα κορμών (N.d8), είτε και στην έλλειψη παρατηρήσεων συστάδων μεγάλης πυκνότητας.

Η έλλειψη κορμών N.d8 θεωρείται στην προκειμένη περίπτωση λιγότερο σημαντική, αφού η G.d8 που μας ενδιαφέρει εδώ έχει σχετικά μικρή συμμετοχή στη συνολική κυκλική επιφάνεια, (βλέπε σχήμα 5). Αντίθετα, το έλλειμμα σε συστάδες μεγάλης πυκνότητας είναι σημαντικό και φαίνεται να παίζει ιδιαίτερο ρόλο.

Με την εφαρμογή των βημάτων ανάλυσης, που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για την εξεύρεση της Gmax, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Εξισώσεις: Στον πίνακα IV δίνονται: α) Ποσοστημο-



**Σχήμα 11.** Διαγράμματα διασποράς των παρατηρήσεων SDI/Ho συστάδων μαύρης πεύκης (a), οξιάς (b), τραχείας πεύκης (c) και δρυός (d)

**Figure 11.** Scatter plots of the observations SDI/Ho of black pine (Pni) (a), beech (Fmo) (b), calabrian pine (Pbr) (c) and oak (Qco) (d) stands

ριακές εκτιμήσεις για την οροφή των παρατηρήσεων (G/Ho) με το πρότυπο (6), β) Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης για τη συμμεταβολή της G συναρτήσει του ανώτερου ύψους (Ho) και δεικτών πυκνότητας (SDI ή SD.L) και γ) Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης με το πρότυπο (8), όπου αξιοποιείται η γραμμή αυτοαραίωσης  $N_{max}=f(Dg)$  για την εκτίμηση της  $G_{max}$ .

**Διαγράμματα.** Στο σχήμα 12 δίνεται το νέφος διασποράς των παρατηρήσεων G/Ho του συνόλου των δασοπονικών ειδών συγκριτικά με τις καμπύλες  $G_{max}$  που παράγονται από τις γραμμές οροφής  $G_{max.99}$  και τα πρότυπα της ομάδας (β) του πίνακα IV, στα οποία όμως εισάγονται μέγιστες τιμές πυκνότητας ( $SDI_{max}$  και  $SD.L_{max}$ ) που μας δίνουν οι αντίστοιχες γραμμές αυτοαραίωσης του πίνακα III.

Από τα διαγράμματα αυτά συνάγεται ότι: Για τα τρία είδη Pni, Fmo και Pbr έχουμε σχεδόν ταύτιση των

γραμμών  $G_{max.SDI}$  και  $G_{max.SD.L}$ . Αποκλίσεις, όχι ιδιαίτερα σημαντικές, παρατηρούνται μεταξύ των γραμμών αυτών και των γραμμών οροφής ( $G_{max.99}$ ). Στη δρυ διαπιστώνονται αποκλίσεις μεταξύ των γραμμών  $G_{max.SDI}$  και  $G_{max.SD.L}$ , οι οποίες όμως δεν ξεπερνούν το 10% (+9,8% στην περιοχή του  $Ho=8$  m και -5,2% στην περιοχή  $Ho=26$  m), ενώ έχουμε σχεδόν ταύτιση της γραμμής  $G_{max.SD.L}$  με την καμπύλη οροφής των παρατηρήσεων ( $G_{max.99}$ ).

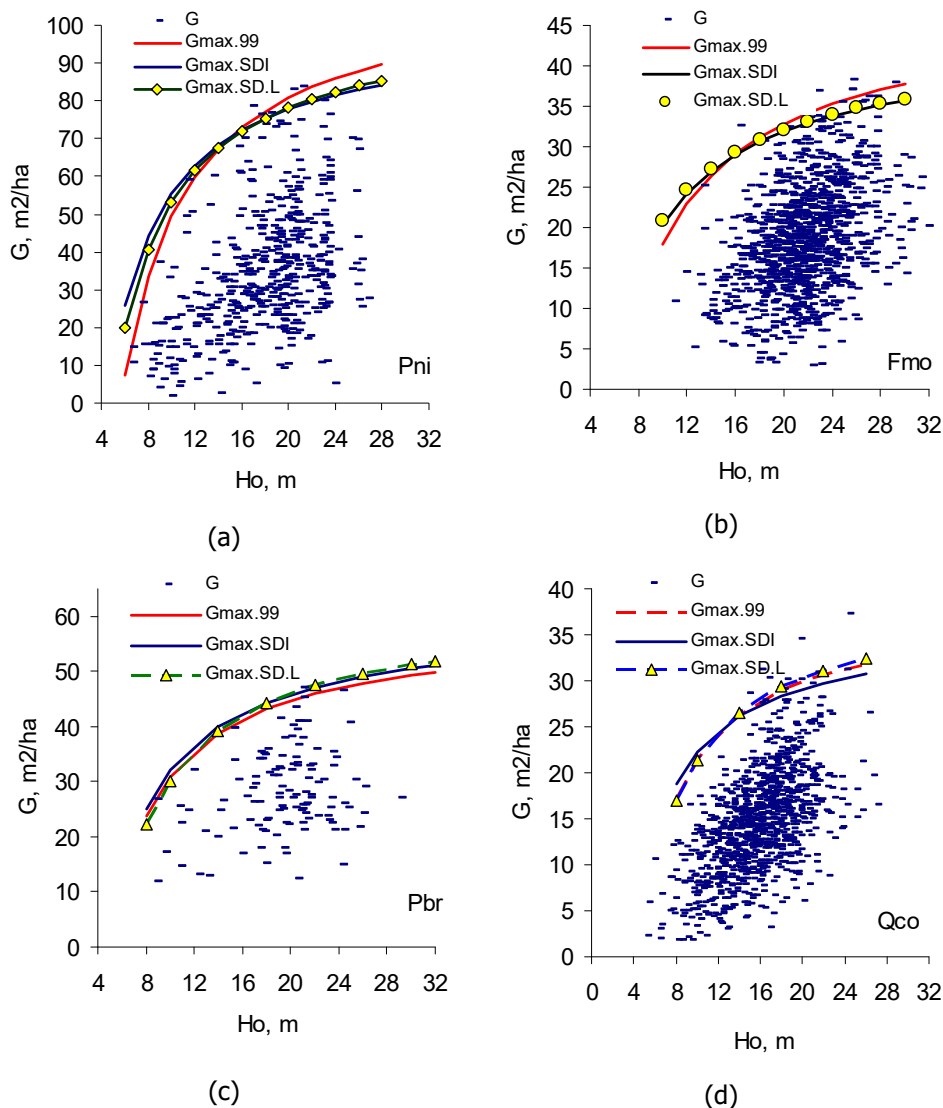
Όλα αυτά δείχνουν ότι οι δυο μέθοδο προσδιορισμού της  $G_{max}$ , δηλαδή οι γραμμές οροφής ( $G_{max.99}$ ) και τα πρότυπα  $G_{max}=f(Ho, SDI_{max}$  ή  $SD.L_{max})$  συγκλίνουν ικανοποιητικά σε ένα κοινό αποτέλεσμα.

Δοκιμαστική ανάπτυξη των μοντέλων με παρατηρήσεις όπου εξαιρέθηκαν οι ακραίες τιμές, για την τραπεζία πεύκη (7.6a) και τη δρυ (7.8a) έδειξε ότι το τελικό αποτέλεσμα, δεν αποκλίνει σημαντικά από αυτό που έδωσαν τα αρχικά πρότυπα (7.6 και 7.8 αντίστοιχα) (Σχ. 13).

**Πίνακας IV.** Εξισώσεις και αποτελέσματα παλινδρόμησης για την εξεύρεση γραμμών αυτοαραίωσης σε όρους εγκαρσίας κυκλικής επιφάνειας

**Table IV.** Equations and regression results for finding self-thinning lines in terms of basal area

| α) Ποσοστημοριακές εκτιμήσεις οροφής παρατηρήσεων $G_{max.99}=f(1/Ho)$ , $\tau=0,99$             |         |          |                                    |                         |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|------------------------------------|-------------------------|------|------|
| Εξισώσεις - models                                                                               | bo      | b1       | Τυπική απόκλιση του Y - StDev of Y | Αριθμός ΔΕ - n of Plots |      |      |
| (6.1) (Pni) $G_{max.99} = bo + b1*1/Ho$                                                          | 112,142 | -628,034 | 16,117                             | 482                     |      |      |
| (6.2) (Fmo) $G.99 = bo + b1*1/Ho$                                                                | 47,7427 | -298,641 | 6,6                                | 1084                    |      |      |
| (6.3) (Pbr) $G_{max.99} = bo + b1*1/Ho$                                                          | 58,614  | -278,187 | 7,56                               | 120                     |      |      |
| (6.4) (Qco) $G_{max.99} = bo + b1*1/Ho$                                                          | 38,3106 | -169,503 | 5,46                               | 1045                    |      |      |
| β) Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης $G=f(SDI, SDI/Ho)$ και $G=f(SD.L, SD.L/Ho)$                 |         |          |                                    |                         |      |      |
| Εξισώσεις - models                                                                               | bo      | b1       | b2                                 | R2                      | SEE  | n    |
| (7.1) Pni $G(SDI)=bo +b1*SDI +b2*SDI/Ho$                                                         | 0,548   | 0,072    | -0,323                             | 0,96                    | 3,41 | 482  |
| (7.2) Pni $G(SD.L)=bo +b1*SD.L +b2*SD.L/Ho$                                                      | 0,68    | 101,306  | -494,23                            | 0,96                    | 3,41 | 482  |
| (7.3) Fmo $G(SDI)=bo +b1*SDI +b2*SDI/Ho$                                                         | 0,167   | 0,062    | -0,331                             | 0,94                    | 1,65 | 1084 |
| (7.4) Fmo $G(SD.L)=bo +b1*SD.L +b2*SD.L/Ho$                                                      | 0,041   | 43,837   | -229,289                           | 0,95                    | 1,49 | 1084 |
| (7.5) Pbr $G(SDI)=bo +b1*SDI +b2*SDI/Ho$                                                         | 2,647   | 0,063    | -0,306                             | 0,93                    | 2,06 | 120  |
| (7.6) Pbr $G(SD.L)=bo +b1*SD.L +b2*SD.L/Ho$                                                      | 2,529   | 59,322   | -316,625                           | 0,93                    | 2,05 | 120  |
| (7.6a) Pbr $G(SD.L1)=bo +b1*SD.L +b2*SD.L/Ho$                                                    | 1,434   | 57,494   | -260,822                           | 0,96                    | 1,68 | 93   |
| (7.7) Qco $G(SDI)=bo +b1*SDI +b2*SDI/Ho$                                                         | 0,278   | 0,054    | -0,208                             | 0,96                    | 1,12 | 1045 |
| (7.8) Qco $G(SD.L)=bo +b1*SD.L +b2*SD.L/Ho$                                                      | 0,558   | 36,214   | -166,995                           | 0,94                    | 1,33 | 1045 |
| (7.8a) Qco $G(SD.L1)=bo +b1*SD.L +b2*SD.L/Ho$                                                    | 0,544   | 35,309   | -154,033                           | 0,95                    | 1,12 | 845  |
| γ) Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης $G(N_{max})=f(1/Ho)$ , όπου $G(N_{max})=\pi/4*Dg^2*N_{max}$ |         |          |                                    |                         |      |      |
| (8.1) (Pni) $G(N_{max.99})^{\wedge}=bo+b1/Ho$                                                    | 99,09   | -406,882 |                                    | 0,56                    | 7,1  | 482  |
| (8.2) (Fmo) $G(N_{max.99})^{\wedge}=bo+b1/Ho$                                                    | 43,541  | -227,528 |                                    | 0,27                    | 2,94 | 1084 |
| (8.3) (Pbr) $G(N_{max.99})^{\wedge}=bo + b1/Ho$                                                  | 63,308  | -302,627 |                                    | 0,57                    | 3,88 | 120  |
| (8.4) (Qco) $G(N_{max.99})^{\wedge}=bo+b1/Ho$                                                    | 34,302  | -119,431 |                                    | 0,46                    | 2,45 | 1045 |

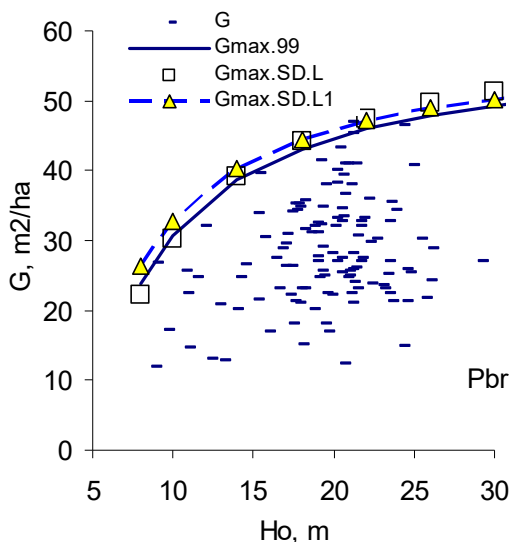


**Σχήμα 12.** Το νέφος διασποράς των παρατηρήσεων  $G/Ho$  και οι καμπύλες οροφής ( $G_{max.99}$ ,  $G_{max.SDI}$  &  $G_{max.SD.L}$ ) συστάδων μαύρης πεύκης (a), οξιάς (b), τραχείας πεύκης (c) και δρυός (d)

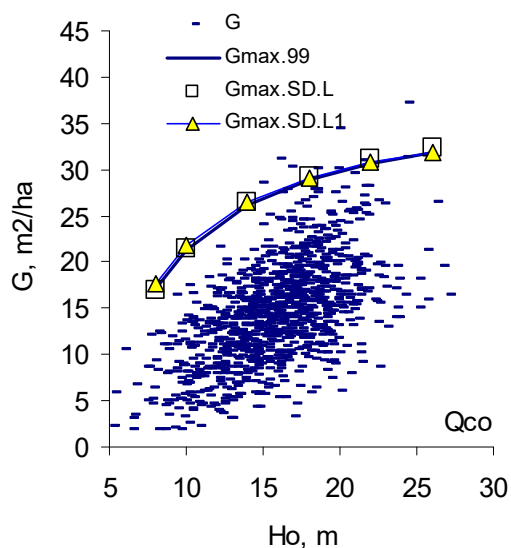
**Figure 12.** The maximum upper limit of the  $G$ -observations ( $G_{max.99} = f(Ho)$ ) of black pine (Pni) (a), beech (Fmo) (b), calabrian pine (Pbr) (c) and oak (Qco) (d) stands

Ανλύσουμε την εξίσωση  $N_{max.99} = \exp(b_0 + b_1 \cdot \ln Dg)$  για κάθε  $\Delta E$  και προσδιορίσουμε τον παράγοντα  $G(N_{max}) = (\pi/4) \cdot Dg^2 \cdot N_{max.99}$ , τότε το νέφος διασποράς  $G(N_{max.99})/Ho$ , που φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 14, υπερκαλύπτει «ομοιόμορφα» τις πραγματικές παρατηρήσεις  $G$ . Αν προσδιορίσουμε την οροφή των παρατηρήσεων αυτών, τότε προκύπτει η γραμμή  $G(N_{max}, Dg).99$  (Σχ. 14b), η οποία εκ προοιμίου μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη έχουσα καμία σχέση με τις πραγματικές παρατηρήσεις.

Αυτό συμβαίνει γιατί η γραμμή αυτή προκύπτει από το συνδυασμό μέγιστων τιμών  $Dg_{max}$  που παρατηρούνται στις διάφορες βαθμίδες ύψους ( $Ho$ ) με μέγιστες τιμές  $N_{max}$  που δίνει η αντίστοιχη εξίσωση  $N_{max.99} = \exp(\ln N.99)$ . Αυτό όμως είναι μια θεωρητική προσέγγιση που δεν έχει καμία σχέση με την πραγματικότητα, γιατί οι μεγάλες τιμές  $N$  ( $N_{max}$ ) συνδυάζονται κατά κανόνα με μικρές τιμές διαμέτρων ( $Dg$ ) και αντίστροφα, όπως άλλωστε υποδεικνύουν και οι γραμμές αυτοαραίωσης στο σχήμα 9.



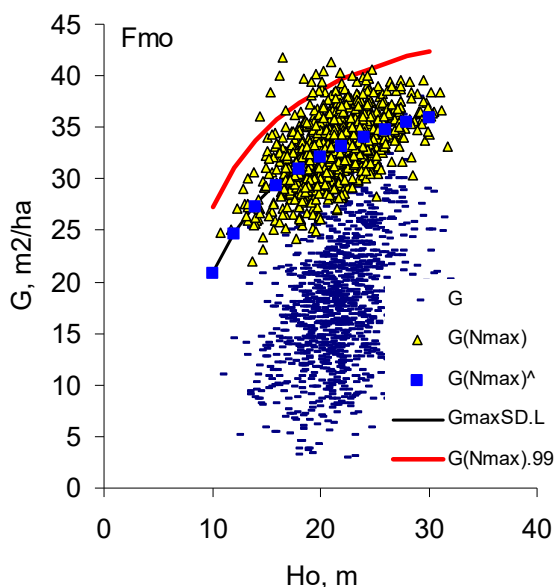
(a)



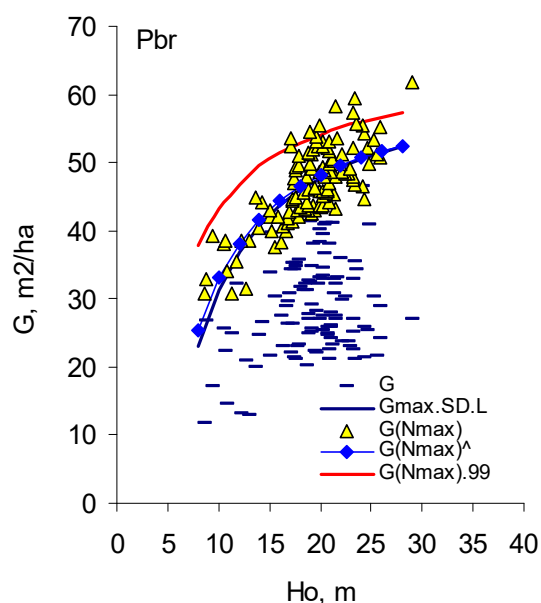
(b)

**Σχήμα 13.** Παρατηρήσεις  $G/Ho$  και καμπύλες  $G_{max}$  πριν από ( $G_{max.SD.L}$ ) και μετά ( $G_{max.SD.L.1}$ ) αφαίρεση ακραίων παρατηρήσεων για τραχεία πεύκη (a) και δρυ (b).

**Figure 13.**  $G/Ho$  observations and  $G_{max}$  curves before ( $G_{max.SD.L}$ ) and after ( $G_{max.SD.L.1}$ ) removal of extreme observations for calabrian pine (a) and oak (b).



(a)



(b)

**Σχήμα 14.** Το νέφος διασποράς  $G(N_{max})$  και γραμμή εξομάλυνσης των παρατηρήσεων  $G(N_{max})^{\wedge}$  συγκριτικά με τη γραμμή αυτοαραίωσης ( $G_{max.sdi}$  ή  $G_{max.L}$ ) σε συστάδες οξιάς (a) και τραχείας πεύκης (b)

**Figure 14.** Scatter plot of  $G(N_{max})$  values and the smoothing line  $G(N_{max})^{\wedge}$  compared to the self-thinning line  $G_{max.sdi}$  or  $G_{max.L}$  of beech (a) and calabrian pine stands (b)

Αν όμως εκτιμήσουμε τις γραμμές εξομάλυνσης των παρατηρήσεων  $G(N_{max}.99)$ , με τα πρότυπα της ομάδας γ του πίνακα IV, τότε προκύπτουν οι γραμμές  $G(N_{max}.99)^{\wedge}$  οι οποίες είναι πιο κοντά και συχνά ταυτίζονται με τις γραμμές αυτοαραίωσης που μας δίνουν τα υπόλοιπα πρότυπα  $G_{max}.99$ ,  $G_{max}.SDI$  ή και  $G_{max}.SD.L$  (Σχήμα 13a και b).

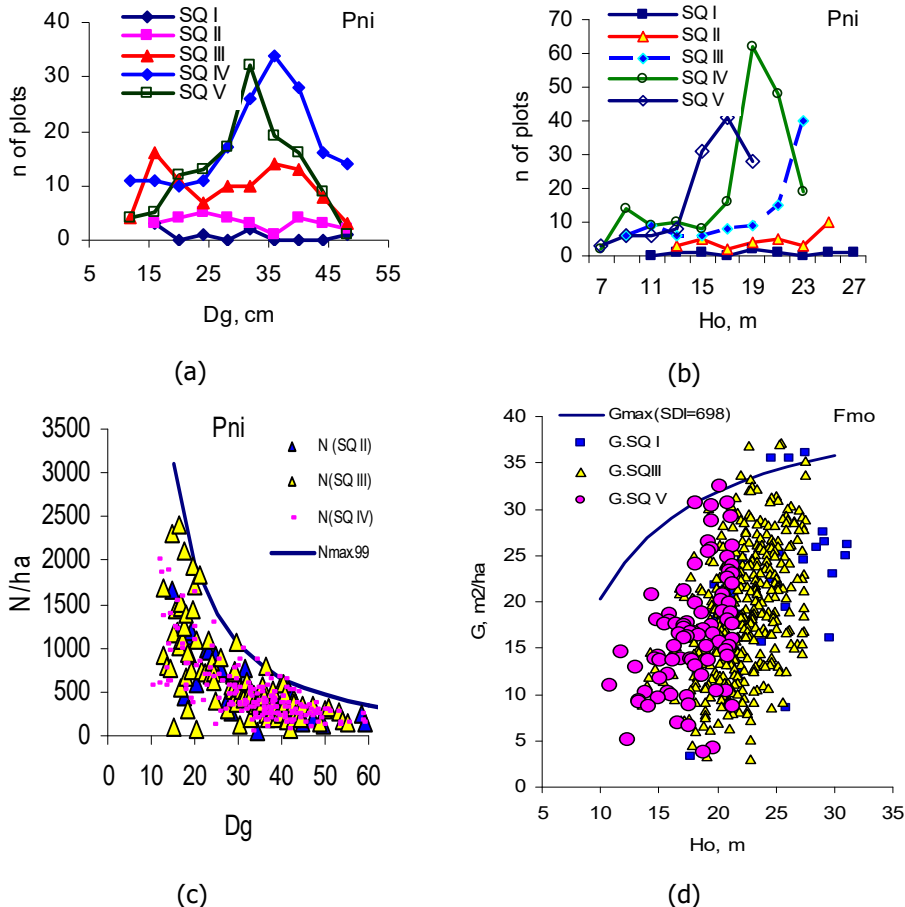
Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι, στην προσπάθεια προσέγγισης της ζητούμενης γραμμής  $G_{max}$ , υπάρχει και τρίτος δρόμος, ο οποίος οδηγεί στο ίδιο περίπου αποτέλεσμα με τους δυο πρώτους, ( $G_{max}.99$  και  $G_{max}.SDI$  ή  $G_{max}.SD.L$ ). Ο τρίτος αυτός δρόμος κρίνεται μάλιστα ως πλέον αποτελεσματικός, όταν το νέφος  $G/Ho$  έχει προβλήματα εκπροσώπησης.

Η επίδραση της ποιότητας τόπου. Η ανάπτυξη των μοντέλων  $N_{max}=f(Dg)$  και  $G_{max}=f(Ho)$  χωριστά στις

διάφορες ποιότητες τόπου οδηγεί κατ' ανάγκη και σε διαφορετικά αποτελέσματα. Σ' αυτό συνηγορούν α) η διαφορετική βαρύτητα συμμετοχής (αριθμός ΔΕ) των διαφόρων ΠΤ στο δείγμα και β) η ανομοιόμορφη κατανομή των ΔΕ διαφορετικών ΠΤ κατά κλάσεις διαμέτρου ( $Dg$ ) και ύψους ( $Ho$ ) (Σχ. 15a,b).

Πλην όμως, διαπιστώνεται ότι, σε κάθε ποιότητα τόπου έχουμε παρατηρήσεις που αγγίζουν το ανώτατο επίπεδο τιμών (Σχ. 15c,d), γεγονός που μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε κοινές γραμμές αναφοράς  $N_{max}$  και  $G_{max}$ , ως οδηγούς για τον έλεγχο της πυκνότητας του συνόλου των συστάδων ανεξάρτητα από την ποιότητα σταθμού.

Διαπιστώνεται επίσης, και αυτό συμβαίνει σε όλα τα δασοπονικά είδη, ότι η εκπροσώπηση των ποιοτήτων τόπου στην κατανομή των ΔΕ κατά κλάσεις



**Σχήμα 15.** Η συμμετοχή/ εκπροσώπηση των ποιοτήτων τόπου στην κατανομή των ΔΕ κατά κλάσεις διαμέτρου ( $Dg$ ) (a, c) και ύψους ( $Ho$ ) (b,d)

**Figure 15.** The participation / representation of site qualities in the distribution of plots by diameter ( $Dg$ ) (a & c) and height ( $Ho$ ) (b & d) classes

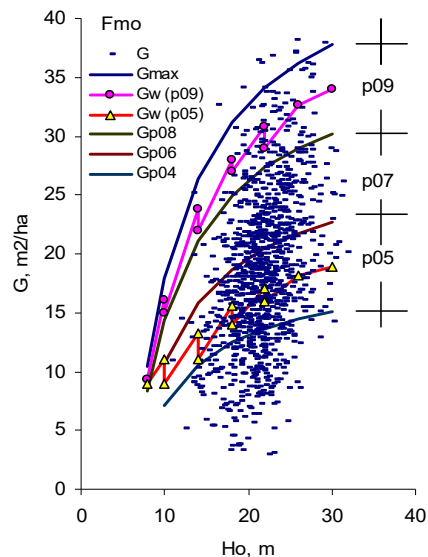
διαμέτρου ( $D_g$ ) είναι κατά κανόνα πληρέστερη (Σχ. 15c) από ότι αυτή των κλάσεων ύψους ( $H_o$ ) (Σχ. 15d). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι συστάδες κατώτερων ποιοτήτων τύπου δεν μπορούν να αποκτήσουν το ύψος που επιτυγχάνεται στις καλές ποιότητες τύπου και κατά συνέπεια οι συστάδες, πχ. της οξιάς V ΠΤ, δεν μπορούν να δώσουν παρατηρήσεις για ύψη μεγαλύτερα των 22 m (Σχ. 15d) (Gatzojannis, 1998). Ο περιορισμός αυτός, κοινός για όλα τα δασοπονικά είδη, προσδίδει ένα πλεονέκτημα στον τρίτο δρόμο αναζήτησης της  $G_{max}$ , δεδομένου ότι γραμμή αυτοα-ραιώσεως ( $N_{max}$ ) – και αν ακόμα δεχτούμε ότι η πρόταση του Reineke δεν ισχύει – διαπιστώνεται με μεγαλύτερη βεβαιότητα αφού μπορούμε ευκολότερα να έχουμε πλήρη εκπροσώπηση των ποιοτήτων τύπου σε ολόκληρο το φάσμα των κλάσεων διαμέτρου ( $D_g$ ) (Σχ. 15a) από ότι στα ύψη. Σε κάθε περίπτωση ο τρίτος αυτός δρόμος μπορεί να αποτελεί και ένα είδος ελέγχου των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους δυο πρώτους δρόμους [ $G_{max.99}=f(H_o)$  και  $G_{max}=f(H_o, SDI_{max}$  ή  $SD.L_{max}$ )].

Η  $G_{max}$  είναι τελικά ένα τεχνητό μέγεθος που μπορεί να λειτουργήσει ως οδηγός ελέγχου της πυκνότητας των συστάδων και να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των συστάδων σε επίπεδα πυκνότητας ( $p09=G/G_{max}=0,8-1,0$ ,  $p07=0,6-0,8$  και  $p05=0,4-0,6$ , βλ. σχήμα 16).

Με τον τρόπο αυτόν δημιουργούνται νόθες αυξητικές σειρές με τις μέσες καμπύλες αυτών, πχ.  $Gw(p09)$  ή  $Gw(p05)$  στο σχήμα 16, να μπορούν να εκφράσουν την κατά μέσο όρο πορεία αύξησης των συστάδων που εντάσσονται στις αντίστοιχες αυξητικές σειρές.

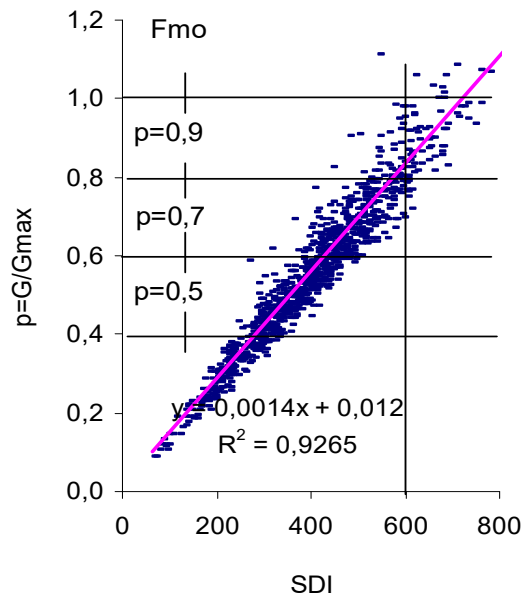
Η έννοια του επιπέδου πυκνότητας συστάδων, όπως ορίζεται από τη σχέση  $G/G_{max}$ , δεν είναι ταυτοσημή με τη σχετική πυκνότητα που προσδιορίζεται με άλλους δείκτες, όπως πχ.  $SDI$ ,  $RD$ , ή  $SD.L.$ , παρά τη γραμμική σχέση που τις συνδέει. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 17, όπου συστάδες με ίδιο  $SDI$ , πχ. 600, μπορούν να ενταχθούν σε διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας ( $p07$  και  $p09$ ). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η  $G_{max}$  (όπως και κάθε  $G$ ) για δεδομένο ύψος ( $H_o$ ), μπορεί να επιτυγχάνεται με πολύ διαφορετικούς συνδυασμούς  $D_g/Nha$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 18.

Η διαπίστωση αυτή αποκτάει ιδιαίτερη δασοκομική και οικονομική διάσταση, δεδομένου ότι διαφορετικός συνδυασμός  $D_g/Nha$  σε μια συστάδα ορισμένου επιπέδου πυκνότητας οδηγεί σε διαφορετική ποσοτική και ποιοτική απόδοση, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον δασοκομικό σχεδιασμό, τόσο κατά τον καθορισμό της έντασης των αραιώσεων, η οποία και διαμορφώνει το επίπεδο πυκνότητας



**Σχήμα 16.** Σύστημα ταξινόμησης των συστάδων οξιάς σε επίπεδα πυκνότητας και δημιουργίας αυξητικών σειρών

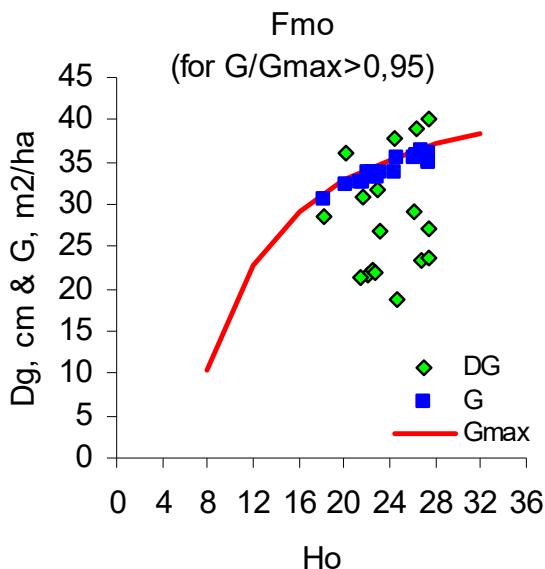
**Figure 16.** System for classifying beech stands in density levels and creating growth series



**Σχήμα 17.** Σχέση μεταξύ δείκτη πυκνότητας ( $SDI$ ) και επιπέδου πυκνότητας ( $p=G/G_{max}$ ) των συστάδων οξιάς

**Figure 17.** Relationship between stand density index ( $SDI$ ) and density level ( $p=G/G_{max}$ ) of beech stands





**Σχήμα 18.** Συγκριτική απεικόνιση κυκλικής επιφάνειας (G) και μέσης διαμέτρου (Dg) συστάδων που εντάσσονται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο πυκνότητας (κοντά στη γραμμή Gmax)

**Figure 18.** Comparative representation of basal area (G) and mean diameter (Dg) of stands belonging to the highest possible density level (near the Gmax line)

των συστάδων, όσο και του τρόπου αραιώσης (χαμηλές ή υψηλές αραιώσεις, θετική ή αρνητική επιλογή κλπ) που καθορίζει τις σχέσεις Dg/Nha.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

**Βιολογικά όρια και πραγματικότητα.** Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναφορικά με τις γραμμές  $N_{max}=f(Dg)$  και  $G_{max}=f(Ho)$  σηματοδοτούν μέγιστα που επιτυγχάνουν πράγματι οι συστάδες. Οι γραμμές αυτές μπορούν συμβατικά να παρατηρηθούν και ως βιολογικά μέγιστα αλλά και ως γραμμές αυτοαραιώσης, χωρίς όμως ο τελευταίος χαρακτηρισμός να μπορεί με βεβαιότητα να πιστοποιηθεί και χρειάζεται προς τούτο παραπέρα έρευνα. Τα όρια αυτά δεν έχουν απόλυτο χαρακτήρα, γιατί αποτελούν εμπειρικά μεγέθη, δηλαδή μέσες τιμές γύρω από τις οποίες διακυμαίνονται οι πραγματικές παρατηρήσεις και, επιπλέον, ισχύουν κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις και περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί έχουν να κάνουν κυρίως με το υλικό και ειδικότερα τις ελλείψεις στον αριθμό κορμών, εξαιτίας της ελάχιστης μετρούμενης διαμέτρου, και με τα προβλήματα διασποράς των παρατηρήσεων.

Αναφορικά με τις γραμμές  $N_{max}=f(Dg)$ , στα είδη της μαύρης πεύκης και οξιάς, οι εν λόγω περιορισμοί δεν έπαιξαν σημαντικό ρόλο και οι εξισώσεις 1.1, 4.1, 1.3, και 4.3, που δίνονται στον πίνακα III, προσεγγίζουν το συνολικό πληθυσμό (τα θεωρητικά ή βιολογικά μέγιστα) ενώ στη δρυ (Εξίσ. 1.8 και 4.8) χρειάστηκε να απαλειφθούν οι περιορισμοί για να προσεγγίσουμε τα βιολογικά αυτά όρια. Στην τραχεία πεύκη έπαιξαν ρόλο οι εν λόγω περιορισμοί για την ανάπτυξη της εξίσωσης (4.6) όχι όμως και για την εξίσωση (1.5).

Αναφορικά με τις γραμμές  $G_{max}=f(Ho)$ , οι ελλείψεις στον αριθμό κορμών δεν έπαιξαν ιδιαίτερο ρόλο εξαιτίας την μικρής συμμετοχής τους στη διαμόρφωση της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας, ενώ η διασπορά των παρατηρήσεων είχε μεν επίδραση, όμως ιδιαίτερα εκεί όπου η εκπροσώπηση των συστάδων μεγάλης πυκνότητας δεν ήταν ικανοποιητική. Το πρόβλημα αυτό ελέγχεται και εν μέρει αμβλύνεται με την εμπλοκή των αποτελεσμάτων της γραμμής  $N_{max}=f(Dg)$  στην ανάπτυξη των εξισώσεων της τρίτης ομάδας των εξισώσεων  $G(N_{max})^n=f(Ho, N_{max})$  του πίνακα IV.

Τέλος, ιδιαίτερη είναι η σημασία των γραμμών  $G_{max}=f(Ho)$  και  $N_{max}=f(Dg)$  για τη δασοαποδοτική έρευνα αφού, πέραν του γεγονότος ότι και οι ίδιες σηματοδοτούν εξέλιξη των συστάδων κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, αποτελούν και αφετηρίες για την παραπέρα έρευνα της απόδοσης των δασοσυστάδων. Οι γραμμές  $G_{max}=f(Ho)$  και  $N_{max}=f(Dg)$  και ιδιαίτερα οι δείκτες πυκνότητας που παράγονται από αυτές, όπως  $p=G/G_{max}$ , συμμετέχουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές, σε όλα σχεδόν τα μοντέλα που δίνουν την εξέλιξη βασικών δασοαποδοτικών μεγεθών των συστάδων, όπως είναι το ξυλαπόθεμα και η προσαύξηση όγκου, και ολοκληρώνουν με τον τρόπο αυτόν τη δασοαποδοτική έρευνα για συστάδες κάτω από εναλλακτικούς δασοκομικούς χειρισμούς. Οι εξισώσεις 7.1 και 7.7 αποτέλεσαν ήδη βασικές σχέσεις του συστήματος των πινάκων παραγωγής που αναπτύχθηκαν στις εργασίες Gatzojannis 1998 & Γκατζογιάννης 2017, γεγονός που επιβεβαιώνει και την ορθότητα των επιλογών που έγιναν για χρήση των εξισώσεων αυτών ως γραμμών αναφοράς για τη δημιουργία επιπέδων πυκνότητας των αντίστοιχων συστάδων.



**Πίνακας V.** Σύμβολα και επεξηγήσεις  
**Table V.** Symbols and explanations

|                  |                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| d ή d1,3         | Στηθαία διάμετρος δένδρου (cm) - BH-diameter of trees (cm)                                                                                                                                            |
| Dg               | Μέση (τετραγωνική) διάμετρος συστάδας – Mean diameter $Dg=(G/(\pi/4*N))^{0.5}$ (cm)                                                                                                                   |
| h                | Ολικό ύψος δένδρου – Total height of trees (m)                                                                                                                                                        |
| Ho               | Ανώτερο ύψος συστάδας – Dominant height of stands (m)                                                                                                                                                 |
| G                | Εγκάρσια κυκλική επιφάνεια συστάδας – Stand basal area (m <sup>2</sup> /ha)                                                                                                                           |
| SI <sub>50</sub> | Δείκτης ποιότητας τόπου – Site index                                                                                                                                                                  |
| Tκ               | Ηλικία κυριαρχούσας συστάδας (έτη) – Age of dominant trees in the stands (yrs).                                                                                                                       |
| SD               | Πυκνότητα συστάδων - Stand density                                                                                                                                                                    |
| SDI              | Δείκτης πυκνότητας συστάδων - Stand Density Index $SDI=N*(25/Dg)^{-1.605}$                                                                                                                            |
| RD               | Σχετική πυκνότητα συστάδων - Relative Density                                                                                                                                                         |
| Gmax             | Μέγιστη κυκλική επιφάνεια συστάδας – Maximum basal area of stands (m <sup>2</sup> /ha)                                                                                                                |
| Gmax.99          | Η μέγιστη κυκλική επιφάνεια ως οροφή πραγματικών παρατηρήσεων εκτιμώμενη με παλινδρόμηση ποσοστημορίων (tau=99%) – Maximum basal area estimated by quantile regression (tau=99%) (m <sup>2</sup> /ha) |
| Gmax.SDI         | Η μέγιστη κυκλική επιφάνεια εκτιμώμενη με εξισώσεις της μορφής $G=f(Ho, SDI_{max})$ Maximum basal area estimated with equations of the form $G=f(Ho, SDI_{max})$ (m <sup>2</sup> /ha)                 |
| Gmax.L           | Η μέγιστη κυκλική επιφάνεια εκτιμώμενη με εξισώσεις της μορφής $G=f(Ho, SD.L_{max})$ Maximum basal area estimated with equations of the form $G=f(Ho, SD.L_{max})$ (m <sup>2</sup> /ha)               |
| L                | Αραιότητα συστάδας/ μέση απόσταση μεταξύ δένδρων μιας συστάδας δεδομένης μέσης διαμέτρου (Dg) - Average distance between trees of a stand given mean diameter (Dg) ( $L=(10000/N)^{0.5}$ ) (m)        |
| Lmin             | Η (θεωρητικά) ελάχιστη απόσταση μεταξύ δένδρων συστάδων δεδομένης μέσης διαμέτρου (Dg) – The (theoretical) minimum distance between trees of a stand given mean diameter (Dg) (m)                     |
| N, N/ha          | Αριθμός δένδρων στη μονάδα επιφανείας (ha) μιας συστάδας – Tree number in the stand per hectare                                                                                                       |
| Nmax             | Μέγιστος αριθμός δένδρων συστάδας δεδομένης Dg – Maximum tree number of a stand given mean diameter (Dg)                                                                                              |
| Nmax.99          | Μέγιστος αριθμός δένδρων συστάδας δεδομένης Dg - Maximum tree number of a stand given mean diameter (Dg) ( $N_{max.99}=\exp(b_0+b_1*LnDg)$ )                                                          |
| Nmax.L           | Μέγιστος αριθμός δένδρων συστάδας δεδομένης Dg - Maximum tree number of a stand given mean diameter (Dg) ( $N_{max.L}=10000/Lmin^2$ )                                                                 |
| SD.L             | Δείκτης πυκνότητας συστάδας – Stand density index ( $SD.L=N/N_{max.L}$ )                                                                                                                              |
| G(Nmax)          | Εγκάρσια κυκλική επιφάνειας συστάδας – Basal area of a stand, $G(N_{max})=\pi/4*Dg^2*N_{max}$ (m <sup>2</sup> )                                                                                       |
| p09, p07, p05    | Επίπεδα πυκνότητας συστάδων – Density levels of the stands ( $p=G/G_{max}=09, 07$ or $05$ )                                                                                                           |
| Pni              | Μαύρη πεύκη Αρναίας - Black pine of Arnaia forest ( <i>Pinus nigra</i> )                                                                                                                              |
| Fmo              | Οξιά μοισιακή Αρναίας – Beech of Arnaia forest ( <i>Fagus moisiaca</i> )                                                                                                                              |
| Pbr              | Τραχεία πεύκη Θάσου - Calabrian pine of Thassos forest ( <i>Pinus brutia</i> )                                                                                                                        |
| Qco              | Δρυς πλατύφυλλος Αρναίας - Oak of Arnaia forest ( <i>Quercus conferta</i> )                                                                                                                           |

# The self-thinning lines $N_{max}$ and $G_{max}$ as starting points for silvicultural management and forest yield research

† Dr. Stylianos Gatzojannis<sup>1</sup>

## SUMMARY

In the present work the development of the lines  $N_{max} = f(Dg)$  and  $G_{max} = f(Ho)$  as self-thinning lines of the forest stands is examined.

The development of these lines was deemed necessary to find comparative measures to assess real situations, regarding the density and silvicultural treatment of forest stands.

For this purpose, inventory results of test areas (plots) from four important forest species of Greece (black pine, beech, oak and prickly pine) were utilized.

The research included: a) Analysis of the distribution of the number of stems ( $N$ ) and the basal area ( $G$ ) by diameter classes ( $d1.3$ ), as well as the dispersion of the observations, in order to show possible limitations in the search for self-thinning lines. b) Search for maximum values (ceiling lines) of the  $LnN/LnDg$  observations and minimum values (base lines) of the  $L/Dg$  dispersion cloud by the method of percentile regression and transition respectively to the self-thinnings-lines  $N_{max}=f(Dg)$ . c) Comparison of these lines with Reineke's rule, according to which the coefficient  $b1$  of the lines  $LnN_{max} = b_0 + b1 * LnDg$  has a fixed size ( $b1 = -1.605$ ) and is common to all forest species. d) Search for  $G_{max} = f(Ho)$  reference lines through three different paths: 1) Search for maximum values (ceiling lines)  $G_{max} = f(Ho)$  by the method of percentile regression. 2) Development of equations of the form  $G=b_0+b1*SD+b2*SD/Ho$  and search for maximum values  $G_{max} = f(Ho)$  by entering in the equations maximum density values ( $SD$ ) and 3) Obtaining  $G_{max}$  lines through the self-thinning lines  $N_{max}=f(Dg)$ .

The application of the percentile regression method revealed that it is feasible to develop maximum density lines capable of reliably representing the desired self-thinning lines of the stands. The limitations regarding the minimum measurable diameter and the deficit in observations of maximum stand density affected the formulation of the  $N_{max}$  lines, but not the  $G_{max}$  lines. The final thinning lines proposed for application are presented in detail by the equations in Table III, where for equations 1.1, 1.3, 1.6, and 1.8, the coefficient  $b1$  does not appear to differ significantly from Reineke's coefficient of -1.605.

The application of percentile regression for determining the upper and lower boundary lines leads to approximately the same results for the  $N_{max}$  lines. The first two methods for determining  $G_{max}$ , namely the upper boundary lines ( $G_{max.99}$ ) and the models  $G_{max} = f(Ho, SDI_{max}$  or  $SD.L_{max})$ , converge satisfactorily to a common result and provide the required reference lines (see the relevant equations in Table IV) as starting points for controlling stand density. Obtaining  $G_{max}$  lines through the self-thinning lines  $N_{max} = f(Dg)$  was also deemed feasible, leading to results that do not significantly deviate from those of the first two methods.

The results, regarding the two lines  $N_{max}=f(Dg)$  and  $G_{max}=f(Ho)$ , signal the maximum that the stands actually achieve. These lines can conventionally be observed as both biological maxima and as self-thinning lines and can be used to classify stands at density levels based on  $G/G_{max}$  ratios. In this way we move to (non-genuine) growth series which then allow us to study the performance of the stands separately in the various growth series.

**Keywords:** Black pine, beech, calabrian pine, oak, basal area, natural degree of stocking, stand sparsity, growth series.

---

1. Doctor of forestry, Forest management and economics

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Assmann, E., 1970. Studies in the organic Production, Structure, Increment and Yield of forest Stands. The principles of Forest yield Study. Pergamon Press, p. 506.
- Andrius, C., Weiskittel, A., D'Amato, W., and Erin Saimons-legaard, 2018. Variation in the maximum stand density index and its linkage to climate in mixed species forests of the North American Acadian Region. Forest Ecology and Management. Volume 417, 15 May 2018, Pages 90-102.
- Curtis L., V., 2019. Reineke's stand density index: A quantitative and non-unitless measure of stand density. Mississippi State University. Conference Paper, May 2019.
- Dahlhausen, J., Uhl, E., Heym, M., Biber, P., Ventura, M., Panzacchi, P., Tonon, G., Horva', T., Pretzsch, H., 2017. Stand density sensitive biomass functions for young oak trees at four different European sites. Trees. Volume 31, pages 1811–1826 (2017). Springer-Verlag GmbH Germany.
- Gadow v. K., 2003. Waldstruktur und Wachstum. Beilage zur Vorlesung im Wintersemester 2003/2004. Institut für Wladinventure und Waldwachstum.
- Gadow, K., and Kotze, H., 2014. Tree survival and maximum density of planted forests – Observations from South African spacing studies. Forest Ecosystems 2014, 1:21
- Gatzojannis, S., 1998. Ertragstafeln für Buchenbestände in Griechenland. Allg.Forst-u.J.-Ztg., 12:219-224.
- Gatzojannis, S., 1999. Ertragstafeln für Schwarzkiefernbestände in Griechenland (Πίνακες παραγωγής Μαύρης πεύκης Ταυγέτου). Forstarchiv 70: 98-102.
- Gretl, 2020. GNU Regression, Econometric and Time-series Library. <http://gretl.sourceforge.net> (Gretl 2020e).
- Hynynen, J., 1993. Self-thinning models for even-aged stands of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula*. Scand. J. For. Res. 8(3):326-336.
- Kramer, H., 1988. Waldwachstumslehre. Verlag Paul – Parey, Hamburg und Berlin. S. 374.
- Monserud, R., Ledermann, T., Sterba, H., 2005. Are Self-Thinning Constraints Needed in a Tree-Specific Mortality Model? *Forest Science* 50(6) 2005.
- Nilson, A., 2006. Modeling Dependence Between The Number Of Trees And Mean Tree Diameter Of Stands, Stand Density And Stand Sparsity. In: Cieszewski CJ, Strub M (eds) Second International Conference on Forest Measurement and Quantitative Methods and Management & the 2004. Southern Mensurationists Meeting 15-18 June 2004 Hot Springs, Arkansas.
- Oliver, c, & Larson, B., 1996. Forest Stand Dynamics, Update Edition. Yale University
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Jour.Agric. Res.* 46: 627 – 638.
- Woodall, C., Miles, P., Vissage, J., 2005. Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stocking assessments. *Forest Ecology and Management* 216 (2005) 367–377.
- Yoda, K, T. Kira, H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *J. Biol. Osaka City Univ.* 14:107-129.
- Zhang, C., Zhao, X., Gadow, K., 2015. Maximum density patterns in two natural forests: An analysis based on large observational field studies in China. *Forest Ecology and Management* 346 (2015) 98–105
- Γκατζογιάννης, Σ., 2017. Πίνακες παραγωγής Πλατυφύλλου δρυός Αρναίας Χαλκιδικής. Yield tables for *Quercus conferta* stands of Arnaia forest in Greece. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*. Σειρά VI, Τόμ. 26, Τεύχ. I (24-36).
- Γκατζογιάννης, Σ. 2024. Εναλλακτικές διαδικασίες προσομοίωσης της αύξησης και απόδοσης δασοσυστάδων (Η περίπτωση συστάδων Τραχείας πεύκης Θάσου). Υπό δημοσίευση στα Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. ΓΕΩΤΕΕ.

# Εναλλακτικές διαδικασίες προσομοίωσης της αύξησης και απόδοσης δασοσυστάδων - Η περίπτωση συστάδων Τραχείας πεύκης Θάσου -

† Δρ. Στυλιανός Γκατζογιάννης<sup>1</sup>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μια διαδικασία προσομοίωσης της αύξησης συστάδων Τραχείας πεύκης που ακολουθεί δυο διαφορετικούς δρόμους. Ο πρώτος αξιοποιεί δεδομένα της τρέχουσας προσαύξησης όγκου των συστάδων και ο δεύτερος ακολουθεί τη λογική των αυξητικών σειρών (GS: Growth Series). Για την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής αξιοποιήθηκε υλικό υλοτομίας και ανάλυσης κορμών, καθώς και ικανό δείγμα δοκιμαστικών επιφανειών. Με τη βοήθεια του υλικού αυτού αναπτύχθηκαν ατομικά (individual tree-models) και συσταδικά (stand level-models) πρότυπα τα οποία και υποστήριξαν τη διαδικασία προσομοίωσης. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο διαδικασιών προσομοίωσης εξήχθηκαν συμπεράσματα για τη δυναμική της αύξησης και την ικανότητα απόδοσης των συστάδων σε ξυλώδη όγκο, αφενός μεν για κλειστές (μέγιστης πυκνότητας) συστάδες, που είναι κοντά στη φυσική εξέλιξη και αύξηση των συστάδων, και αφετέρου για τη διαβάθμιση της δυναμικής αυτής για συστάδες διαφορετικής πυκνότητας, ως αποτέλεσμα αραιώσεων και διαφορετικού δασοκομικού χειρισμού. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης διαμορφώθηκαν υπό μορφή πινάκων παραγωγής προκειμένου να μπορούν αυτά να αξιοποιηθούν στη συνέχεια κατά τον σχεδιασμό της διαχείρισης των δασών Τραχείας πεύκης.

**Λέξεις κλειδιά:** Ευλαπότητα, προσαύξηση όγκου συστάδων, αυξητικές σειρές, ταρίφες ύψους, πίνακες παραγωγής, παλινδρόμηση ποσοστημορίων

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της πορείας αύξησης των συστάδων και η ικανότητα απόδοσης αυτών σε προϊόντα ξύλου αποτελεί βασική υποδομή για μια σύγχρονη και αποτελεσματική διαχείριση των δασών. Η εκτίμησή της, ιστορικά, γίνεται με τρεις τουλάχιστον διαφορετικούς τρόπους: 1) με διαρκή παρακολούθηση της εξέλιξης των συστάδων, 2) με τη βοήθεια τρυπανιδίων (λήψη στοιχείων από συστάδες διαφορετικών ηλικιών) και 3) με τη βοήθεια πινάκων παραγωγής (Prodan, 1965, Kramer & Akca 1982, Laar and Akca 2007). Κατά τις τελευταίες δεκαετίες καταβάλλεται επίσης μια προσπάθεια ανάπτυξης μοντέλων προσομοίωσης της αύξησης που βασίζεται τόσο σε ατομικά των δένδρων πρότυπα (individual tree-models), όσο και σε συσταδικά/ συνολικά πρότυπα συστάδων (stand level-models) (Pretsch 1992, Zhang et al 2009, Van Laar and Akca 2007). Μια άλλη προσέγγιση για τη μοντελοποίηση της προσαύξησης είναι αυτή που βασίζεται στα δυναμικά μοντέλα αύξησης, όπως αυτά των Ek and Moserud (1974), Pretsch (1992) και Hasenauer (1994). Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι επίσης και η ανάπτυξη εξισώσεων

που βασίζονται σε μια σειρά από ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες εξηγούν τις αποκλίσεις από τις μέσες τιμές και όχι τις αποκλίσεις από τιμές δυναμικών μοντέλων (Schröder et al, 2002). Τέτοια μοντέλα είναι πχ. των Quicke et al (1994), Murphy and Sheldon (1966) και Zhang et al (2009).

Για τα δάση τραχείας πεύκης της περιοχής έρευνας αναπτύχθηκε ένα σύστημα σταθμοδεικτικών καμπυλών (Gatzojannis et al, 2015) που αποτελεί υποδομή για την παρούσα έρευνα. Για τα δάση τραχείας πεύκης του ευρύτερου χώρου της ανατολικής μεσογείου έχουν γίνει διάφορες δασοαποδοτικές έρευνες (Shater et al, 2011, Palahi et al, 2008, Γκατζογιάννης, κ.ά., 2002, Kitikidou et al, 2012, Kahriman et al, 2018) που βασίζονται είτε σε αναλύσεις κορμών, είτε και σε προσωρινές δοκιμαστικές επιφάνειες.

Η έλλειψη μονίμων πειραματικών επιφανειών, οδηγεί τη δασική έρευνα στην αξιοποίηση δεδομένων από τρέχουσες απογραφές και στην εφαρμογή διαδικασιών που επιτρέπουν τον μετασχηματισμό στατικών, κατά βάση, δεδομένων και μοντέλων σε δυναμικά πρότυπα.

1. Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, ΕΘΙΑΓΕ

Οι αναλύσεις κορμών κυριαρχούντων δένδρων των συστάδων ήταν το πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση. Η λογική των αυξητικών σειρών (Magin, 1963), «unechte Zeitreihen» κατά Gadow (2003), «Wuchsreihen» κατά Kramer (1988), ήταν το δεύτερο βήμα, που, σε συνδυασμό με τις αναλύσεις κορμών, έδωσε στοιχεία για τη συγκρότηση των συστάδων διαφόρων σταδίων εξέλιξης και τη συναγωγή συμπερασμάτων για τη συνολική πορεία αύξησης και απόδοση των συστάδων. Με τα μέσα αυτά αποκτήθηκαν μέχρι σήμερα δασοαποδοτικά πρότυπα και πίνακες παραγωγής για σημαντικά δασοπονικά είδη της χώρας, όπως για οξιά, δρυ, ελάτη, δασική πεύκη, ερυθρελάτη και μαύρη πεύκη (βλ. Gatzojannis, 1998, 1999a,b, Γκατζογιάννης, 1998, 1999, 2017, 2018, Γκατζογιάννης & Παλάσκας 2021). Οι πίνακες αυτοί προβλέπουν την εξέλιξη και την απόδοση των συστάδων σε ξυλώδη όγκο ως συνάρτηση της ηλικίας και της ποιότητας τόπου, διαβαθμισμένοι σε τρία επίπεδα πυκνότητας ( $p=G/G_{max}$ ), για συστάδες κλειστές (p09), μέτριας (p07) και ισχυρής αραιώσης (p05).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η μελέτη της αύξησης και της ικανότητας απόδοσης δασοσυστάδων ομηλικών και αμιγών συστάδων τραχείας πεύκης μέσα από διαδικασίες προσομοίωσης ακολουθώντας δυο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η μια αξιοποιεί τα δεδομένα της τρέχουσας προσαύξησης όγκου των συστάδων και η άλλη ακολουθεί τη λογική των αυξητικών σειρών. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο αυτών τεχνικών οφείλει να δώσει συμπεράσματα για τη δυναμική της αύξησης των συστάδων, καθώς και ενδείξεις για μελλοντικές βελτιώσεις στον τρόπο μελέτης των προβλημάτων αύξησης και απόδοσης των συστάδων.

## ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

*Η περιοχή έρευνας.* Τα δάση της Θάσου, όπου αναπτύχθηκε η παρούσα έρευνα, καταλαμβάνουν έκταση της τάξης των 10.000 ha, όπου και σχηματίζουν αμιγείς και ομήλικες συστάδες. Εκτείνονται δε από το επίπεδο της θάλασσας και μέχρι ένα υψόμετρο της τάξης των 500 μ.υ.ύ. Αποτελούν αντικείμενο καλλιέργειας και οργανωμένης εκμετάλλευσης για παραγωγή τεχνικής ξυλείας από τη 10ετία του '50.

*Υπάρχουσα υποδομή.* Στο πλαίσιο της παρούσης έρευνας αξιοποιούνται υφιστάμενα και ισχύοντα για την περιοχή έρευνας πρότυπα, όπως είναι οι μαζοπίνακες (εξ. 1 και 2) (Γκατζογιάννης, 2019):

$$(1) v=0,0034+0,00002919*d^2*h,$$

$$(2) va=0,0114+0,00003271*da^2*h$$

και το σύστημα σταθμοδεικτικών καμπυλών (SIS: Site Index System) (Gatzojannis et al, 2015).

Το σύστημα αυτό προέκυψε από αναλύσεις κορμών κυριαρχούντων και συγκυριαρχούντων δένδρων τραχείας πεύκης της περιοχής έρευνας και αποδίδεται από την εξίσωση (3a):

$$(3a) Ho=1,3+32,207/(1-(1-32,207/(SI_{50}-1,3))^{50/A^{1,238}})$$

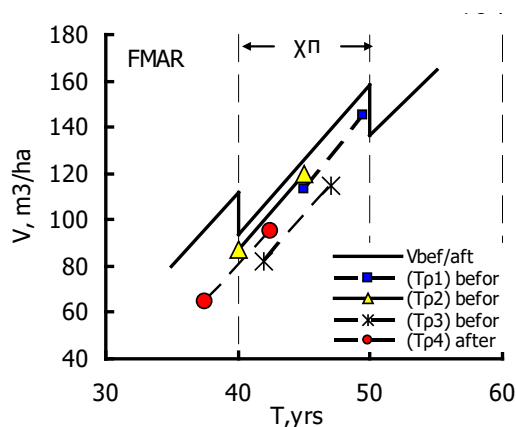
$$(3b) A=T - 1,3*(2,95+34,105/SI_{30})$$

Η σχέση μεταξύ στηθαίας (A) και πραγματικής (T) ηλικίας (εξίσ. 3b), που συνοδεύει το σύστημα αυτό, δίνει τη δυνατότητα μετασχηματισμού του SIS σε δέσμη καμπυλών εξέλιξης του ανώτερου ύψους (Ho) ως συνάρτηση της ηλικίας (T) και του δείκτη ποιότητας τόπου ( $SI_{50}$ ) των συστάδων τραχείας πεύκης (εξίσωση 4)

$$(4) Ho=f(T, SI_{50})$$

Η δέσμη καμπυλών ύψους, την οποία δίνει η εξίσωση αυτή, αποτελεί τη βάση για δυναμική ερμηνεία και των υπολοίπων δασοαποδοτικών μεγεθών, όπως G, V, N, Dg, τα οποία συνδέονται άμεσα με το ανώτερο ύψος (Ho) των συστάδων.

Υλικό: Το βασικό υλικό της έρευνας αποτέλεσε ένα δίκτυο 120 δοκιμαστικών επιφανειών (ΔΕ), κυκλικής διατομής και μεγέθους 0,1 ha, συστηματικά κατανεμημένων στην περιοχή έρευνας. Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν σε κάθε ΔΕ περιλαμβάνουν δυο ομάδες πληροφοριών. Η πρώτη αφορά στην παχυμέτρηση όλων των δένδρων κάθε ΔΕ και την κατανομή τους κατά βαθμίδες διαμέτρου. Η δεύτερη αναφέρεται σε υπο-δείγμα 6 δοκιμαστικών κορμών (ΔΚ) εντός της ΔΕ, συστηματικά (κατά το δυνατόν) κατανεμημένων εντός της κατανομής και περιλαμβάνει τις μετρήσεις διαμέτρου (d) ύψους (h) πάχους φλοιού (fl) και προσαύξηση διαμέτρου (zr). Τέσσερα από τα δένδρα αυτά έπρεπε να ανήκουν δεσμευτικά στην κυριαρχούσα συστάδα ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ηλικίας κυριαρχούσας συστάδας (Tk) και του δείκτη ποιότητας τόπου ( $SI_{50}$ ). Τα βασικά στατιστικά των μετρήσεων στους ΔΚ δίνονται στον πίνακα I, αφού διακρίθηκαν δυο ομάδες δεδομένων: α) των ΔΕ που προέρχονται από συστάδες στις οποίες δεν έγιναν αραιώσεις κατά την τελευταία 5ετία πριν την απογραφή (72 ΔΕ) (stands before thinnings) (βλ. (Tr1), (Tr2) και (Tr3) before στο σχήμα 1) και β) των ΔΕ που προέρχονται από συστάδες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν αραιώσεις στην αντίστοιχη περίοδο ((Tr4) after στο σχήμα 1).



135

**Σχήμα 1.** Το χρονικό σημείο (μεταξύ δυο διαδοχικών αραιώσεων) λήψης του τρυπανιδίου σε σχέση με την πορεία αύξησης του ξυλαποθέματος μιας συστάδας (χπ= χρόνος περιφοράς αραιώσεων)  
**Figure 1.** The temporal points (between two successive thinning events) of core sampling in relation to the stand volume (χπ = Thinning Rotation Period)

Ατομικά πρότυπα και εκτίμηση της τρέχουσας αύξησης. Με το σύνολο των παρατηρήσεων (410+271=681 ΔΚ) αναπτύχθηκαν τα ατομικά πρότυπα 5, 6α και 6β που μας δίνουν το πάχος φλοιού (fl) συναρτήσει της διαμέτρου (d) και του ολικού ύψους των δένδρων (h, ha) συναρτήσει της διαμέτρου (έμφλοιας d και άφλοιας da) και των δεικτών Tk (μέσης ηλικίας των 4 κυρίαρχων δένδρων) και SI<sub>50</sub> (δείκτης ποιότητας τόπου) της δοκιμαστικής επιφάνειας.  
 (5) fl=f(d)

$$(6a) h=f(d, SI_{50}, Tk),$$

$$(6b) ha=f(da, SI_{50}, Tk)$$

Με τις παρατηρήσεις της ομάδας α) του πίνακα Ι αναπτύχθηκε η εξίσωση προσαύξησης διαμέτρου σύμφωνα με το πρότυπο (7).

$$(7) zd=f(d, SI_{50}, Tk, BAL),$$

όπου BAL<sup>1</sup> η εγκάρσια κυκλική επιφάνεια του συνόλου των δένδρων που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη αυτής του δένδρου αναφοράς (συμπεριλαμβανομένων και των δένδρων της ίδιας βαθμίδας διαμέτρου). Για την εξίσωση αυτή εξετάστηκαν επίσης διάφοροι άλλοι δείκτες ανταγωνισμού και πυκνότητας, όπως: d/Dg, d/Do, SDI=N\*(25/Dg)<sup>-1.605</sup>, RD= G/Dg<sup>0.5</sup> (Curtis, 1982) και χρησιμοποιήθηκαν γραμμικές διαδικασίες παλινδρόμησης.

Εκτίμηση της προσαύξησης όγκου των ΔΕ. Με τη βοήθεια της εξίσωσης 6α αναπτύχθηκαν δέσμες καμπυλών ύψους<sup>2</sup> (Σχ. 2), οι οποίες δείχνουν, για δεδομένο δείκτη ποιότητας τόπου (SI<sub>50</sub>), την εξάρτηση/συμμεταβολή του ύψους συναρτήσει της διαμέτρου και ταυτόχρονα τη μετατόπιση των καμπυλών ύψους ανάλογα με την ηλικία. Οι δέσμες αυτές δημιουργούν ένα σύστημα ταριφών ύψους (Γκατζογιάννης, 2020 και 2024) διαμορφώνοντας ταυτόχρονα και την εικόνα δυναμικής εξέλιξης του ύψους ατομικά των δένδρων αλλά και των συστάδων συνολικά.

Κάθε ΔΕ εντάσσεται στο σύστημα αυτό με τη βοήθεια των ζευγών τιμών (d/h) και επιλέγεται η καμπύλη Htar που προσαρμόζεται στα δεδομένα των παρατηρήσεων (d/h) ελαχιστοποιώντας τα τετράγωνα των

1. BAL : Basal Area of the largest trees (Gadow, 2003, s.98).

2. Καλούνται εδώ και ως συστήματα ταριφών ύψους (βλ. Prodan 1965, σελ. 252).

**Πίνακας Ι.** Βασικά στατιστικά των μετρήσεων στους κορμούς (ΔΚ) κάθε ΔΕ

**Table I.** Basic statistics of measurements on the stems of each plot

|                                                                 | Αριθμός μετρήσεων σε ΔΚ (n) | Min  | Max  | Mean  | Std. Dev. |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|------|-------|-----------|
| <i>α) Μετρήσεις σε ΔΚ συστάδων πριν από την αραιώση (72 ΔΕ)</i> |                             |      |      |       |           |
| d (cm)                                                          | 410                         | 8,0  | 57,0 | 29,3  | 10,86     |
| h (m)                                                           | 410                         | 4,50 | 30,0 | 15,52 | 4,57      |
| fl(mm)                                                          | 410                         | 2,00 | 75,0 | 27,39 | 11,93     |
| zr (mm/5yrs)                                                    | 410                         | 1,0  | 12,0 | 4,9   | 2,61      |
| <i>β) Μετρήσεις σε ΔΚ συστάδων μετά την αραιώση (48 ΔΕ)</i>     |                             |      |      |       |           |
| d (cm)                                                          | 271                         | 9,0  | 54,0 | 27,85 | 9,94      |
| h (m)                                                           | 271                         | 6,5  | 27,0 | 16,16 | 4,35      |
| fl (mm)                                                         | 271                         | 4,0  | 58,0 | 27,41 | 10,77     |
| zr (mm/5yrs)                                                    | 271                         | 1,0  | 12,0 | 5,22  | 2,46      |

αποκλίσεων των πραγματικών από τις θεωρητικές τιμές της καμπύλης που επιλέχθηκε ( $\sum(h_{obs} - h_{est})^2 \Rightarrow \min$ ). Με δεδομένη πλέον την καμπύλη ύψους κάθε ΔΕ υπολογίζονται τα ύψη που αντιστοιχούν στις διάφορες βαθμίδες διαμέτρου της ΔΕ και με τη βοήθεια των εξισώσεων όγκου το ξυλαπόθεμα των βαθμίδων και συνολικά της ΔΕ<sup>3</sup>. Δίνεται επίσης η δυνατότητα υπολογισμού και χαρακτηριστικών μεγεθών των συστάδων όπως είναι το μέσο  $Hm=f(Dg)$  και ανώτερο  $Ho=f(Do)$  ύψος των συστάδων.

Με την επιλογή της καμπύλης  $Htar$  ορίζεται ταυτόχρονα και η ηλικία  $Tar$ , ως διαχειριστική ηλικία<sup>4</sup>, για να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως στοιχείο εισαγωγής στην εξίσωση (6b).

Με την εξίσωση (5) υπολογίζεται η άφροια διάμετρος ( $da$ ) των κορμών κάθε βαθμίδας διαμέτρου και με την εξίσωση (7) η προσαύξηση διαμέτρου και κατ' επέκταση η άφροια διάμετρος των δένδρων προ δετίας ( $da5 = da - zd$ ).

Με εισαγωγή της ηλικίας  $Tar$  και αυτής προ δετίας  $Tar(5)=Tar-5$  στην εξίσωση (6b) προσδιορίζονται: τα ύψη ( $ha$  και  $ha5$ ) για άφροιες διαμέτρους ( $da$ ) και ( $da5$ ), οι άφροιοι όγκοι των δένδρων ( $va$ ) και προ δετίας ( $va5$ ), η προσαύξηση όγκου των δένδρων ( $zv=va-v5$ ) και της ΔΕ συνολικά ( $Zv=(Va-Va5)/5$ ,  $m^3/ha, yr$ ), καθώς και η προσαύξηση ύψους ( $zh=(h-ha5)/5$ ,  $m/yr$ )

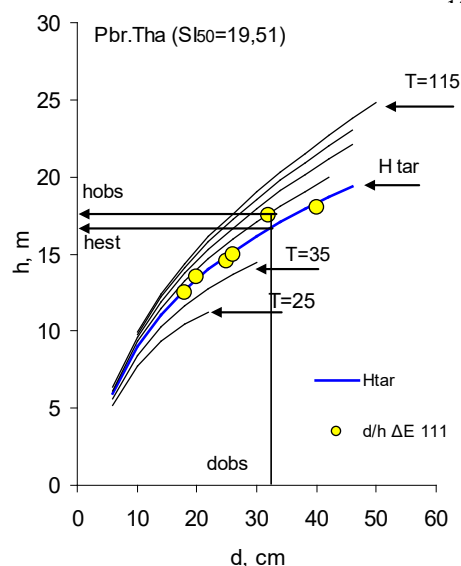
3. Μέθοδος της «ενιαίας καμπύλης ύψους» (UHC: The uniform height curve method for height-diameter modeling) (Huang et al., 2000, Arcangeli et al., 2014).

4. Η ηλικία  $Tar$  χαρακτηρίζεται ως διαχειριστική ηλικία και είναι ταυτόσημη με το χρόνο (έτη) που χρειάζονται τα κυρίαρχα δένδρα της ΔΕ να αποκτήσουν ένα δεδομένο ύψος.

## Πίνακας II. Βασικά στατιστικά μεταβλητών των ΔΕ

Table II. Base statistics of the plots

| Κριτήρια  |                                                                   | N   | Min   | Max    | Mean   | St. Dev |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|-----|-------|--------|--------|---------|
| $SI_{50}$ | Δείκτης ποιότητα τόπου                                            | 120 | 10,87 | 25,98  | 18,36  | 3,01    |
| Tk        | Ηλικία κυριαρχούσας συστάδας (έτη)                                | 120 | 27,24 | 97,87  | 57,62  | 15,66   |
| G         | Εγκάρσια κυκλική επιφάνεια ( $m^2/ha$ )                           | 120 | 11,84 | 46,98  | 28,22  | 7,56    |
| N         | Αριθμός κορμών ( $N/ha$ )                                         | 120 | 110   | 2800   | 559    | 416,4   |
| dg        | Μέση διάμετρος $Dg=(G/\pi/4*N)^{0.5}$                             | 120 | 10,61 | 53,46  | 28,57  | 8,03    |
| do        | Η μέση (κατά κυκλ. επιφάνεια) των 20% γονιρότερων δένδρων κάθε ΔΕ | 120 | 14,32 | 63,33  | 41,58  | 10,16   |
| Hm        | Μέσο ύψος συστάδας (m)                                            | 120 | 6,79  | 27,25  | 15,98  | 3,52    |
| Ho        | Ανώτερο ύψος συστάδας (m)                                         | 120 | 8,69  | 28,98  | 19,26  | 3,85    |
| zho/Ho    | Λόγος της τρ. προσαύξησης ύψους του ανώτερου κορμού προς Ho       | 116 | 0,023 | 0,026  | 0,0796 | 0,0038  |
| V         | Ξυλαπόθεμα ( $m^3/ha$ )                                           | 120 | 36,00 | 378,66 | 186,13 | 65,9    |
| Zv        | Τρέχουσα προσαύξηση όγκου ( $m^3/ha, yr$ )                        | 120 | 1,09  | 6,51   | 2,99   | 1,10    |
| SDI       | Δείκτης πυκνότητας συστάδων                                       | 120 | 249,5 | 909,7  | 554,0  | 149,08  |



Σχήμα 2. Σύστημα ταριφών ύψους (δέσμες καμπυλών ύψους) και ένταξη των δοκιμαστικών επιφανειών στο σύστημα αυτό ( $d/h$ : διάμετρος/ ύψος ΔΚ της ΔΕ 111).

**Figure 2.** Height tariff system (height curve bundles) and integration of plots into this system ( $d/h$ : diameter/ height of the plot 111)

τόσο για κάθε βαθμίδα ύψους των ΔΕ, όσο και για χαρακτηριστικούς κορμούς των ΔΕ όπως είναι αυτοί της μέσης διαμέτρου  $Dg$  και της διαμέτρου του ανώτερου κορμού  $Do$ .

Συσταδικά πρότυπα. Με βάση τα αποτελέσματα επεξεργασίας των ΔΕ δημιουργήθηκε ένα νέο πακέτο δεδομένων που δίνεται στον πίνακα II και αναπτύχθηκαν με διαδικασίες γραμμικής παλινδρόμησης τα ακόλουθα συσταδικά πρότυπα:

- (8)  $G.sdi = f(SDI, Ho)$
- (9)  $V = f(G, Ho)$
- (10)  $Zv/V = f(Ho, Zh/Ho, SI_{50})$
- (11)  $Dg = f(Ho, SI_{50}, SDI)$
- (12)  $Do = f(Ho, SI_{50})$
- (13)  $Hm = f(Ho, SI_{50})$

Απόκτηση γραμμών μέγιστης πυκνότητας. Οι σχέσεις που συνδέουν τον αριθμό δένδρων N/ha με τη μέση διάμετρο των συστάδων (Dg) και την εγκάρσια κυκλική επιφάνεια (G, m<sup>2</sup>/ha) με το ανώτερο ύψος (Ho) των συστάδων δίνουν και τις γραμμές μέγιστης πυκνότητας των συστάδων.

Οι γραμμές αυτές δημιουργούν ένα είδος οροφής των παρατηρήσεων και αποκτώνται με διαδικασίες παλινδρόμησης ποσοστημορίων με το πρόγραμμα Gretl (2020) και με τις εξισώσεις 14 και 15 αντίστοιχα:

(14)  $\ln N.99 = bo + b1 * \ln Dg$  (για  $\tau = 0,99$ )

(15)  $Gmax.99 = bo + b1/Ho$  (για  $\tau = 0,99$ )

Η εξίσωση (14) δίνει (μετά από μετασχηματισμό) τη γραμμή οροφής των παρατηρήσεων N/Dg σύμφωνα με τη σχέση (14a).

(14a)  $Nmax.99 = \exp(b0 + b1 * \ln Dg)$

Η γραμμή αυτή ως γραμμή μέγιστης πυκνότητας σε όρους N/Dg καλείται και γραμμή αυτοαραίωσης των συστάδων, με την έννοια ότι οι συστάδες που αποκτούν τη μέγιστη αυτή πυκνότητα ακολουθούσαν μια

φυσική πορεία εξέλιξης χωρίς η πορεία αυτή να έχει επηρεαστεί σημαντικά από καλλιεργητικές επεμβάσεις (αραιώσεις) του παρελθόντος.

Για την εξίσωση (14) έχει διατυπωθεί (Reinecke, 1933) ότι ο συντελεστής b1 είναι σταθερός και ίσος με -1,605 για κλειστές και ακαλλιέργητες συστάδες παίρνοντας τη μορφή της εξίσωσης 14b

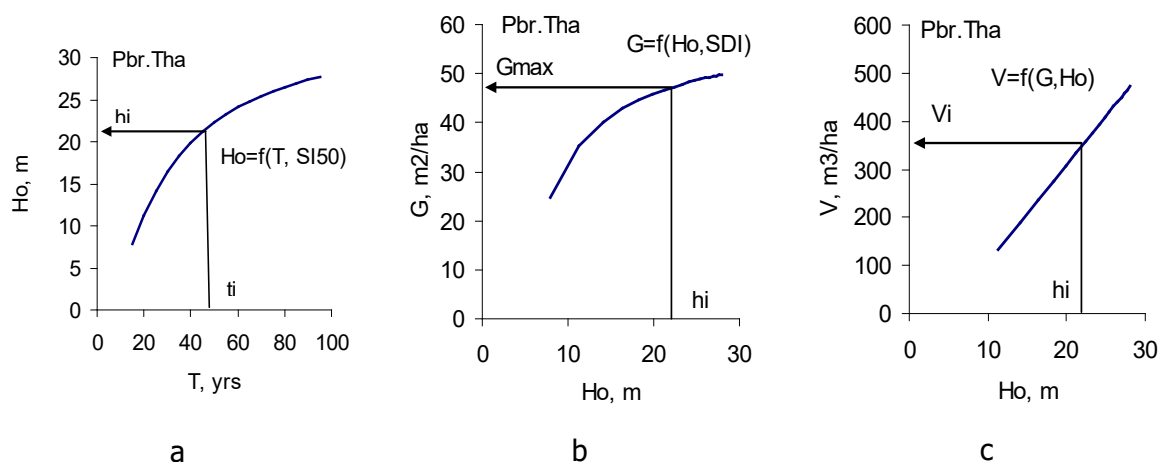
(14b)  $Nmax.R = \exp(bo - 1.605 * \ln Dg)$

Αυτή η παραδοχή έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη του γνωστού δείκτης πυκνότητας των συστάδων  $SDI = N * (25/Dg)^{-1.605}$ , ο οποίος χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα (Kramer, 1988, s. 185, Dahlhausen et al 2017, Andrius et al 2018, Curtis L., V., 2019) για να χαρακτηρίσει την πυκνότητα των συστάδων κατά τρόπο ανεξάρτητο από ποιότητα τόπου και ηλικία των συστάδων. Η χρησιμοποίηση σταθερής διαμέτρου  $dg = 25$  cm ως σημείου αναφοράς δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της μέγιστης τιμής Nmax μέσω της εξίσωσης (14a ή 14b) και κατ' επέκταση της τιμής  $SDI_{max} = Nmax$  για  $Dg = 25$  cm.

Οι γραμμές οροφής, για το νέφος των παρατηρήσεων G/Ho, μπορούν, παράλληλα με τις γραμμές παλινδρόμησης ποσοστημορίων (εξίσ. 15), να παραχθούν και με την εξίσωση (8) αν χρησιμοποιηθούν μέγιστες τιμές SDI που συνοδεύουν τις παρατηρήσεις ή που προκύπτουν από την εξίσωση 14a ή 14b για  $Dg = 25$ .

Διαδικασία προσομοίωσης. Η προσομοίωση της αύξησης αφορά κατ' αρχήν συστάδες μέγιστης δυνατής πυκνότητας για να ακολουθήσουν σε δεύτερο επίπεδο εκτιμήσεις για συστάδες διαφόρων επιπέδων πυκνότητας.

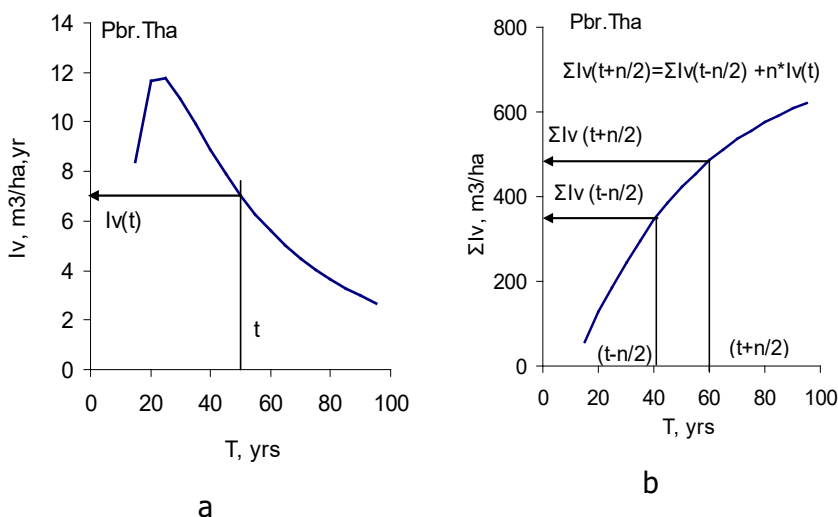
Οι εξισώσεις (4):  $Ho = f(T, SI_{50})$ , (8):  $G = f(SDI,$



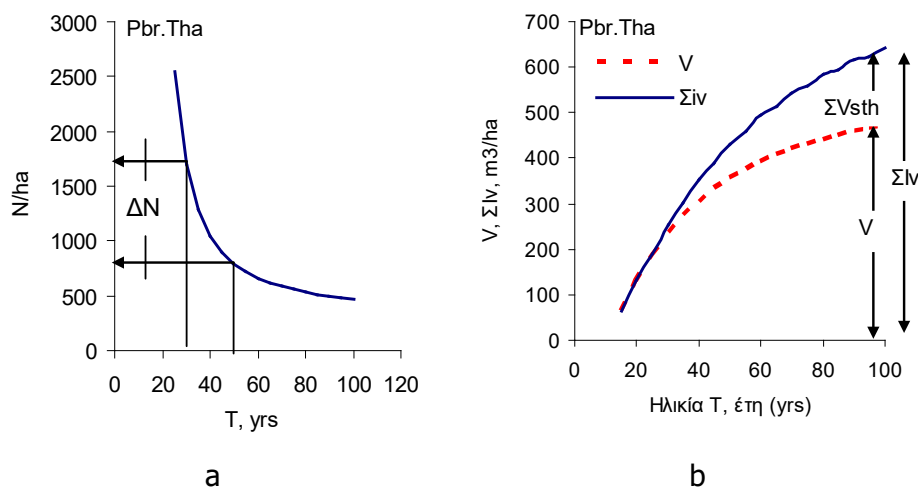
**Σχήμα 3.** Οι βασικές σχέσεις του συστήματος προσομοίωσης

**Figure 3.** The basic relationships of the simulation system





**Σχήμα 4.** Η τρέχουσα προσαύξηση όγκου (a) συναρτήσει της ηλικίας  $Iv=f(T)$ , ως παράγωγος της συνολικής προσαύξησης όγκου των συστάδων ( $\Sigma Iv$ ) (b)  
**Figure 4.** The current volume increment (a) in relation to age  $Iv=f(T)$ , as a derivative of the total volume increment/ total yield of the stands ( $\Sigma Iv$ ) (b)



**Σχήμα 5.** Η πτώση του αριθμού κορμών ( $\Delta N$ ) συναρτήσει της ηλικίας ως μέσο για την εκτίμηση των δένδρων που ξεραίνονται ( $Nsth$ ) (mortality) εξαιτίας του ανταγωνισμού ( $\Delta N=Nsth$ ) (a) και (b) η συνολική προσαύξηση όγκου ως άθροισμα του ξυλαποθέματος (πριν από την αραίωση) ( $Vbef$ ) και του συνολικού όγκου των κορμών της αυτοαραίωσης ( $\Sigma Vsth$ ) ( $\Sigma Vsth= V+ \Sigma Vsth$ )  
**Figure 5.** The decline in stem number ( $\Delta N$ ) in relation to age as a means to estimate mortality ( $Nsth$ ) due to competition ( $\Delta N=Nsth$ ) (a), and (b) the total volume increment as the sum of the pre-harvest volume ( $Vbef$ ) and the total volume of self-thinning stems ( $\Sigma Vsth= V+ \Sigma Vsth$ )

$H_0$ ) και (9):  $V=f(G, H_0)$ , όπως αποτυπώνονται στα διαγράμματα του σχήματος 3, επιλέχθηκαν ως οι βασικές σχέσεις του συστήματος προσομοίωσης για να αποτελέσουν την αφετηρία υλοποίησης των δυο διαδρομών προσομοίωσης που ακολουθούν. Συνιστούν

δε μια ακολουθία με την έννοια ότι, για μια συστάδα δεδομένης ηλικίας ( $t_i$ ) και ποιότητας τύπου ( $SI_{50}$ ), η εξίσωση 4 δίνει το ανώτερο ύψος ( $h_i$ ) (Σχ. 3a) για να χρησιμοποιηθεί στην εξίσωση 8 και να δώσει την  $G_{max}$  (Σχ. 3b). Με βάση τις εκροές αυτές ( $h_i$  και

Gmax ακολουθεί ο υπολογισμός του ξυλαποθέματος μέσω της σχέσης 9 (Σχ. 3c).

Προσομοίωση με βάση την τρέχουσα προσαύξηση όγκου (Gatz Simulation). Έχοντας ως δεδομένες τις ως άνω βασικές σχέσεις (4, 8 & 9), η εξίσωση (10) δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της τρέχουσας προσαύξησης όγκου  $I_v = V * Z_v / V$  και απόκτησης των καμπυλών τρέχουσας προσαύξησης όγκου (Σχ. 4a), από την ολοκλήρωση των οποίων προκύπτει και η συνολική προσαύξηση (ΣIv) των συστάδων, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4b.

Προσομοίωση με τη λογική των αυξητικών σειρών (GS: Growth Series Simulation). Με δεδομένη την Gmax μιας ΔΕ (Σχ. 3b), η εξίσωση (11)  $Dg = f(Ho, SI_{50}, SDI)$  δίνει, για SDI<sub>max</sub>, τη δυνατότητα υπολογισμού των γραμμών μέγιστης πυκνότητας ή/και αυτοαραίωσης  $N = f(T)$  μέσω της σχέσης  $N = G / (0,7854 * Dg^2)$  (Σχ. 5a).

Η γραμμή αυτή δίνει την εξέλιξη των δένδρων που επιβιώνουν στην πορεία αύξησης των συστάδων, ενώ ο ρυθμός απομείωσης αυτού (συναρτήσει της ηλικίας) τον αριθμό των δένδρων της αυτοαραίωσης ( $N_{sth} = \Delta N$  στο σχήμα 5a). Ο όγκος των δένδρων αυτοαραίωσης υπολογίζεται κατόπιν σύμφωνα με τη σχέση  $V_{sth} = N_{sth} * v_m * k$ , όπου  $v_m$  ο όγκος του μέ-

σου κορμού ( $V/N$ ) και  $k$  συντελεστής που εκφράζει το λόγο του όγκου του μέσου κορμού των αραιώσεων ( $Vdf/Ndf$ ) προς αυτόν της κύριας συστάδας ( $V/N$ ) και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (17)

$$(17) k = (N_{df}/N)^{b/c},$$

όπου:  $Ndf$  = Αριθμός δένδρων αραιώσεως που στις συστάδες αυτοαραίωσης γίνεται  $N_{sth}$ ,  $b = \ln(N^2/3000)/\ln V$ ,  $c$ : συντελεστής που λαμβάνει τιμές 2 έως 7 ανάλογα με την ένταση των αραιώσεων (Magin, 1963, Marschall, 1975, s.171, Kramer, 1988, s.98).

Η συνολική προσαύξηση των συστάδων (ΣIv) υπολογίζεται κατόπιν από το άθροισμα του ξυλαποθέματος ( $V$ ) που έχουν οι συστάδες σε μια δεδομένη ηλικία ( $T$ ) και του συνολικού όγκου των δένδρων που αφαιρέθηκαν μέσω των αραιώσεων ή της αυτοαραίωσης μέχρι την ηλικία αυτή ( $\Sigma V_{sth}$ ), δηλαδή από τη σχέση (18) (Σχ. 5b).

$$(18) \Sigma Iv = V + \Sigma V_{sth}$$

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

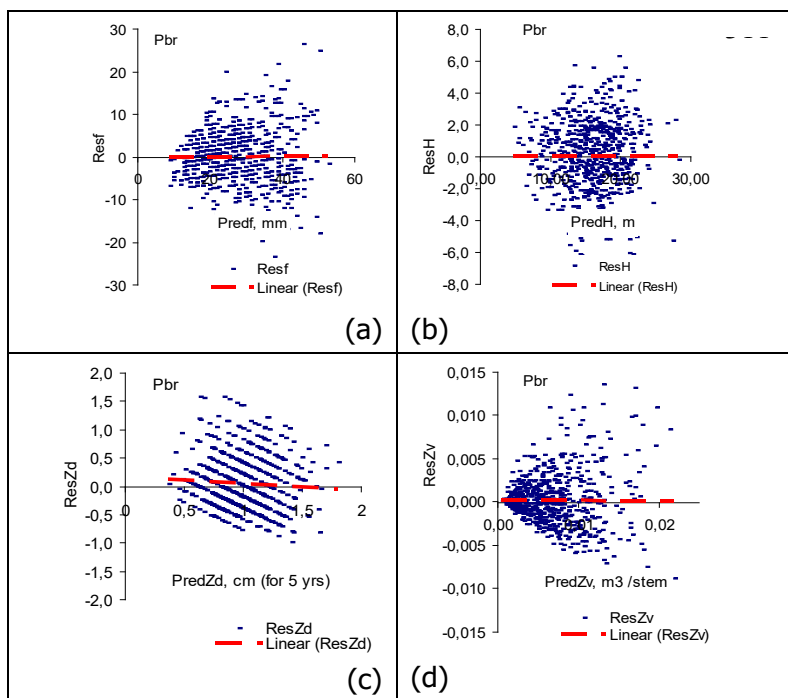
α) Οι εξισώσεις: Οι εξισώσεις που αναπτύχθηκαν στην παρούσα εργασία, μαζί με τα αποτελέσματα παλινδρόμησης δίνονται στον πίνακα III, ενώ διαγράμματα των αποκλίσεων για τα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης στα σχήματα 6 και 7.

**Πίνακας III.** Εξισώσεις με αποτελέσματα παλινδρόμησης

**Table III.** Equations and regression results

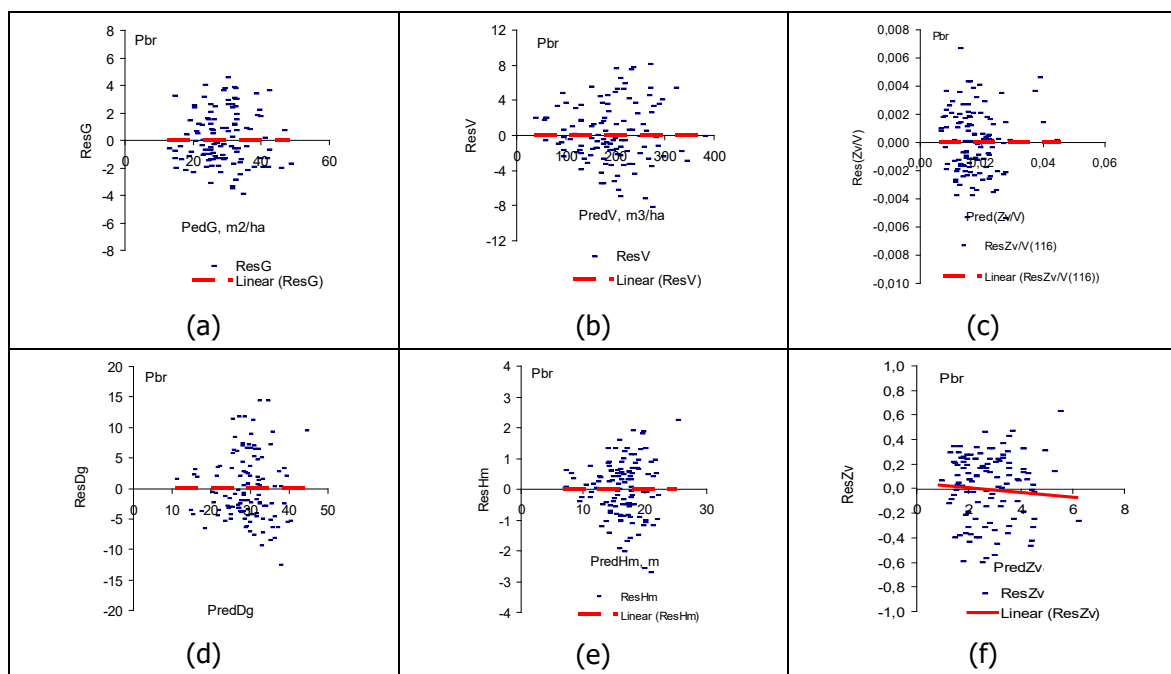
| Εξισώσεις                                                           |                                                                                          | n   | R2                                   | SEE    | F        |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------|--------|----------|
| I                                                                   |                                                                                          | 2   | 3                                    | 4      | 5        |
| a) Ατομικά πρότυπα (σε επίπεδο ΔΚ) - individual tree-models         |                                                                                          |     |                                      |        |          |
| 5                                                                   | $fl = 1,618 + 0,897 * d$                                                                 | 681 | 0,69                                 | 6,634  | 1419***  |
| 6a                                                                  | $h = -15,371 + 5,499 * \ln(d) + 0,572 * SI_{50} + 0,414 * d - 1,092 * d / Tk^{0.3}$      | 681 | 0,75                                 | 2,252  | 507***   |
| 6b                                                                  | $ha = -16,040 + 6,592 * Lnda + 0,572 * SI_{50} - 1,510 * da / Tk^{0.3} + 0,495 * da$     | 681 | 0,74                                 | 2,286  | 487***   |
| 7                                                                   | $Zd(bef, Tk) = 0,415 - 0,011 * Gbal + 0,0279 * SI_{50} - 0,00037 * d^2 + 1,236 * d / Tk$ | 410 | 0,233                                | 0,458  | 31***    |
| b) Συνταδικά πρότυπα (σε επίπεδο ΔΕ/ συστάδων) - stand level-models |                                                                                          |     |                                      |        |          |
| 8                                                                   | $G.sdi = 2,647 + 0,063 * SDI - 0,306 * SDI / Ho$                                         | 120 | 0,93                                 | 2,06   | 742***   |
| 9                                                                   | $V = -0,622 + 0,335239 * G * Ho + 0,000234 * Ho^3$                                       | 120 | 0,997                                | 3,672  | 19093*** |
| 10                                                                  | $Zv/V = -0,10129 + 0,15852 * SI_{50} * (Zh/Ho) + 0,28319 / Ho^{0.3} - 2,71701 * (Zh/Ho)$ | 116 | 0,900                                | 0,0023 | 337***   |
| 11                                                                  | $Dg = -1,881 + 2,514 * Ho - 0,0378 * SI_{50} * Ho - 0,00763 * SDI$                       | 120 | 0,66                                 | 4,8488 | 70***    |
| 12                                                                  | $Do = -5,162 + 3,527 * Ho - 0,05906 * SI_{50} * Ho$                                      | 120 | 0,70                                 | 5,64   | 134***   |
| 13                                                                  | $Hm = -2,328 + 0,831 * Ho + 0,125 * SI_{50}$                                             | 120 | 0,93                                 | 0,923  | 806***   |
| c. Εξισώσεις μέγιστης πυκνότητας με παλινδρόμηση ποσοστημοριών      |                                                                                          |     |                                      |        |          |
| 14                                                                  | $\ln N_{.99} = 11,861 - 1,5696 * \ln Dg$                                                 | 120 | StDev=0,60, MSQR <sup>5</sup> =0,598 |        |          |
| 15                                                                  | $Gmax_{.99} = 58,614 - 278,187 / Ho$                                                     | 120 | StDev=7,56, MSQR=16,78               |        |          |

5.  $MSQR = (\Sigma(Yobs - Yest)^2 / n)^{0.5}$



**Σχήμα 6** Κατανομή των αποκλίσεων μεταξύ των προβλέψεων και των πραγματικών παρατηρήσεων των ατομικών προτύπων (a,b,c, των εξισώσεων 5, 6a και 7 αντίστοιχα), καθώς και των προβλέψεων προσαύξησης όγκου (d) (PredZv) μετά την εφαρμογή του μοντέλου 7 σε συνδυασμό με το σύστημα ταριφών ύψους

**Figure 6.** Residuals distribution of the individual models 5, 6a, and 7 respectively, as well of the volume increment predictions (PredZv) after applying model 7 in conjunction with the height tariff system



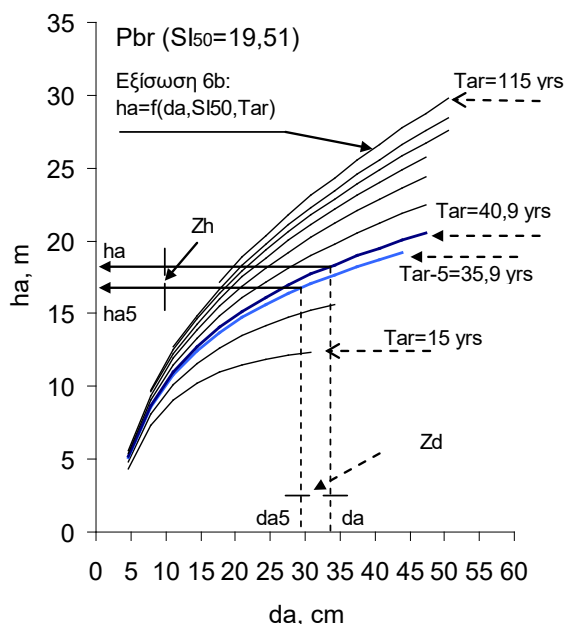
**Σχήμα 7.** Κατανομή των αποκλίσεων μεταξύ των προβλέψεων και των πραγματικών παρατηρήσεων των συσταδικών προτύπων (διαγρ. a,b,c,d,e των εξισ. 8,9,10,11 και 13 αντίστοιχως), καθώς και των προβλέψεων της προσαύξησης όγκου PredZv των δοκιμαστικών επιφανειών (διάγρ. f)

**Figure 7.** Residuals distribution of the stand level models (diagr. a,b,c,d,e of the equations 8,9,10,11 and 13 respectively), as well of the volume increment predictions (PredZv) of the plots (diagr. f)

β) Το σύστημα ταριφών ύψους και η εκτίμηση της τρέχουσας προσαύξεσης όγκου των ΔΕ. Με τη βοήθεια των εξισώσεων (5) και (7) υπολογίστηκε η άφλοια διάμετρος ( $da=d-2*H/10$ ) και η αντίστοιχη προ 5ετίας ( $da5=da-zd$ ) για κάθε βαθμίδα διαμέτρου των ΔΕ. Ακολούθως, εφαρμόστηκε η εξίσωση (6b) για τον υπολογισμό των υψών  $ha$  και  $ha5$  που αντιστοιχούν στις διαμέτρους  $da$  και  $da5$  (Σχ. 8) χρησιμοποιώντας στα στοιχεία εισαγωγής της εξίσωσης 6b τις ηλικίες  $T_k=Tar$  και  $T_k=Tar-5$  αντίστοιχα, όπως αυτές προέκυψαν από την ένταξη κάθε ΔΕ στο σύστημα υψοκαμπυλών (Σχ. 2).

Εν συνεχεία υπολογίστηκαν η τρέχουσα προσαύξηση ύψους κάθε βαθμίδας ( $zh=(ha-ha5)/5$ ) (Σχ.8) και οι άφλοιοι όγκοι  $Va$  και προ 5ετίας  $Va5$ , με τη βοήθεια των μαζοπινάκων (εξίσ. 2:  $va=f(da,ha)$ ) και η τρέχουσα προσαύξηση όγκου κατά βαθμίδες διαμέτρου και συνολικά της ΔΕ ( $Zv=(Va-Va5)/5$ ).

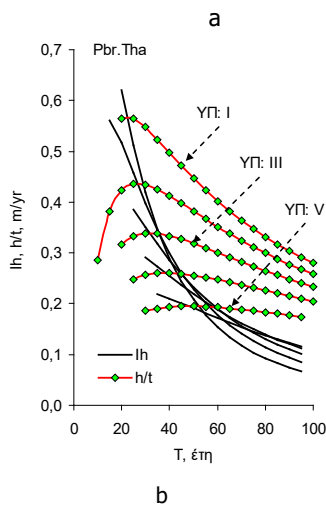
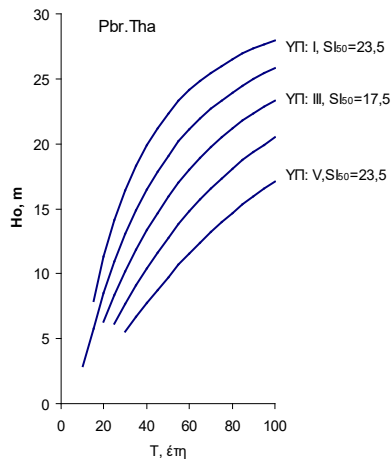
γ) Ανάπτυξη βασικών σχέσεων του συστήματος. Από τη σχέση μεταξύ στηθαίας (A) και πραγματικής (T) ηλικίας (εξίσ. 3b), που συνοδεύει το σύστημα



**Σχήμα 8.** Οι δέσμες καμπυλών ύψους ως υποδομή για την εκτίμηση των υψών ( $ha$  και  $ha5$ ) και της προσαύξεσης ύψους ( $zh=ha-ha5$ ) για κάθε βαθμίδα διαμέτρου των ΔΕ

**Figure 8.** Height curve bundles as a framework for estimating the height increment ( $zh=ha-ha5$ ) for each diameter class

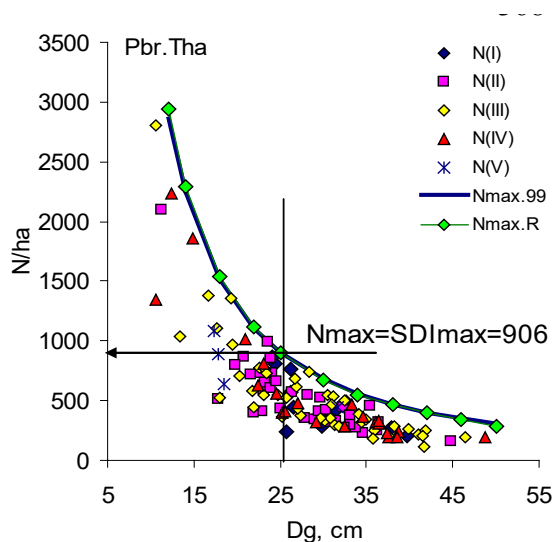
σταθμοδεικτικών καμπυλών (εξίσ. 3a) προέκυψε η δέσμη καμπυλών εξέλιξης του ανώτερου ύψους (εξίσ. 4) (Σχ. 9a) και της τρέχουσας και μέσης αύξησης (Σχ.9b) συναρτήσει της ηλικίας (T) και της ποιότητας τόπου (ΥΠ: Υψοποιότητας)<sup>6</sup> των συστάδων τραχείας πεύκης.



**Σχήμα 9.** Καμπύλες ανώτερου ύψους ( $Ho$ ) (a) και τρέχουσας ( $Ih$ ) και μέσης ( $h/t$ ) προσαύξεσης ανώτερου ύψους (b) συστάδων τραχείας πεύκης συναρτήσει της ηλικίας (T) και της ποιότητας τόπου (ΥΠ).

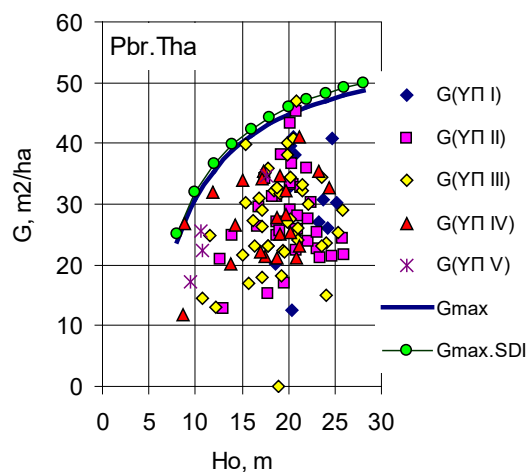
**Figure 9.** Curves of dominant height ( $Ho$ ) (a) and current ( $Ih$ ) and mean ( $h/t$ ) height increment (b) of *Pinus brutia* stands as a function of age (T) and site quality (ΥΠ)

6. Η Υψοποιότητα παρατηρείται εδώ ως έννοια ταυτόσημη με τον όρο ποιότητα τόπου, με τη μεταξύ τους διαφορά να εντοπίζεται στον τρόπο χρήσης αυτών (Γκατζογιάννης, 2023a)



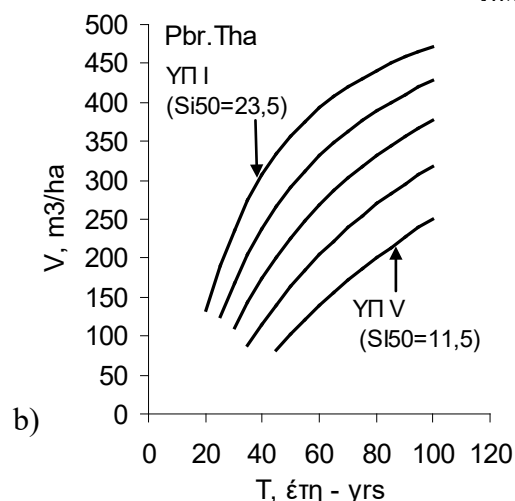
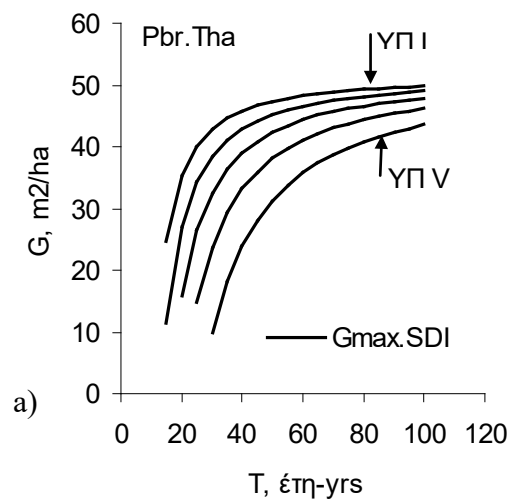
**Σχήμα 10.** Το νέφος διασποράς των παρατηρήσεων ( $N/Dg$ ) σε συνδυασμό με τη γραμμές οροφής ( $Nmax$  και  $Nmax.R$ ) των παρατηρήσεων ( $N/Dg$ )

**Figure 10.** The dispersion cloud of observations ( $N/Dg$ ) in combination with the upper limit lines ( $Nmax$  και  $Nmax.R$ ) of observations ( $N/Dg$ )



**Σχήμα 11.** Το νέφος διασποράς των παρατηρήσεων ( $G/Ho$ ), διαβαθμισμένων κατά ποιότητες τόπου [ $G(I)$ , ..  $G(V)$ ] σε συνδυασμό με τη γραμμή οροφής των παρατηρήσεων ( $Gmax$ )

**Figure 11.** The dispersion cloud of observations ( $G/Ho$ ), graded by site qualities [ $G(I)$ , ..  $G(V)$ ] in combination with the upper limit line of observations ( $Gmax$ )



**Σχήμα 12.** Η εξέλιξη της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας (a) και του ξυλαποθέματος (b) συναρτήσει της ηλικίας και της ποιότητας τόπου συστάδων μέγιστης πυκνότητας

**Figure 12.** The development of basal area (a) and volume (b) as a function of age and site quality of maximum density stands.

Στις δέσμες αυτές αποτυπώνεται η δυναμική της αύξησης του ανώτερου ύψους ( $Ho$ ) των συστάδων και αποτελεί τη βάση για δυναμική ερμηνεία και των υπολοίπων δασοαποδοτικών μεγεθών, όπως  $G$ ,  $V$ ,  $N$ ,  $Dg$ , τα οποία συνδέονται άμεσα με το ανώτερο ύψος ( $Ho$ ) των συστάδων.

Με τη βοήθεια της εξίσωσης 14 αναπτύχθηκε το διάγραμμα στο σχήμα 10, όπου απεικονίζεται η γραμμή οροφής ( $Nmax.99$ ) του νέφους διασποράς  $N/Dg$

Dg και ταυτόχρονα η γραμμή Reinecke ( $N_{max.R}=11,975 - 1,605 \cdot \ln Dg$ ).

Με τη βοήθεια των εξισώσεων (8)  $G_{sdi}=f(SDI, Ho)$ , για  $SDI=SDI_{max}=906$  και (15)  $G_{max.99}$  διαμορφώθηκαν οι γραμμές μέγιστης πυκνότητας σε όρους εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας ( $G_{ma}=f(Ho)$  στο σχήμα 11.

Από την καμπύλη (8)  $G=f(Ho, SDI)$  (για  $SDI_{max}$ ) και μέσω των καμπυλών ύψους (4)  $Ho=f(T, SI_{50})$  έγινε η μετάβαση στις καμπύλες αύξησης της  $G=f(T, SI_{50})$  και του ξυλαποθέματος  $V=f(T, SI_{50})$  (Σχήμα 12a,b).

δ) Προσομοίωση με βάση τη τρέχουσα προσαύξηση όγκου<sup>7</sup>: Έχοντας ως αφετηρία τις ως άνω τρεις βασικές σχέσεις (Σχ. 9a, 12a και 12b) δημιουργήθηκε ο

πίνακας IV, με στοιχεία εισαγωγής την ηλικία (T) και το ανώτερο ύψος ( $Ho$ ) για συστάδες μέγιστης πυκνότητας ( $SDI=906$ ) και ποιότητας τόπου I ( $SI_{50}=23,5$ ), ως ακολούθως: Η στήλη 2 ( $Ho$ ) έδωσε και την τάση αύξησης ύψους ( $Zh$ ) (στ.3) και κατά συνέπεια και το λόγο ( $Zh/Ho$ ), τον οποίο χρησιμοποιεί η εξίσωση (10) για την εξεύρεση του λόγου  $Zv/V$  στη στήλη 6. Η τρέχουσα προσαύξηση όγκου υπολογίστηκε κατόπιν από τη σχέση  $Iv=V \cdot (Zv/V)$  (στ. 7) (Σχ. 13a), από την ολοκλήρωση της οποίας προέκυψε η συνολική προσαύξηση στη στήλη 8 (Σχ.13b) [ $\Sigma Iv_{(t+n/2)} = \Sigma Iv_{(t-n/2)} + n \cdot Iv_{(t)}$ , όπου  $t$  =ηλικία αναφοράς της  $Iv$ ,  $n/2=5$  το εύρος των κλάσεων ηλικίας], καθώς και η μέση κατ' ηλικία προσαύξηση  $m.a.i = \Sigma Iv/T$  στη στήλη 9 (Σχ. 13c).

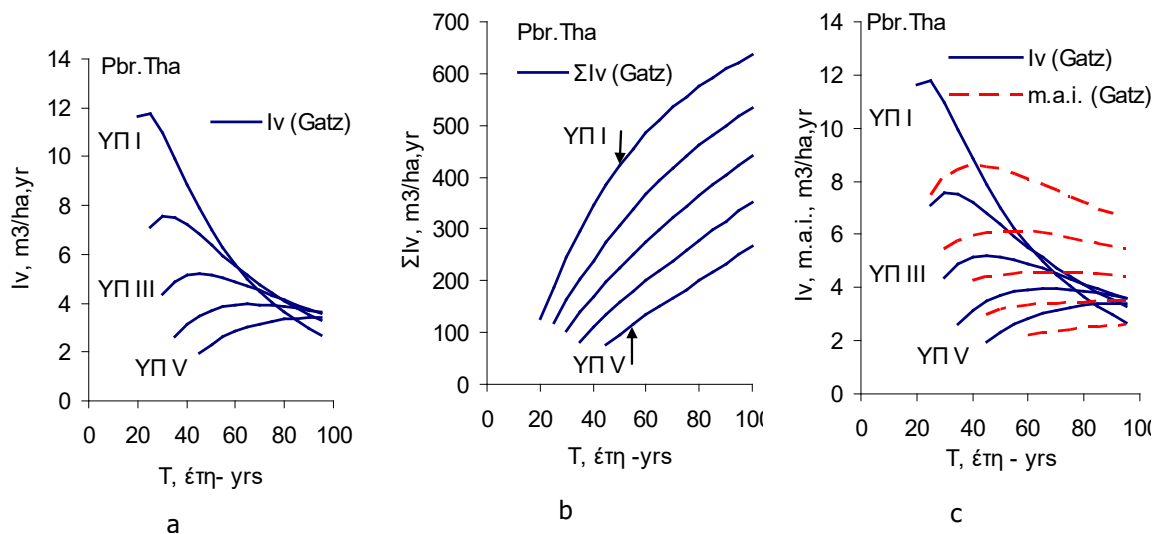
**Πίνακας IV.** Πίνακας απόδοσης με εφαρμογή της μεθόδου των ταριφών ύψους (μέθοδος Gatz) για συστάδες τραχειάς πεύκης μέγιστης πυκνότητας  $SDI=606$  και ποιότητας τόπου I ( $SI_{50}=23,5$ ).

**Table IV.** Yield table applying through the method of height tariff system (Gkatz method) for *Pinus brutia* stands with maximum density  $SDI=906$  and site quality I ( $SI_{50}=23,5$ )

| T   | Ho   | Zh   | G    | V      | Zv/V | Iv    | ΣIv   | m.a.i. |
|-----|------|------|------|--------|------|-------|-------|--------|
| 1   | 2    | 3    | 4    | 5      | 6    | 7     | 8     | 9      |
| 0   |      |      |      |        |      |       |       |        |
| 5   | 0,5  |      |      |        |      |       |       |        |
| 10  | 4,0  |      |      |        |      |       |       |        |
| 15  | 7,9  |      | 24,7 | 64,9   |      | 8,39  | 64,9  |        |
| 20  | 11,3 | 0,62 | 35,2 | 133,1  | 0,09 | 12,10 | 133,1 |        |
| 25  | 14,1 | 0,51 | 40,1 | 189,7  | 0,06 | 12,00 | 189,7 | 7,6    |
| 30  | 16,4 | 0,42 | 42,8 | 236,2  | 0,05 | 11,06 | 253,1 | 8,4    |
| 35  | 18,3 | 0,35 | 44,6 | 274,6  | 0,04 | 9,94  | 300,3 | 8,6    |
| 40  | 19,9 | 0,29 | 45,8 | 306,6  | 0,03 | 8,85  | 352,5 | 8,8    |
| 45  | 21,2 | 0,24 | 46,7 | 333,5  | 0,02 | 7,86  | 388,8 | 8,6    |
| 50  | 22,3 | 0,21 | 47,3 | 356,2  | 0,02 | 6,98  | 431,1 | 8,6    |
| 55  | 23,3 | 0,18 | 47,8 | 375,7  | 0,02 | 6,22  | 458,7 | 8,3    |
| 60  | 24,1 | 0,15 | 48,2 | 392,5  | 0,01 | 5,55  | 493,2 | 8,2    |
| 65  | 24,8 | 0,13 | 48,6 | 407,2  | 0,01 | 4,96  | 514,1 | 7,9    |
| 70  | 25,5 | 0,12 | 48,8 | 420,0  | 0,01 | 4,45  | 542,9 | 7,8    |
| 75  | 26,0 | 0,10 | 49,1 | 431,2  | 0,01 | 4,01  | 558,7 | 7,4    |
| 80  | 26,5 | 0,09 | 49,3 | 441,2  | 0,01 | 3,61  | 583,0 | 7,3    |
| 85  | 26,9 | 0,08 | 49,4 | 450,2  | 0,01 | 3,26  | 594,8 | 7,0    |
| 90  | 27,3 | 0,07 | 49,6 | 458,2  | 0,01 | 2,95  | 615,5 | 6,8    |
| 95  | 27,7 | 0,07 | 49,7 | 465,4  | 0,01 | 2,67  | 624,3 |        |
| 100 | 28,0 |      | 49,8 | 471,91 |      |       | 642,2 |        |

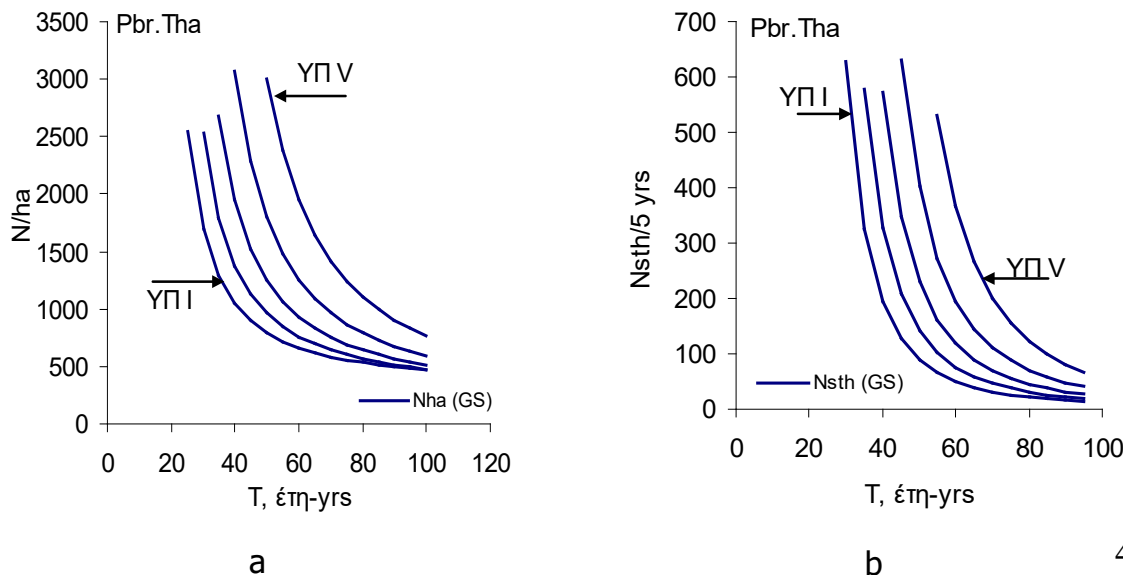
Στήλες: (1)  $T=$  Age, yrs, (2)  $H=f(T, SI_{50}), m$ , (3):  $Zh(t)=[Ho(t+5)-Ho(t-5)]/10, m/yr$  (4)  $G=f(Ho, SDI_{max}), m^2/ha$ , (5)  $V=f(G, Ho), m^3/ha$ , (6)  $Zv/V=f(Zh/H, SI_{50})$ , (7)  $Iv=V \cdot Zv/V, m^3/ha, yr$ , (8)  $\Sigma Zv(t)=\Sigma Zv(t-10)+10 \cdot Zv(t-5)$ , (9)  $Zu(t)=\Sigma Iv(t)/T, m^3/ha, yr$

7. Ονομάστηκε εδώ και ως «μέθοδος Gatz» ή «Gatz Simulation», λόγω του πρωτότυπου χαρακτήρα της προσομοίωσης.



**Σχήμα 13.** Η τρέχουσα (Iv) (a), η συνολική αύξηση/ απόδοση ΣIv (b) και οι σχέσεις τρέχουσας και μέσης προσαύξεσης (m.a.i.) (c), ως συνάρτηση της ηλικίας (T) και της ποιότητας τόπου (YΠ) συστάδων τραχείας πεύκης μέγιστης πυκνότητας

**Figure 13.** Current increment (Iv) (a), total increment/yield ΣIv (b), and the relationships between current and mean annual increment (m.a.i.) (c), as a function of age (T) and site quality (YQ) of maximum density Calabrian pine (*Pinus brutia*) stands.



**Σχήμα 14.** Ο αριθμός κορμών της κύριας συστάδας (N) και των δένδρων αυτοαραίωσης (Nsth) συναρτήσει της ηλικίας και της ποιότητας τόπου συστάδων τραχείας πεύκης μέγιστης πυκνότητας (SDImax)

**Figure 14.** The number of stems in the main stand (N) and self-thinning trees (Nsth) as a function of age and site quality of pine stands with maximum density (SDImax)

**Πίνακας V.** Πίνακας απόδοσης για συστάδες μέγιστης πυκνότητας SDI=906 και ποιότητας τόπου I ( $SI_{50}=23,5$ ) (με τη μέθοδο των αυξητικών σειρών GS)

**Table V.** Yield table for *Pinus brutia* stands with maximum density SDI=906 and site quality I ( $SI_{50}=23,5$ ) (by growth series (GS) method)

| T   | Ho   | G    | V     | Vbef  | Dg   | Nha    | Nsth  | k    | Vsth | ΣVsth | ΣIv   | Iv   | m.a.i. |
|-----|------|------|-------|-------|------|--------|-------|------|------|-------|-------|------|--------|
| 1   | 2    | 3    | 4     | 5     | 6    | 7      | 8     | 9    | 10   | 11    | 12    | 13   | 14     |
| 10  |      |      |       |       |      |        |       |      |      |       |       |      |        |
| 15  | 7,9  | 24,7 |       |       |      |        |       |      |      |       |       |      |        |
| 20  | 11,3 | 35,2 | 133,1 | 133,1 | 9,6  |        |       |      |      |       | 133,1 |      |        |
| 25  | 14,1 | 40,1 | 189,7 | 189,7 | 14,2 | 2538,5 |       |      |      |       | 189,7 |      |        |
| 30  | 16,4 | 42,8 | 236,2 | 255,1 | 17,9 | 1697,3 | 626,4 | 0,43 | 37,8 |       | 255,1 | 13,5 | 8,5    |
| 35  | 18,3 | 44,6 | 274,6 | 287,0 | 21,0 | 1285,7 | 324,2 | 0,36 | 24,7 | 37,8  | 324,8 | 12,3 | 9,3    |
| 40  | 19,9 | 45,8 | 306,6 | 315,5 | 23,6 | 1048,8 | 194,0 | 0,31 | 17,8 | 62,5  | 378,0 | 9,6  | 9,5    |
| 45  | 21,2 | 46,7 | 333,5 | 340,2 | 25,7 | 897,7  | 127,4 | 0,29 | 13,5 | 80,3  | 420,5 | 7,7  | 9,3    |
| 50  | 22,3 | 47,3 | 356,2 | 361,6 | 27,5 | 794,0  | 89,2  | 0,27 | 10,6 | 93,8  | 455,4 | 6,4  | 9,1    |
| 55  | 23,3 | 47,8 | 375,7 | 380,0 | 29,1 | 719,2  | 65,6  | 0,25 | 8,6  | 104,4 | 484,4 | 5,4  | 8,8    |
| 60  | 24,1 | 48,2 | 392,5 | 396,0 | 30,4 | 662,9  | 50,0  | 0,24 | 7,0  | 113,0 | 509,0 | 4,6  | 8,5    |
| 65  | 24,8 | 48,6 | 407,2 | 410,1 | 31,6 | 619,2  | 39,2  | 0,23 | 5,8  | 120,0 | 530,1 | 3,9  | 8,2    |
| 70  | 25,5 | 48,8 | 420,0 | 422,4 | 32,6 | 584,5  | 31,5  | 0,22 | 4,9  | 125,8 | 548,2 | 3,4  | 7,8    |
| 75  | 26,0 | 49,1 | 431,2 | 433,3 | 33,5 | 556,3  | 25,8  | 0,21 | 4,2  | 130,7 | 564,1 | 3,0  | 7,5    |
| 80  | 26,5 | 49,3 | 441,2 | 443,0 | 34,3 | 533,0  | 21,4  | 0,20 | 3,6  | 134,9 | 578,0 | 2,6  | 7,2    |
| 85  | 26,9 | 49,4 | 450,2 | 451,7 | 35,0 | 513,4  | 18,1  | 0,20 | 3,1  | 138,5 | 590,2 | 2,3  | 6,9    |
| 90  | 27,3 | 49,6 | 458,2 | 459,5 | 35,6 | 496,8  | 15,4  | 0,19 | 2,7  | 141,6 | 601,1 | 2,1  | 6,7    |
| 95  | 27,7 | 49,7 | 465,4 | 466,6 | 36,2 | 482,5  | 13,3  | 0,18 | 2,4  | 144,3 | 610,9 | 1,8  | 6,4    |
| 100 | 28,0 | 49,8 | 471,9 | 472,9 | 36,7 | 470,2  | 11,2  | 0,18 | 2,0  | 146,6 | 619,5 |      | 6,2    |

Σημειώσεις: (1) T: Ηλικία (έτη), (2) Ho: Κυρίαρχο ύψος (m), (3) G: Εγκάρσια κυκλική επιφάνεια ( $m^2/ha$ ), (4) V: Ξυλαπόθεμα (μέση γραμμή, PredV), (5) Vbef: Ξυλαπόθεμα πριν την αραίωση ( $Vbef = V + 0,5 * Vsth$ ) ( $m^3/ha$ ), (6) Dg: Μέση διάμετρος (cm), (7) Nha: Αριθμός κορμών, (8) Nsth: αριθμός δένδρων αυτο-αραίωσης [ $Nsth(t) = (N(t-5) - N(t+5))/2$ ] για 5ετείς κλάσεις ηλικίας, (9) k(για  $c=1,5$ ): ο λόγος όγκων μέσων κορμών αραίωσης και κύριας συστάδας,  $Vsth$ : Όγκος των δένδρων αυτοαραίωσης ( $Vsth = Nsth * V/N$ ) ( $m^3/ha, 5yrs$ ), (11) ΣVsth: Άθροισμα όγκων αραίώσεων  $\Sigma Vsth(t) = \Sigma Vsth(t-5) + Vsth(t-5)$  ( $m^3/ha$ ), (12) ΣIv: Συνολική προσαύξηση ( $\Sigma Iv(t) = Vbef(t) + \Sigma Vsth(t)$ ) ( $m^3/ha$ ), (13) Iv: Τρέχουσα προσαύξηση όγκου [ $Iv(t) = (\Sigma Iv(t+5) - \Sigma Iv(t-5))/10$ ] ( $m^3/ha, yr$ ), (14) m.a.i.: Μέση αύξηση m.a.i.(t) =  $\Sigma Iv(t)/t$  ( $m^3/ha, yr$ ).

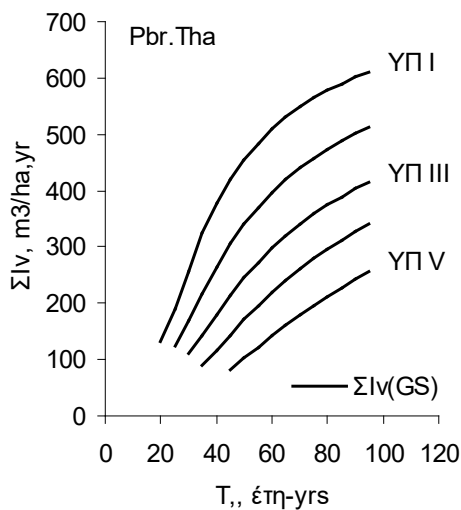
Προσομοίωση σύμφωνα με τη λογική των αυξητικών σειρών (GS: growth series): Η εξίσωση (11)  $Dg=f(Ho, SDI_{max})$  (στ. 6, Πίν.V) έδωσε τον αριθμό κορμών (Nha) συναρτήσει της ηλικίας και της ποιότητας τόπου ( $Nha = G/(\pi/4 * Dg^2)$ ), Σχ. 14a, στ. 7 στον πίνακα V) και κατ' επέκταση και τον αριθμό των δένδρων (Nsth) που αποβιώνουν στην πορεία αύξησης των συστάδων (δένδρα αυτοαραίωσης) ( $Nsth(t) = (N(t-5) - N(t+5))/2$ , Σχ. 14b, στ. 8 του πίνακα V). Από το γινόμενο του αριθμού των δένδρων αυτοαραίωσης (Nsth, στ. 8) με τον όγκο του μέσου κορμού της κύριας συστάδας ( $vn=V/N$ ) και τον συντελεστή k (στ. 9) προέκυψε ο όγκος των δένδρων αυτοαραίωσης ( $Vsth$ ,  $m^3/ha/5$ ετία), καθώς και το αθροιστικό αποτέ-

λεσμα αυτών στη στήλη 11 ( $\Sigma Vsth$ ). Από το άθροισμα του ξυλαποθέματος ( $Vbef$ ) με το συνολικό όγκο των αραίώσεων προέκυψε και η συνολική προσαύξηση ( $\Sigma Iv$ ) και κατ' επέκταση η τρέχουσα και μέση αύξηση (Πίν. V, στ. 12, 13 και 14 και Σχ. 15a,b).

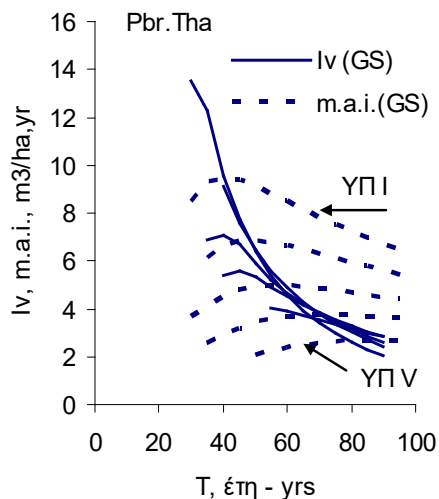
Σύγκριση αποτελεσμάτων. Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα συνολικής προσαύξησης, που προέκυψαν από την εφαρμογή των δυο μεθόδων, τότε προκύπτουν τα διαγράμματα που δίνονται στο σχήμα 16, από τα οποία προκύπτει ότι:

- Υπάρχει σημαντική σύγκλιση μεταξύ προβλέψεων των δυο μεθόδων, αναφορικά με το επίπεδο απόδοσης συστάδων που επιτυγχάνεται στα διάφορα ύψη των συστάδων (Σχ. 16a).





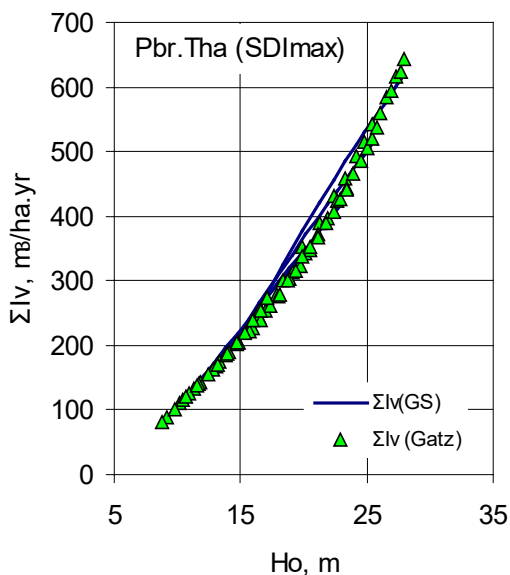
a



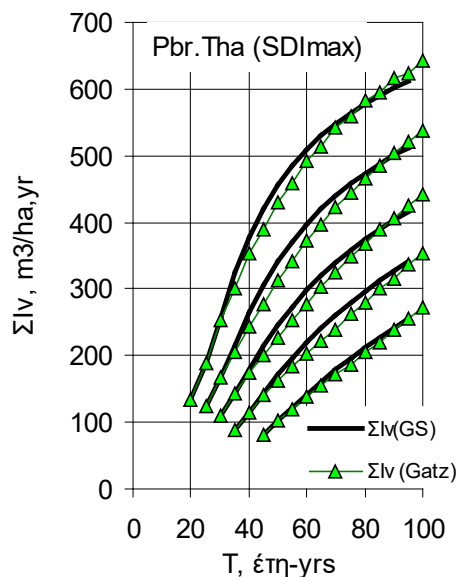
b

**Σχήμα 15.** Οι καμπύλες αύξησης και απόδοσης των συστάδων τραχείας πεύκης μέγιστης δυνατής πυκνότητας (SDL=1,0) (σύμφωνα με τη λογική των αυξητικών σειρών/GS)

**Figure 15.** The growth and yield curves of *Pinus brutia* stands with maximum density (according to growth series method)



a



b

**Σχήμα 16.** Συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των δυο μεθόδων προσομοίωσης σε επίπεδο συνολικής προσάυξης για συστάδες αυτοαραίωσης

**Figure 16.** Comparative results between the two simulation methods at the level of total growth/ yield for self thinning stands

- Στις προβλέψεις στις διάφορες ηλικίες (Σχ.16b), εμφανίζονται μικρές αποκλίσεις, οι οποίες όμως δεν αναιρούν το αρχικό συμπέρασμα της σύγκλισης.

Τα συσταδικά πρότυπα του πίνακα ΙΙΙ (εξίσ. 8, 9, 10 και 11) που χρησιμοποιήθηκαν στις δυο διαδικασίες προσομοίωσης μπορούν να έχουν εφαρμογή όχι μόνο για συστάδες εκτός καλλιέργειας, αλλά και γι' αυτές που εφαρμόζονται αραιώσεις διαφόρων επιπέδων πυκνότητας.

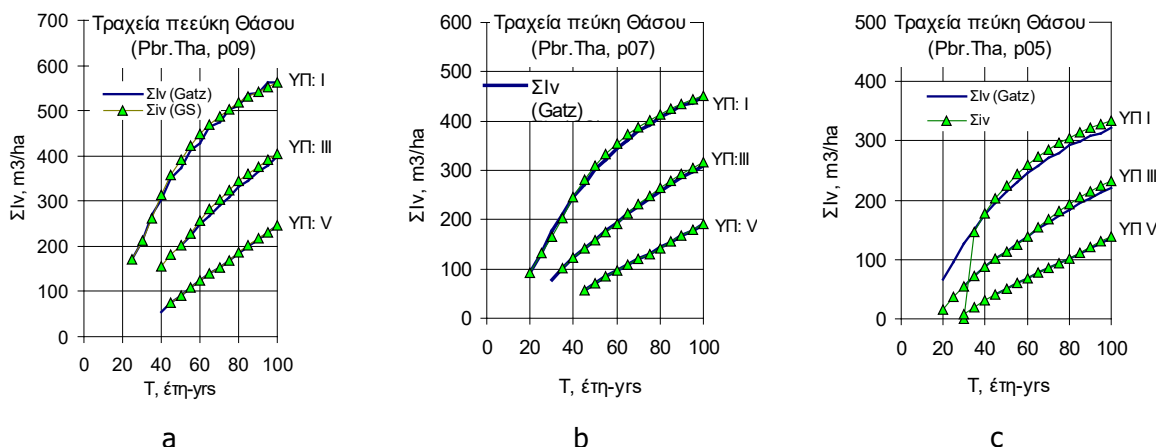
Αν εφαρμόσουμε τις δυο διαδικασίες προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας τα ως άνω συσταδικά πρότυπα, για συστάδες διαφορετικών επιπέδων πυκνότητας (p), όπως πχ. για  $p = G/G_{\max} = 0,9, 0,7$  και  $0,5$ , εκπροσωπώντας έτσι σύνολα συστάδων διαφόρων αυξητικών σειρών, τότε έχουμε αντίστοιχα αποτελέσματα για τη συνολική απόδοση των συστάδων, όπως χαρακτηριστικά μας δείχνουν τα διαγράμματα στο σχήμα 17. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι για την ανταπόκριση των γραμμών συνολικής απόδοσης ΣΙv(GS) στις αντίστοιχες γραμμές ΣΙv (Gatz) χρειάστηκε να γίνει αναπροσαρμογή του συντελεστή 'c' (στον μαθ. τύπο 17) σε υψηλότερα επίπεδα (από 1,2->1,5 που εφαρμόστηκε στις συστάδες αυτοαραιώσης αυξήθηκε σε 1,7->2,0 για συστάδες p09, σε 1,75->2,25 για συστάδες p07 και σε 2,0->2,5 για συστάδες p05).

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενσωμάτωση της ηλικίας στα μοντέλα ύψους/ δι-

αμέτρου (εξίσ. 6) οδήγησε στην ανάπτυξη των ταριφών ύψους (Σχ. 10) και μέσω αυτών στην εκτίμηση της προσαύξησης ύψους των δένδρων, εξασφαλίζοντας έτσι τις καλύτερες δυνατές προϋποθέσεις και για την εκτίμηση της προσαύξησης όγκου των συστάδων.

Το μοντέλο (7) που εξασφάλισε την προσαύξηση διαμέτρου για όλα τα δένδρα μιας ΔΕ, αν και χαρακτηρίζεται από χαμηλό δείκτη προσδιορισμού ( $R^2=0,23$ ), εντούτοις η συνολική εικόνα που προέκυψε κατά τη διαδικασία προσομοίωσης, κρίνεται ως θετική. Τη θετική εικόνα ενισχύει και η κανονική κατανομή των αποκλίσεων (βλ. Σχ. 8c). Ο χαμηλός συντελεστής προσδιορισμού στην εκτίμηση της προσαύξησης διαμέτρου των δένδρων μιας συστάδας είναι μια πραγματικότητα, η οποία δεν είναι εύκολο να ξεπεραστεί στα πλαίσια τρεχουσών απογραφών. Αυτό οφείλεται κυρίως στη δυσκολία καταγραφής του συνόλου των παραγόντων ανταγωνισμού (Γκατζογιάννης, 2024) που επηρεάζουν την κατά πάχος αύξηση των δένδρων. Η πραγματικότητα αυτή δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την ικανότητα προβολής στο μέλλον των συνθηκών ανταγωνισμού με συνέπεια και τη μειωμένη συχνά αποτελεσματικότητα χρήσης των τρεχουσών μοντέλων προσαύξησης διαμέτρου για μελλοντικές προβλέψεις. Όμως, παρά τις δυσκολίες αυτές η δοκιμασία εφαρμογής διαφορετικών δρόμων προσομοίωσης της αύξησης των συστάδων, που έγινε στην παρούσα εργασία, έδειξε ότι μπορούμε πράγματι να αξιοποιήσουμε τα μοντέλα τρέχουσας προσαύξησης διαμέτρου και κατ' επέκταση και τη



**Σχήμα 17** Συγκριτικά αποτελέσματα συνολικής απόδοσης μεταξύ των δυο μεθόδων προσομοίωσης (ΣΙv (Gatz) και ΣΙv (GS)) για συστάδες διαφόρων επιπέδων πυκνότητας (p09, p07 και p05)

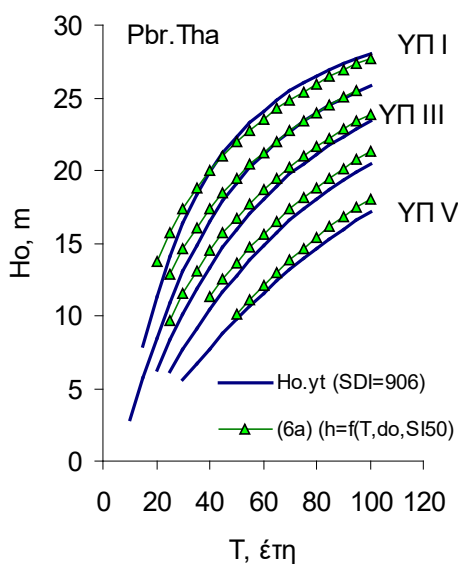
**Figure 17.** Comparative results between the two simulation methods (ΣΙv (Gatz) and ΣΙv (GS))for stands of different density levels (p09, p07 και p05)

αντίστοιχη διαδικασία προσομοίωσης παράλληλα και συνδυαστικά με τη μέθοδο των αυξητικών σειρών.

Αναφορικά με το δεύτερο δρόμο προσομοίωσης, παραμένει πάντοτε το ερώτημα εάν και κατά πόσο οι τρέχουσες σχέσεις μεταξύ βασικών μεταβλητών των συστάδων επιδέχονται δυναμικής ερμηνείας έτσι ώστε να μπορούν με βεβαιότητα να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της μελλοντικής πορείας αύξησης των συστάδων τουλάχιστον σε μεσοπρόθεσμη βάση.

Σε αυτό συνηγορεί η διαπίστωση ότι οι τρεις βασικές σχέσεις  $H_o=(T, SI_{50})$ ,  $G=f(H_o, SDI)$  και  $V=f(G, H_o)$  μπορούν με βεβαιότητα να παρατηρηθούν ότι ισχύουν και για το προσεχές μέλλον των συστάδων, τόσο για τις φυσικά εξελισσόμενες συστάδες (χωρίς αραιώσεις) όσο και για αυτές που υποβάλλονται σε αραιώσεις, όταν μάλιστα εφαρμόζεται συγκεκριμένη στρατηγική δασοοικονομικού χειρισμού (αραιώσεων), δεδομένου ότι:

\* Η σχέση  $H_o=(T, SI_{50})$  προέκυψε από αναλύσεις κορμών της κυριαρχούσας συστάδας, η εξέλιξη ύψους των οποίων μπορεί με βεβαιότητα να θεωρηθεί ότι εκφράζει και την μελλοντική πορεία



**Σχήμα 18.** Συγκριτική απεικόνιση των καμπυλών ύψους  $H_o=f(T, SI_{50})$  της εξίσωσης (2a) του συστήματος σταθμοδεικτικών καμπυλών με τις καμπύλες ύψους ( $H_o=f(D_o, T, SI_{50})$ ) που προκύπτουν από την εξίσωση (6a) του συστήματος ταριφών

**Figure 18.** Comparison of height curves  $H_o=f(T, SI_{50})$  of site index equation (2a) with height curves ( $H_o=f(D_o, T, SI_{50})$ ) derived from equation (6a) of tariff system

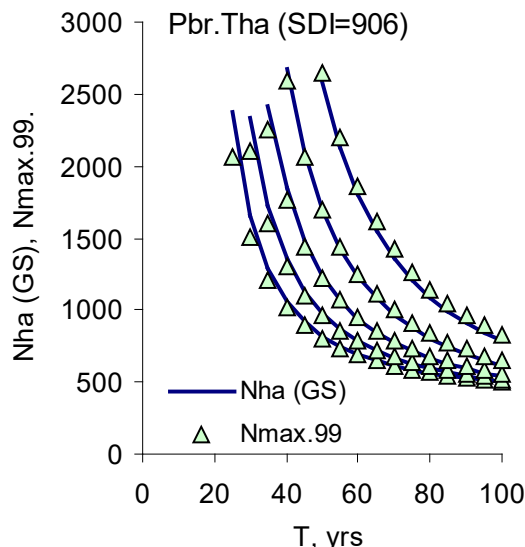
του ανώτερου ύψους των αντίστοιχων συστάδων. Προς επιβεβαίωση αυτής της παραδοχής συνηγορούν: α) η εξάρτηση είναι μόνο από σταθμό και όχι από άλλους παράγοντες και αν ο σταθμός παραμένει ίδιος τότε και η μέχρι τώρα πορεία αύξησης του ύψους των δένδρων αναμένεται και στο μέλλον ίδια και β) αν εφαρμόσουμε τη “στατική” εξίσωση (6a)  $h=f(d, SI_{50}, Tk)$  με στοιχεία εισαγωγής τη  $d=Do$ ,  $Tk=T$ , θα διαπιστώσουμε ότι οι προβλέψεις ύψους που δίνει η σχέση αυτή συγκρίνονται με σημαντική βεβαιότητα με αυτές της εξίσωσης (4)  $H_o=f(T, SI_{50})$  (στ. 2 στον πίν. IV και V), όπως δείχνει το διάγραμμα στο σχήμα 18. Αυτό σηματοδοτεί ότι η τρέχουσα σχέση μεταξύ ύψους και ηλικίας, που αποτυπώνεται στο σχήμα 2 μπορεί, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, να μας δώσει στοιχεία και για τη δυναμική της αύξησης του ύψους. Μια βασική προϋπόθεση, στην προκειμένη περίπτωση, είναι η αναγκαία και ικανή εκπροσώπηση στο δείγμα όλων των διαστάσεων και ηλικιών των δένδρων με μετρήσεις υψών.

\* Η σχέση  $G=f(H_o, SDI)$  μας δίνει με σχετικά μεγάλη βεβαιότητα και τη μέγιστη δυνατή κυκλική επιφάνεια ( $G_{max}$ ) που μπορούν να επιτύχουν συστάδες σε δεδομένο ύψος. Αυτό πιστοποιείται και από γραμμή οροφής  $G_{max.99}$  που αναπτύχθηκε με διαδικασίες παλινδρόμησης ποσοστημορίων (με  $\tau=0,99$ ) και η οποία είναι πολύ κοντά και σχεδόν ταυτίζεται με την καμπύλη της βασικής σχέσης  $G=f(H_o, SDI)$  για  $SDI=906$  (βλ. Σχ. 11).

\* Η σχέση  $V=f(G, H_o)$  μπορεί να θεωρηθεί επίσης ως ισχύουσα και για το μέλλον των συστάδων αφού βασίζεται στις δυο προηγούμενες. Για τον ίδιο λόγο και η σχέση  $Zv/V=f(Zh/H, SI_{50})$ , η οποία έδωσε και τα στοιχεία για την τρέχουσα προσαύξηση όγκου ( $Iv$ ) και κατά συνέπεια και για τη συνολική προσαύξηση ( $SIv$ ) στον πίνακα V, μπορεί να θεωρηθεί και αυτή ως ισχύουσα και στο μέλλον.

Αναφορικά με το δεύτερο δρόμο προσομοίωσης (GS Simulation), οι παραπάνω διαπιστώσεις για τις τρεις βασικές σχέσεις συνηγορούν/ ενισχύουν και την εγκυρότητα εφαρμογής της μεθόδου των αυξητικών σειρών. Το μόνο πρόβλημα που απομένει προς συζήτηση είναι το ζήτημα του αριθμού  $N_{sth}$  και του όγκου  $V_{sth}$  των δέντρων αυτοαραιώσης, τα οποία υπεισέρχονται στον υπολογισμό της συνολικής προσαύξησης των συστάδων και επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα. Ο μεν αριθμός  $N_{sth}$  ελέγχεται βέβαια από τη συνθήκη ότι ο αριθμός  $N=f(G, Dg)$  (Πίν. V, στ.7) πρέπει να συμφωνεί με το  $N_{max.99}=f(Dg)$  (εξίσ. 14a), γεγονός

που, στην προκειμένη περίπτωση, πράγματι ισχύει όπως μας δείχνει το διάγραμμα στο σχήμα 19.



**Σχήμα 19.** Συγκριτική απεικόνιση των καμπυλών  $N/ha=f(T, SI_{50})$ , ως αποτέλεσμα της μεθόδου των αυξητικών σειρών (GS), με τις γραμμές αυτοαραιώσης που προκύπτουν από τη σχέση 14a ( $N_{max.99}=f(Dg)$ ) **Figure 19.** Comparison of the curves  $N=f(T, SI_{50})$ , as a result of the growth series (GS) method, with the self-thinning lines resulting from the relationship  $N_{max.99}=f(Dg)$

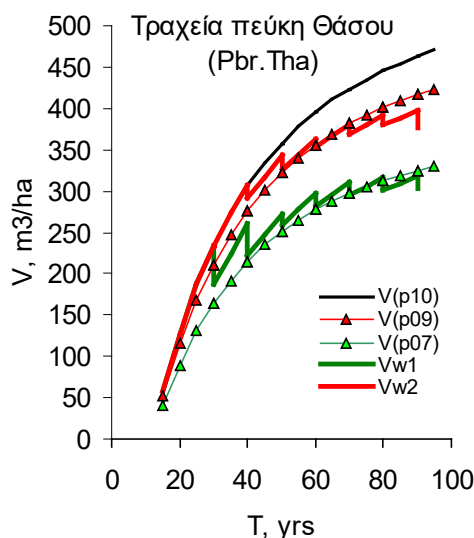
Ο όγκος των δένδρων αυτοαραιώσης ( $V_{sth}$ ) ελέγχεται από τον συντελεστή  $k=(N_{df}/N)^{b(c)}$  και ειδικότερα από τον παράγοντα 'c' για τον οποίο δοκιμάστηκαν εναλλακτικές τιμές. Η επιλογή  $c=2$ , που αρχικά θεωρήθηκε ως ενδεχόμενη (Marschall, 1975, s.171), έδωσε αποτελέσματα που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ μια μικρή μείωση του συντελεστού αυτού από 2 σε 1,2 έως 1,5, έδωσε το αποτέλεσμα του πίνακα V (στ. 12) και του σχήματος 16. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί και στο συμπέρασμα ότι όταν εφαρμόζεται η δεύτερη διαδικασία προσομοίωσης, δηλαδή αυτή των αυξητικών σειρών, όπου ο παράγοντας «κ» είναι ένα ζητούμενο, τότε η πρώτη διαδικασία προσομοίωσης μπορεί να χρησιμεύσει για την επίλυση του ζητήματος αυτού. Αξιοσημείωτο, στην προκειμένη περίπτωση, είναι το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση χαμηλού συντελεστή 'c' οδηγεί και σε χαμηλούς συντελεστές k. Κάτι βέβαια αναμενόμενο για συστάδες που εξελίσσονται φυσικά χωρίς παρεμβάσεις γιατί τότε τα δένδρα που υποκύπτουν στον ανταγωνισμό προέρχονται κατά κύριο λόγο από τη δευτερεύουσα συστάδα και έχουν μέσο

όγκο μικρότερο από αυτόν της κύριας συστάδας.

Βεβαίως υπάρχουν αποκλίσεις στην πορεία των καμπυλών που μας δίνουν οι δυο τεχνικές και οι οποίες κυμαίνονται, για τις συστάδες μέγιστης πυκνότητας, σε πολύ χαμηλά επίπεδα (από -5,0 έως +8,0 %). Σημαντικό επίσης στοιχείο είναι ότι το παραγωγικό δυναμικό των συστάδων, όπως αυτό εκφράζεται από την πορεία της μέσης αύξησης δεν διαφέρει σημαντικά, μεταξύ των δυο μεθόδων (βλ. Σχ. 13c και 15b), τόσο ως προς το ύψος ( $m^3/ha/yr$ ) όσο και ως προς την πορεία των καμπυλών συναρτήσεως της ηλικίας και κυρίως το χρόνο μεγιστοποίησης των αντίστοιχων καμπυλών, γεγονός με ιδιαίτερη σημασία για τη λήψη αποφάσεων καθορισμού των περιόδων χρόνων των συστάδων. Αυτό όμως το ζήτημα αφορά ιδιαίτερα τις υπό διαχείριση συστάδες, για τις οποίες και αξιοποιήθηκαν τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν στη παρούσα εργασία για την μελέτη τη αύξησης κάτω από εναλλακτικούς δασοκομικούς χειρισμούς (κυρίως όσον αφορά τη ένταση των αραιώσεων) και την κατάρτιση αντίστοιχων πινάκων παραγωγής και απόδοσης.

Στο παράδειγμα που ακολουθεί δοκιμάστηκαν δυο εναλλακτικά σενάρια δασοκομικού χειρισμού, που ακολουθούνται κατά κανόνα στη δασική πρακτική. Εκκινώντας και τα δυο σενάρια από κλειστές συστάδες ( $SDI_{max}$ ), το μεν πρώτο στοχεύει στη δημιουργία συστάδων με πυκνότητα του επιπέδου  $p09=G/G_{max}=0,9$ , με έναρξη αραιώσεων σε ηλικία 40 ετών και ποσοστό κάρπωσης του ξυλαποθέματος  $\leq 10\%$  ( $Vw1$ , Σχ.20), ενώ το δεύτερο ( $p07$ ) στοχεύει σε συστάδες μέτριας πυκνότητας ( $p07$ ), με έναρξη αραιώσεων στην ηλικία των 30 ετών και ποσοστό κάρπωσης στην αρχή της τάξης του 20% και βαθμιαία μείωση σε 10 και 5 % του ξυλαποθέματος (Σχ. 20). Με τον τρόπο αυτόν μπορεί να σχεδιαστεί η μελλοντική πορεία αύξησης κάθε συστάδας και να υπολογισθεί η συνολική της απόδοση ανάλογα με την αρχική θέση εκκίνησης που κατέχει αυτή στο σύστημα (με βάση τη σχέση  $G/Ho$ ).

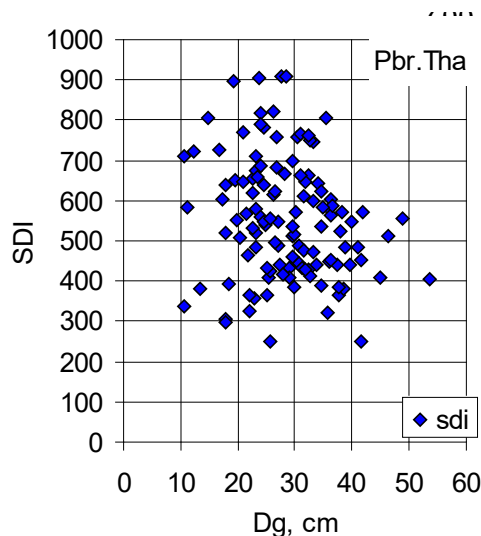
Οι δυνατότητες αυτές οδηγούν βέβαια στη δημιουργία ενός συστήματος κατάταξης των συστάδων σε επίπεδα πυκνότητας ( $p09$ ,  $p07$  και  $p05$ ) σύμφωνα με τη σχέση  $p=G/G_{max}$ . Με τον τρόπο αυτόν δημιουργούμε αυξητικές σειρές που η εξέλιξη των συστάδων τους να προβλέπεται σύμφωνα με την πορεία αύξησης και απόδοσης που προδιαγράφουν οι μέσες καμπύλες αύξησης κάθε αυξητικής σειράς ( $V(p10)$ ,  $V(p09)$  και  $V(p07)$  στο σχήμα 20). Έτσι εξασφαλίζεται η εκτίμηση βασικών μεταβλητών διαχείρισης ενός δάσους (παραγωγικό δυναμικό, κανονικό ξυλαπόθεμα κλπ) και η ρύθμιση της παραγωγής και των καρπώσεων σύμφω-



**Σχήμα 20.** Σενάρια δασοκομικού χειρισμού και πρόβλεψη της εξέλιξης του ξυλαποθέματος και της συνολικής προσαύξεσης των συστάδων τραχείας πεύκης.  
**Figure 20.** Scenarios of forest management and prediction of timber volume evolution and total increment/ yield of pine stands

να με την αρχή της αειφορίας των δασών. Οι γραμμές V(p10), V(p09) και V(p07) στο σχήμα 20 σηματοδοτούν την μέση πορεία του ξυλαποθέματος συστάδων που εντάσσονται στα αντίστοιχα επίπεδα πυκνότητας, μετά από προσαρμογή των προβλέψεων των μοντέλων προσομοίωσης στις συνθήκες των υπό διαχείριση συστάδων των επιπέδων αυτών πυκνότητας.

**Βιολογικά όρια και πραγματικότητα:** Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναφορικά με τις γραμμές  $N_{max.99}=f(Dg)$  και  $G_{max.99}=f(Ho)$  σηματοδοτούν μέγιστα που επιτυγχάνουν πράγματι οι συστάδες, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες διαχείρισης, και λειτουργούν ως γραμμές αναφοράς και σύγκρισης/ αξιολόγησης των αντίστοιχων γραμμών των στοχαστικών μοντέλων. Οι γραμμές αυτές μπορούν συμβατικά να παρατηρηθούν και ως βιολογικά μέγιστα αλλά και ως γραμμές αυτοαραίωσης, χωρίς όμως οι χαρακτηρισμοί αυτοί να μπορούν με βεβαιότητα να πιστοποιηθούν και χρειάζεται προς τούτο παραπέρα έρευνα. Ενισχυτικό στην προκειμένη περίπτωση είναι το γεγονός ότι οι αραιώσεις που υλοποιούνται στην πράξη κατά την προσήμανση των προς υλοτομία δένδρων, δεν καλύπτουν κατά κανόνα το σύνολο της έκτασης συστάδων και απομένουν πολλές θέσεις συχνά χωρίς επέμβαση, ιδιαίτερα σε απρόσιτες θέσεις, ενώ ταυτόχρονα συμμετέχουν αυτές στην απογραφή



**Σχήμα 21.** Νέφος διασποράς των παρατηρήσεων SDI/Dg

**Figure 21.** Scatter plot of the SDI/Dg observations

που έδωσε το υλικό της παρούσας έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι σημαντικό τμήμα των παρατηρήσεων προέρχεται και από συστάδες που δεν υπέστησαν αραιώσεις και δίνουν πράγματι μέγιστες τιμές πυκνότητας.

Στον χαρακτηρισμό των γραμμών μέγιστης πυκνότητας και ως γραμμών αυτοαραίωσης συνηγορούν και άλλες δυο διαπιστώσεις. Η πρώτη έχει να κάνει με το γεγονός ότι ο συντελεστής  $b1=-1,5696$  της εξίσωσης (14)  $\ln N.99=11,861 - 1,5696 \cdot \ln Dg$  δεν διαφέρει σημαντικά από τον συντελεστή  $-1,605$  του Reinecke (βλέπε  $\ln N=b0 - 1,605 \cdot \ln Dg$  και  $SDI=N \cdot (25/Dg)^{-1,605}$ ), ο οποίος στη σχετική βιβλιογραφία (Kramer, 1988, s. 185) δίνεται για κλειστές και ακαλλιέργητες συστάδες. Άλλωστε και η ανάπτυξη των γραμμών μέγιστης πυκνότητας ή αυτοαραίωσης  $N_{max}=\exp(b0+b1 \cdot \ln Dg)$  με τη βοήθεια της εξίσωσης 14 και αυτής του Reinecke δείχνουν σχεδόν να ταυτίζονται στο σχήμα 10.

Η δεύτερη αφορά τη μέγιστη πυκνότητα  $SDI_{max}=906$  που έδωσε η διαδικασία παλινδρόμησης ποσοστημορίων (εξίσ. 14) και η οποία ανταποκρίνεται και στις μέγιστες τιμές του νέφους διασποράς SDI/Dg, όπως προκύπτει από το σχήμα 21. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει και την αποδοχή της  $G_{max.99}$  ως γραμμής που εκφράζει συστάδες αυτοαραίωσης αφού η καμπύλη που δίνει η εξίσωση 8 ( $G_{max.sdi}=f(Ho, SDI_{max})$ ) σχεδόν ταυτίζεται με τη γραμμή οροφής του Νέφους G/Ho μέγιστης πυκνότητας που δίνει η μέθοδος των ποσοστημορίων (Σχ. 11).

# Πίνακας VI. Σύμβολα και επεξηγήσεις

Table VI. Symbols and explanations

|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Για δένδρα – for trees                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| d, da, da5                                                         | Στηθιαία διάμετρος έμφλοια, άφλοια, προ 5ετίας - Diameter et breast height of stems over bark/ without bark 5 years before (cm)                                                                                                                                               |
| h                                                                  | Συνολικό ύψος δένδρου - Total height of stems (m)                                                                                                                                                                                                                             |
| ha5                                                                | Ύψος του κορμού προ 5ετίας - Total height of stems (10 or 5 years before) (m)                                                                                                                                                                                                 |
| zh                                                                 | Τρέχουσα προσαύξηση ύψους – Current annual height increment (m/yr)                                                                                                                                                                                                            |
| zr                                                                 | Πάχος των τελευτ. 5 ετησίων δακτυλίων- Thickness of the last 5 annual rings (mm/5 yrs)                                                                                                                                                                                        |
| zd                                                                 | Προσαύξηση διαμέτρου - Diameter increment of stems (cm/ 5 yrs)                                                                                                                                                                                                                |
| zv                                                                 | Τρέχουσα προσαύξηση όγκου - Current annual volume increment of stems (m <sup>3</sup> /yr)                                                                                                                                                                                     |
| fl                                                                 | Πάχος φλοιού – thickness of bark (mm)                                                                                                                                                                                                                                         |
| v, va                                                              | Ξυλώδης όγκος κορμού (κορμόξυλο) έμφλοιος, άφλοιος προ 10ετίας η 5ετίας - Stem volume over/ without bark 5 years before (m <sup>3</sup> )                                                                                                                                     |
| ΔK                                                                 | Δοκιμαστικός κορμός -                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Για συστάδες/ ΔΕ – for stands/ plots                               |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Pbr.Tha                                                            | Τραχεία πεύκη Θάσσου - <i>Pinus brutia of the forest Thassos</i>                                                                                                                                                                                                              |
| ΔΕ                                                                 | Δοκιμαστική επιφάνεια - Inventory plot                                                                                                                                                                                                                                        |
| N, Nha                                                             | Αριθμός κορμών, αριθμός κορμών στο εκτάριο - Number of stems                                                                                                                                                                                                                  |
| Nmax                                                               | Μέγιστος αριθμός κορμών συστάδων με δεδομένη Dg                                                                                                                                                                                                                               |
| SIS                                                                | Σύστημα σταθμοδεικτικών καμπυλών - Site Index System                                                                                                                                                                                                                          |
| SI, SI <sub>50</sub>                                               | Δείκτης ποιότητας τόπου - Site Index, Site index at base bh-age 50 yrs                                                                                                                                                                                                        |
| ΠΤ/ ΥΠ                                                             | Ποιότητα τόπου/ Υποποιότητα - Site quality                                                                                                                                                                                                                                    |
| Tk                                                                 | Ηλικία της κυριαρχούσας συστάδας - Age of dominant trees (yrs)                                                                                                                                                                                                                |
| Tar                                                                | Διαχειριστική ηλικία (βάσει του συστήματος ταριφών)- Management age (based on the tariff system) (yrs)                                                                                                                                                                        |
| G ή Gw                                                             | Εγκάρσια κυκλική επιφάνεια συστάδας - Basal area of the stand (m <sup>2</sup> /ha)                                                                                                                                                                                            |
| GBAL                                                               | Η εγκάρσια κυκλική επιφάνεια του συνόλου των δένδρων που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη αυτής του δένδρου αναφοράς (συμπεριλαμβανομένων των δένδρων της ίδια βαθμίδας) – Basal area of trees larger than the subject tree (including trees of the same class) (m <sup>2</sup> /ha) |
| Dg ή Dm                                                            | Μέση (τετραγωνική) διάμετρος συστάδας - Mean basal area diameter (cm)                                                                                                                                                                                                         |
| Hdg ή Hm                                                           | Μέσο ύψος συστάδας - Mean height - Height of average basal area tree (m)                                                                                                                                                                                                      |
| Do                                                                 | Μέση τετραγωνική διάμετρος των 20% χονδρότερων δένδρων κάθε ΔΕ – Mean basal area diameter of the 20% thickest trees in each plot (cm)                                                                                                                                         |
| Ho ή ho                                                            | Ανώτερο ύψος (m) - Height of WEISE's top height tree in m                                                                                                                                                                                                                     |
| Zh                                                                 | Η τρ. προσαύξηση ύψους του ανώτερου κορμού - Current annual increment of Ho (m/yr)                                                                                                                                                                                            |
| V                                                                  | Ξυλαπόθεμα συστάδας - Stand volume (m <sup>3</sup> /ha)                                                                                                                                                                                                                       |
| Zv                                                                 | Τρέχουσα προσαύξηση όγκου συστάδας - Current annual volume increment of the stand (m <sup>3</sup> /ha,yr)                                                                                                                                                                     |
| Iv                                                                 | Τρέχουσα προσαύξηση όγκου πινάκων παραγωγής - Current annual volume increment of the yield tables (m <sup>3</sup> /ha,yr)                                                                                                                                                     |
| ΣVdf                                                               | Συνολικός/ αθροιστικός όγκος αραιώσεων                                                                                                                                                                                                                                        |
| ΣVsth                                                              | Συνολικός/ αθροιστικός όγκος των δένδρων αυτοαραιώσης                                                                                                                                                                                                                         |
| ΣIv                                                                | Συνολική προσαύξηση/ απόδοση (m <sup>3</sup> /ha)                                                                                                                                                                                                                             |
| m.a.i.                                                             | Μέση περίτροπη προσαύξηση (m <sup>3</sup> /ha.yr)                                                                                                                                                                                                                             |
| SDI                                                                | Δείκτης πυκνότητας συστάδας - Stand density Index (SDI=N*(25/Dg) <sup>-1.605</sup> )                                                                                                                                                                                          |
| p                                                                  | P=G/Gmax                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Κριτήρια αξιολόγησης εξισώσεων - Evaluation criteria for equations |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| R <sup>2</sup>                                                     | Συντελεστής προσδιορισμού - Determination factor                                                                                                                                                                                                                              |
| SSE                                                                | Τυπικό σφάλμα εκτίμησης – Standard error of the estimation                                                                                                                                                                                                                    |
| St. Dev                                                            | Τυπική απόκλιση - Standard deviation                                                                                                                                                                                                                                          |
| F                                                                  | Κριτήριο F – F criterion                                                                                                                                                                                                                                                      |

# Alternative Simulation Procedures for Forest Stand Growth and Yield - The Case of *Pinus brutia* Stands -

† Dr. Stylianos Gatzojannis<sup>1</sup>

## SUMMARY

In this study, a simulation process of stand growth of *Pinus brutia* was developed following two different paths. The first one utilizes data from the current volume increment of the stands, while the second one follows the logic of growth series (GS). For the implementation of this process, stem analysis material was utilized, as well as a sufficient number of sample plots. With the help of this material, individual tree-models and stand level-models were developed, supporting the simulation process. Comparing the results of the two simulation processes, conclusions were drawn regarding the dynamics of stand growth, on one hand, for closed (maximum density) stands, which are close to natural evolution and growth of stands, and on the other hand, for the grading of this dynamic for stands of different densities, as a result of thinnings and different forest management practices. The simulation results were formatted into yield tables so that they could be utilized in the subsequent design of pine forest management in the research area.

**Keywords:** Stand volume and increment, growth series, height curves, yield tables, percentile regression

---

1. Doctor of forestry, Forest management and economics



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andrius, C., Weiskittel, A., D' Amato, W., and Erin Saimons-legaard, 2018. Variation in the maximum stand density index and its linkage to climate in mixed species forests of the North American Acadian Region. *Forest Ecology and Management*. Volume 417, 15 May 2018, Pages 90-102.
- Arcangeli, C., Klopff, M., Hale, S. E., Jenkins, T. A. R., Hasenauer, H., 2014. The uniform height curve method for height–diameter modelling: an application to Sitka spruce in Britain. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 87, Issue 1, 1 January 2014, Pages 177–186.
- Clutter, J., Forston, J., Piemaar, L., Brister, G. and Bailey., 1983. *Timber management: A Quantitative Approach*. 333 pp. John Wiley & Sons, New York. ISBN 0-471-02961-0.
- Curtis, R.O. 1982. A simple index of stand density for Douglas-fir. *For. Sci.* 28:92 – 94.
- Curtis L., V., 2019. Reineke's stand density index: A quantitative and non-unitless measure of stand density. Mississippi State University. Conference Paper, May 2019.
- Dahlhausen, J., Uhl, E., Heym, M., Biber, P., Ventura, M., Panzacchi, P., Tonon, G., Horva', T., Pretzsch, H., 2017. Stand density sensitive biomass functions for young oak trees at four different European sites. *Trees*. Volume 31, pages 1811–1826 (2017). Springer-Verlag GmbH Germany.
- Drew, T.J. & J.W.Flewelling, 1979. Stand density Management: an Alternative Approach and Its Application to Douglas-fir Plantations. *Forest Sci.*, Vol. 25, No. 3, 1979, pp. 518-532. Copyright 1979, by the Society of American Foresters.
- Ek, A.R. and Monserud, R.A. (1974) Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species in even- or uneven-aged stands. In: *Growth models for tree and stand simulation*. Stockholm Res. Rep. No. 30, pp 56–73.
- Gadow, K., 2003. *Waldstruktur und Wachstum*. Beilage zur Vorlesung im Wintersemester 2003 / 2004. Universitätsdrucke Göttingen ISBN 3-930457-32-6
- Gatzojannis, S., 1998. Ertragstafeln für Buchenbestände in Griechenland (Πίνακες παραγωγής συστάδων οξιάς Αρναίας Χαλκιδικής). *Allg.Forst-u. J.-Ztg.*, 12:219-224.
- Gatzojannis, S., 1999a. Ertragstafeln für Fichtenbestände Griechenlands (Πίνακες παραγωγής Ερυθρελάτης Ελατιάς Δράμας). *Forstw. Cbl*, 118: 129-144.
- Gatzojannis, S., 1999b. Ertragstafeln für Schwarzkiefernbestände in Griechenland (Πίνακες παραγωγής Μαύρης πεύκης Ταυγέτου). *Forstarchiv* 70: 98-102.
- Gatzojannis, S., Palaskas, D., Gkatzogiannis, S. 2015. Site-index model for *Pinus brutia* forests in Thassos, Greece. *Allg. Forst & Jagtzeitung*
- Gretl, 2020. GNU Regression, Econometric and Time-series Library. <http://gretl.sourceforge.net> (Gretl 2020e).
- Hasenauer, H., 1994. Ein Einzelbaumwachstums-simulator für ungleichaltrige Fichten- Kiefern und Buchen- Fichtenmischbestände. Österreichische Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumforschung, Wien.
- Huang, S., Price, D., Titus, S. 2000. Development of ecoregion-based height–diameter models for white spruce in boreal forests. *For. Ecol. Manage.* vol. 129 (pg. 125 - 141)
- Kahriman, A., Sönmez, T. Gadow, k., 2018. Site index models for Calabrian pine in the central Mediterranean region of Turkey. *Journal of Sustainable Forestry* Pages 459-474 Volume 37.
- Kramer, H., 1988. *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul – Parey, Hamburg und Berlin. S. 374.
- Kramer, H. & A. Akça 1982. *Leidfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur*. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Kitikidou, K., Petrou, P., Milios, E. 2012. Dominant height growth and site index curves for Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in central Cyprus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 16, Issue 2, February 2012, Pages 1323-1329
- Magin, R., 1963. Standortsgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. *AFZ* 18, S. 128-130.
- Marschall, J., 1975. *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Österreichischer Agrarverlag Druck- und Verlags-ges. m.b.H, Nfg. KG, Sturzgasse 1A, A-1141. Wien.
- Murphy, P. & Shelton, M., 1996. An individual-tree basal area growth model for loblolly pine stands. *For. Res.* 26: 327-371.
- Nilson, A., 2006. Modeling Dependence Between The Number Of Trees And Mean Tree Diameter Of Stands, Stand Density And Stand Sparsity. In: Ciesze-wski CJ, Strub M (eds) *Second International Conference on Forest Measurement and Quantitative Methods and Management & the 2004. Southern Mensurationists Meeting 15-18 June 2004 Hot Springs, Arkansas*.



- Palahí, M., Pukkala, T., Kasimiadis, D., Poirazidis, K., Papageorgiou, 2008. A. Modelling site quality and individual-tree growth in pure and mixed *Pinus brutia* stands in north-east Greece. *Ann. For. Sci.* 65(2008) 501.
- Pretzsch, H., 1992. Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände. FFB München/Freising 115. S. 350.
- Prodan, M., 1965. Holzmesslehre. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Quicke, H.E., Mehdal, R.S., Kush, J.S., 1994. Basal area growth of individual trees Q a model derived from a regional longleaf pine growth study. *For. Sci.* 40(3), 528-542.
- Reinecke, L.H. 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forests. *Jour. Agric. Res.* 46: 627 – 638.
- Schröder, J., Soalleiro, R., Alonso, V., 2002. An age-independent basal area increment model for maritime pine trees in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 157, n. 1-3, p. 55-64.
- Shater, Z., Miguel, Σ., Pukkala, T., Palahí, M. 2011. A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia* Ten. stands in Syria. *Annals of Forest Science.* 68:149-157.
- Van Laar, A. and Akça, A., 2007. *Forest Mensuration*, Springer Verlag.
- Zhang, C., Petras, R., Zhao, X., and Gadow, K., 2009. Estimating Beech Growth and Survival A study based on long term experiments in Slovakia (With 3 Figures and 5 Tables). *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 181. Jg., 3/4
- Γκατζογιάννης, Σ., 1998. Αύξηση και απόδοση (Πίνακες παραγωγής) των συστάδων Δασικής πεύκης Ελατιάς Δράμας. Γεωτ. Επιστ. Θέματα, 3:21-35.
- Γκατζογιάννης, Σ., 1999. Πίνακες παραγωγής Οξιάς Άνω Βροντού Σερρών. Δασική Έρευνα, ΕΘΙΑΓΕ, Τ. 12:91-104.
- Γκατζογιάννης, Σ., 2017. Πίνακες παραγωγής Πλατυφύλλου δρυός Αρναίας Χαλκιδικής. Yield tables for *Quercus conferta* stands of Arnaia forest in Greece. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. Σειρά VI, Τόμ. 26, Τεύχ. I (24-36)
- Γκατζογιάννης, Σ., 2018. Πίνακες παραγωγής Ελάτης Ταυγέτου. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. ΓΕΩΤΕΕ Σειρά VI, Τόμ. 27, Τεύχ. I (32-44).
- Γκατζογιάννης, Σ., 2019. Μαζοπίνακες Τραχείας πεύκης Θάσου (προς δημοσίευση)
- Γκατζογιάννης, Σ., 2020. Δέσμες καμπυλών ύψους ως εργαλείο εκτίμησης του ξυλαποθέματος των δασοσυστάδων (Η περίπτωση της οξιάς Αρναίας Χαλκιδικής), Γεωτ. Επιστ. Θέματα. Σελ. 14-29.
- Γκατζογιάννης, Σ., 2022. Μαζοπίνακες διπλής εισόδου για τα δάση Τραχείας πεύκης της περιοχής Θάσου (Υπό επεξεργασία για δημοσίευση).
- Γκατζογιάννης, Σ., 2023. Εκτίμηση της τρέχουσας προσαύξησης όγκου δασοσυστάδων (Η περίπτωση των δασών οξιάς Αρναίας, Ελλάδα) (υπό δημοσίευση στα Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα).
- Γκατζογιάννης, 2023a. Ενιαίο σύστημα αναφοράς και ένταξης των δασοσυστάδων σε υψοποιήτητες (μετάβαση από το σύστημα ποιοτήτων τόπου σε σύστημα Υψοποιήτων). ΑΠΘ. Τμήμα δασολογίας και ΦΠ. Τόμος προς Τιμήν του Παναγιώτη Λεφάκη, σελ. 157 - 175. <https://www.for.auth.gr/uploads//Lefakis.pdf>
- Γκατζογιάννης, Σ., 2024. Εκτίμηση της τρέχουσας προσαύξησης όγκου δασοσυστάδων (Η περίπτωση των δασών οξιάς Αρναίας, Χαλκιδική). Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. ΓΕΩΤΕΕ. Τ.1, σ.4-21.
- Γκατζογιάννης, Σ., 2024a. Οι γραμμές αυτοαραίωσης  $N_{max}$  και  $G_{max}$  ως αφετηρίες για δασοκομικό χειρισμό και δασοαποδοτική έρευνα. Υπό δημοσίευση στα Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα. ΓΕΩΤΕΕ.
- Γκατζογιάννης, Σ., Παλάσκας, Δ. 2021. Πίνακες παραγωγής Μαύρης πεύκης Β. Γράμμου. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Σελ.10-31.
- Γκατζογιάννης, Σ., Ποϊραζίδης Κ., Μπακαλούδης Δ., Ζυγούρα Β. και Ντασιπούλου Γ., 2002. Εγκατάσταση συστήματος επιστημονικής παρακολούθησης των δασικών σχηματισμών στο προστατευόμενο δάσος Διαδιάς Έβρου και πρώτα αποτελέσματα. (Αυτοτελής έκδοση, σελ. 40) ΙΔΕ/ΕΘΙΑΓΕ, WWF Ελλάς (Τμήμα του ευρύτερου συστήματος Παρακολούθησης του δάσους Διαδιάς: Ποϊραζίδης κ.ά. 2002).

## Ανάλυση Μοριακής και Φαινοτυπικής Ποικιλότητας Πληθυσμού Λεύκης Στο Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού

Αργυρώ Σταμπούλη, Φίλιππος Α. Αραβανόπουλος<sup>1</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε με μοριακή γενετική και μορφομετρική ανάλυση ο πληθυσμός λεύκης που φύτεται στην παρόχθια ζώνη του Γαλλικού ποταμού, στο Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού. Με χρήση μοριακών γενετικών δεικτών επτά πυρηνικών μικροδορυφόρων επιβεβαιώθηκε ότι πρόκειται για έναν φυσικοποιημένο (naturalized) πληθυσμό του ξενικού υβριδίου *Populus x euramericana*, με παρουσία τεσσάρων διαφορετικών κλώνων. Μελετήθηκαν επίσης, αυξητικά γνωρίσματα των ατόμων και αξιολογήθηκαν μορφομετρικές παράμετροι του φύλλου. Ο πληθυσμός εμφανίζει υψηλό πολυμορφισμό και αξιόλογες τιμές γενετικής ποικιλότητας (π.χ. αναμενόμενη ετεροζυγωτία  $H_e=0,482$ ), εξαιτίας της υψηλής ετεροζυγωτίας του κάθε κλώνου ξεχωριστά, αν και ο γενοτυπικός πλούτος είναι χαμηλός ( $R=0,16$ ). Επίσης, βρέθηκε αξιόλογη φαινοτυπική παραλλακτικότητα σε αυξητικά χαρακτηριστικά και μορφολογικά γνωρίσματα. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός της ύπαρξης, εντός του δικτύου Natura 2000, ενός πληθυσμού ξενικών υβριδίων και το εξαιρετικά χαμηλό ενεργό μέγεθος πληθυσμού ( $N_e$ ), συμπέρασμα της μελέτης αποτελεί η προτροπή για μακροπρόθεσμη αντικατάσταση του πληθυσμού με επανεισαγωγή των γηγενών ειδών λεύκης.

**Λέξεις κλειδιά:** *Populus x euramericana*, φαινοτυπική παραλλακτικότητα, γενετική ποικιλότητα, κλώνοι, δραστικό μέγεθος πληθυσμού.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

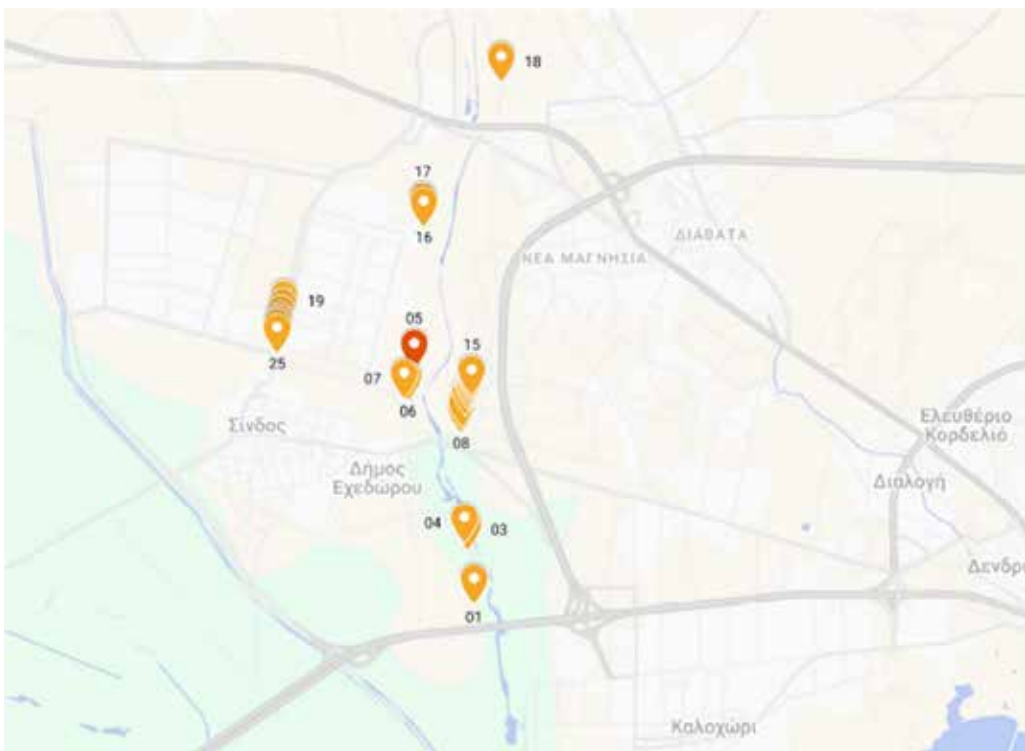
Το Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού αποτελεί προστατευόμενη περιοχή ύψιστης σημασίας για τη βιοποικιλότητα, περιλαμβάνοντας τις εκβολές των ποταμών Γαλλικού και Λουδία, τα δέλτα των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα, τους υδροτόπους Νέας Αγαθούπολης και Αλυκής Κίτρους και τη Λιμνοθάλασσα Καλοχωρίου. Η προστασία της περιοχής ξεκίνησε το 1971, με την ένταξη της στην Σύμβαση Ραμσάρ, ως Υγροτόπου Διεθνούς Σημασίας (Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού, 2025). Το 2006, η περιοχή προτάθηκε, επίσης, ως Τόπος Κοινοτικής Σημασίας (SCI). Το Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αξιού εντάχθηκε στο δίκτυο Natura 2000 με κωδικό GR1220002 και το 2011 ορίστηκε ως Ειδική Ζώνη Διατήρησης (SAC). Στις κοίτες του κυριαρχούν είδη *Salix* και *Tamarix*, ενώ στα παραποτάμια δάση, είδη *Salix*, *Populus*, *Alnus* και *Ulmus*. Ιδιαίτερα τα παρόχθια δάση λεύκης είναι πολύ σημαντικά καθώς το γένος *Populus* παρέχει σειρά οικολογικών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένης της σημαντικής δέσμευσης άνθρακα, της βιοαποκατάστασης, του κύκλου θρεπτικών ουσιών, της βιοδιήθησης σε ποικίλα ενδονειήματα (Gail, 2002; Brunner et al., 2004), στη μείωση της ρύπανσης και στη ρύθμιση του μικροκλίματος (de Rigo et al., 2016). Στο Εθνικό Πάρκο, έχουν καταγραφεί δύο σχετικοί τύποι οικοτόπων (3280 και 92A0) (Εθνικό Πάρκο Δέλτα

Αξιού, 2025).

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, κατά κύριο λόγο σε περιοχές των δασών λεύκης (κυρίως λευκή (*Populus alba*) και μαύρη (*P. nigra*) λεύκη) και λιγότερο σε δάση ιτιάς (κυρίως *Salix alba*), καθώς και στις περιοχές των αναχωμάτων των ποταμών Γαλλικού, Λουδία, Αξιού και Αλιάκμονα, εγκαταστάθηκαν φυτείες λευκοκαλλιέργειας ευρωαμερικανικών υβριδίων (Αθανασίου, 2010). Η λευκοκαλλιέργεια διατηρήθηκε για περίπου 40 χρόνια (η παραγωγή πιστοποιημένων υβριδίων λεύκης από το Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης σταμάτησε το 1995). Ο Φορέας Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού ιδρύθηκε το 2002. Θεωρητικά όλες οι φυτείες λευκοκαλλιέργειας υλοτομήθηκαν πριν ή κατά την εγκατάσταση του Εθνικού Πάρκου.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η μορφομετρική και γενετική ποικιλότητα πληθυσμού λεύκης, που βρίσκεται στον κάτω ρου του Γαλλικού ποταμού εντός του Εθνικού Πάρκου (Σχήμα 1). Ο σκοπός της εργασίας είναι να συγκριθεί το εύρος της μορφομετρικής και γενετικής ποικιλότητας του πληθυσμού με τις τιμές που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, να διερευνηθεί η κλωνικότητα του πληθυσμού μέσω της εκτίμησης του γενοτυπικού πλούτου και να διερευνηθεί η πιθανή ύπαρξη υβριδισμού.

1. Εργαστήριο Δασικής Γενετικής, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 55124, E-mail: aravanop@for.auth.gr



**Σχήμα 1:** Χάρτης του πληθυσμού στις όχθες του Γαλλικού ποταμού στον δήμο Εχεδώρου.

**Figure 1:** Map showing the population distribution along the Gallikos River in Echedoros Municipality.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρόχθια ζώνη του κάτω ρου του Γαλλικού ποταμού, εντός του Εθνικού Πάρκου (περιοχή του Δήμου Εχεδώρου), σε μέσο υψόμετρο 16 μ., έγινε τυχαία επιλογή 25 υγιών ατόμων, τα οποία φαινοτυπικά χαρακτηρίστηκαν ως άτομα μαύρης λεύκης. Τα άτομα βρίσκονταν σε απόσταση, τουλάχιστον 30 μ. μεταξύ τους για να αποφευχθεί θεωρητικά η συλλογή συγγενών ατόμων.



**Σχήμα 2:** Απεικόνιση των κυριότερων μορφομετρικών παραμέτρων μεγέθους σε τυχαίο φύλλο λεύκης του πληθυσμού (LL: μήκος φύλλου, TL: μήκος κορυφής, BW: μήκος από βάση φύλλου ως το σημείο μέγιστου πλάτους, PL: μήκος μίσχου, LW: πλάτος φύλλου).

**Figure 2:** Illustration of the main leaf morphometric parameters in a random leaf. of the sampled population (LL: leaf length, TL: tip length, BW: Length of the leaf base to leaf widest point, PL: petiole length, LW: leaf width).

Σε κάθε άτομο καταγράφηκε η διάμετρος, το ύψος, το πάχος φλοιού, η ευθυτένια, η γωνία κλάδων και η διχάλωση και το φύλο καθώς η λεύκη είναι δίοικο είδος. Η καταγραφή των φαινολογικών μετρήσεων συμπεριλαμβανομένου του φύλου έγινε την αρχή της άνοιξης κατά την ανθοφορία, ενώ η δειγματοληψία φύλλων στην αρχή του θέρους όταν όλα τα φύλλα ήταν πλήρως ανεπτυγμένα. Για κάθε παράμετρο υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά σε επίπεδο ατόμου και πληθυσμού. Ελήφθησαν, επίσης, δείγματα 10 πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων, ανά άτομο, από πλάγιο κλάδο νότιας έκθεσης, πλήρως εκτεθειμένο στο φως σε ύψος 2 μ.

Στη συνέχεια, τα φύλλα σαρώθηκαν και μελετήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ImageJ/Fiji (Ferreira & Rasband, 2012). Μελετήθηκαν, συνολικά, 22 μορφομετρικά γνωρίσματα για κάθε ένα από τα 250 φύλλα (Σχήμα 2), εκ των οποίων 14 ήταν παράμετροι μεγέθους και οκτώ παράμετροι σχήματος (Αγρανωπούλος, 2005; 2010), οι οποίες παρουσιάζονται στους Πίνακες I και II.

**Πίνακας Ι:** Παράμετροι μεγέθους που αναλύθηκαν για κάθε φύλλο στον πληθυσμό λεύκης στον κάτω ρου του Γαλλικού ποταμού.

**Table I:** Leaf size variables that were analyzed in the poplar population of the lower Gallikos river.

| A/A | Συμβολισμός | Παράμετρος μεγέθους                                              | Μονάδα μέτρησης |
|-----|-------------|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1   | Area        | Φυλλική επιφάνεια                                                | cm <sup>2</sup> |
| 2   | Perimeter   | Περίμετρος                                                       | cm              |
| 3   | Circularity | Κυκλικότητα                                                      | °               |
| 4   | Feret       | Διαγώνιος                                                        | cm              |
| 5   | Feret Angle | Γωνία διαγωνίου                                                  | cm              |
| 6   | LL          | Μήκος φύλλου                                                     | cm              |
| 7   | TL          | Μήκος της κορυφής του φύλλου                                     | cm              |
| 8   | PL          | Μήκος του μίσχου του φύλλου                                      | cm              |
| 9   | BW          | Μήκος της βάσης του φύλλου από το σημείο με το μεγαλύτερο πλάτος | cm              |
| 10  | LW          | Μέγιστο πλάτος του φύλλου                                        | cm              |
| 11  | TEL         | Αριθμός δοντιών ανά cm της αριστερής πλευράς του φύλλου          | Αριθμός/ cm     |
| 12  | TER         | Αριθμός δοντιών ανά cm της δεξιάς πλευράς του φύλλου             | Αριθμός/ cm     |
| 13  | VNL         | Αριθμός των κύριων νεύρων στην αριστερά πλευρά του φύλλου        | Αριθμός         |
| 14  | VNR         | Αριθμός των κύριων νεύρων στην δεξιά πλευρά του φύλλου           | Αριθμός         |

**Πίνακας ΙΙ:** Παράμετροι σχήματος που αναλύθηκαν για κάθε φύλλο στον πληθυσμό λεύκης στον κάτω ρου του Γαλλικού ποταμού.

**Table II:** Leaf shape size variables that were analyzed in the poplar population of the lower Gallikos river.

| A/A | Συμβολισμός  | Παράμετρος σχήματος                                                                             | Μονάδα μέτρησης |
|-----|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1   | Aspect Ratio | Λόγος μήκους / πλάτους φύλλου                                                                   | Αριθμός         |
| 2   | Roundness    | Καμπυλότητα                                                                                     | Αριθμός         |
| 3   | Solidity     | Στερεότητα (επιφάνεια φύλλου / επιφάνεια κυρτού πολυγώνου που περιέχει το φύλλο)                | Αριθμός         |
| 4   | LL/TL        | Λόγος μήκους φύλλου / μήκους κορυφής φύλλου                                                     | Αριθμός         |
| 5   | LL/BW        | Λόγος μήκους φύλλου / μήκους της βάσης του φύλλου από το σημείο με το μεγαλύτερο πλάτος         | Αριθμός         |
| 6   | LL/PL        | Λόγος μήκους φύλλου / μήκους μίσχου φύλλου                                                      | Αριθμός         |
| 7   | TL/BW        | Λόγος μήκους κορυφής φύλλου / μήκους της βάσης του φύλλου από το σημείο με το μεγαλύτερο πλάτος | Αριθμός         |
| 8   | TL/PL        | Λόγος μήκους κορυφής φύλλου / μήκους μίσχου φύλλου                                              | Αριθμός         |

**Πίνακας III:** Στοιχεία των επτά εκκινητών SSR.  
**Table III:** Information on the seven SSR primers.

| Γονιδιακή<br>θέση | Αλληλουχία<br>(F,R,5'-3')                            | Φθορίζον<br>μόριο | Εύρος<br>αλληλομόρφων | Βιβλιογραφία                  |
|-------------------|------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|
| WPMS05            | TTCTTTTTCAACTGCCTAACTT<br>TGATCCAATAACAGACAGAACA     | HEX               | 272–306               | Van der Schoot et al.<br>2000 |
| WPMS09            | CTGCTTGCTACCGTGGAACA<br>AAGCAATTTGGGTCTGAGTATCTG     | TAMR              | 237–255               | Van der Schoot et al.<br>2000 |
| WPMS14            | CAGCCGCAGCCACTGAGAAATC<br>GCCTGCTGAGAAGACTGCCTTGAC   | HEX               | 235-280               | Fossati et al., 2003          |
| WPMS18            | CTTCACATAGGACATAGCAGCATC<br>CACCAGAGTCATCACCAGTTATTG | TAMR              | 220-244               | Fossati et al., 2003          |
| WPMS20            | GTGCGCACATCTATGACTATCG<br>ATCTTGTAATTCTCCGGGCATCT    | FAM               | 224-236               | Fossati et al., 2003          |
| PMGC14            | TTCAGAATGTGCATGATGG<br>GTGATGATCTACCGTTTG            | FAM               | 194–315               | Rathmacher et al. 2009        |
| PMGC2163          | CAATCGAAGGTAAGGTTAGTG<br>CGTTGGACATAGATCACACG        | HEX               | 196–252               | Rathmacher et al. 2009        |

Συνολικά ελήφθησαν 5.500 ποσοτικές μετρήσεις, οι οποίες επεξεργάστηκαν στατιστικά, με το λογισμικό IBM SPSS Statistics (29.0). Για την αξιολόγηση της μορφομετρικής παραλλακτικότητας του πληθυσμού, υπολογίστηκαν οι βασικές περιγραφικές στατιστικές παράμετροι κεντρικής τάσης και διασποράς της μορφομετρίας του φύλλου. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας δεδομένων, με τις δοκιμές Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk, και σύγκριση των ομάδων αρσενικών και θηλυκών ατόμων, με τη χρήση των δοκιμών Student's t και Mann-Whitney U αναλόγως της κανονικότητας ή μη, της κατανομής, στο λογισμικό IBM SPSS Statistics. Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών γενοτύπων (κλώνων) και μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Τα φύλλα χρησιμοποιήθηκαν για εκχύλιση και απομόνωση DNA με τη μέθοδο CTAB (Doyle & Doyle, 1990) και πραγματοποιήθηκε αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR). Χρησιμοποιήθηκαν επτά εκκινητές πυρηνικών μικροδορυφόρων (SSR) (Πίνακας III), κατάλληλοι για τη διάκριση κλώνων και υβριδίων του Section Aegiros, στο οποίο ανήκουν οι αυτοφυείς λεύκες της περιοχής (van der Schoot et al. 2000; Fossati et al., 2003; Rathmacher et al., 2009). Η ανάλυση τριχοειδούς ηλεκτροφόρησης έλαβε χώρα σε αλληλουχητή ABI 3730xl (Applied Biosystems)

και τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στο λογισμικό GeneMapper v4.0 (Applied Biosystems). Με το λογισμικό GenAlex (Peakall & Smouse, 2012) εκτιμήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι: ποσοστό πολυμορφισμού (P), αριθμός αλληλομόρφων ανά γονιδιακή θέση ( $N_a$ ), αριθμός δραστικών αλληλομόρφων ( $N_e$ ), αναμενόμενη ετεροζυγωτία ( $H_e$ ), παρατηρούμενη ετεροζυγωτία ( $H_o$ ), δείκτης Shannon (I) και δείκτης ομοειξίας (F). Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το ενεργό (δραστικό) μέγεθος πληθυσμού ( $N_e$ ) στο λογισμικό NeEstimator με δύο εκδοχές της μεθόδου της ανισορροπίας σύνδεσης (αλληλομόρφοι με συχνότητα  $> 0,05$  και αλληλομόρφοι με συχνότητα  $> 0,02$ ), λαμβάνοντας υπόψη το ότι λόγω μικρού μεγέθους πληθυσμού, μια τυχαία γενετική εκτροπή μπορεί να οδηγήσει σε μη συσχετιζόμενα συμπεράσματα μεταξύ αλληλομόρφων από διαφορετικές γονιδιακές θέσεις (Rajora et al., 2019 Aravanopoulos et al., 2020). Επίσης, το  $N_e$  υπολογίστηκε με ένα δεύτερο τρόπο λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία θηλυκών και αρσενικών ατόμων.

#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της γενετικής ανάλυσης έδειξαν υψηλό πολυμορφισμό ( $P=1,000$ ), με μέσο αριθμό αλληλομόρφων ανά γονιδιακή θέση  $N_a=2,643$  (Πίνακας IV).

**Πίνακας IV:** Αριθμός διαφορετικών αλληλομόρφων, δραστικών αλληλομόρφων, δείκτης Shannon, παρατηρούμενη και αναμενόμενη ετεροζυγωτία, και ο μέσος όρος τους ανά γονιδιακή θέση.

**Table IV:** Number of alleles, active alleles, Shannon index, observed and expected heterozygosity and their average per locus.

| Locus              | Na    | Ne    | I     | Ho    | He    |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| WPMS05             | 3,000 | 2,306 | 0,891 | 0,979 | 0,559 |
| WPMS09             | 2,500 | 2,042 | 0,736 | 1,000 | 0,510 |
| WPMS14             | 2,500 | 1,758 | 0,518 | 0,500 | 0,301 |
| WPMS18             | 2,500 | 2,198 | 0,821 | 1,000 | 0,541 |
| WPMS20             | 2,500 | 1,644 | 0,563 | 0,625 | 0,362 |
| PMGC14             | 3,000 | 2,600 | 0,974 | 1,000 | 0,594 |
| PMGC2163           | 2,500 | 2,042 | 0,736 | 1,000 | 0,510 |
| $\bar{x}$          | 2,643 | 2,084 | 0,749 | 0,872 | 0,482 |
| Τυπικό σφάλμα μ.δ. | 0,248 | 0,142 | 0,080 | 0,086 | 0,046 |

Οι τιμές της αναμενόμενης ετεροζυγωτίας ( $H_e$ ) κυμάνθηκαν από 0,301 μέχρι 0,594 με μέση τιμή 0,482 και της παρατηρούμενης ετεροζυγωτίας ( $H_o$ ) από 0,500 μέχρι 1,000 με μέση τιμή 0,872 (Πίνακας IV). Οι τιμές είναι παρόμοιες με αυτές που συναντώνται στην αντίστοιχη βιβλιογραφία. Για την *Populus alba* οι Rundu et al. (2008), αναφέρουν  $N_a=5,15$ . Στην εργασία της *Populus tremuloides* των De Woody et al. (2009), οι γενετικοί δείκτες SSR παρουσίασαν επίσης  $P=1,000$ , με  $H_o=0,515$  και  $H_e=0,740$ . Στην *Populus tremuloides* οι Jelinski και Cheliak (1992) αναφέρουν  $N_a=2,400$ ,  $H_o=0,320$  και  $H_e=0,290$ . Για την *Populus nigra*, οι Imbert και Lefèvre (2003) αναφέρουν  $H_o=0,780$  και  $H_e=0,730$ . Οι τιμές των παραμέτρων γενετικής ποικιλότητας της παρούσας έρευνας έρχονται, επίσης, σε συμφωνία με την εργασία για την *Populus simonii* των Wei et al. (2012), όπου η  $H_e$  κυμάνθηκε από 0,218

έως 0,792 και η  $H_o$  από 0,360 έως 0,941 σε 20 γονιδιακές θέσεις. Τέλος, τα αποτελέσματα συμφωνούν και με την γενετική ανάλυση των *Populus alba* και *Populus tremula* από τους Lexer et al. (2005), όπου η  $H_o$  λαμβάνει τιμές από 0,368 έως 0,512 και η  $H_e$  από 0,341 έως 0,483.

Επομένως, οι επτά εκκινητές SSR της παρούσας εργασίας βρέθηκαν 100% πολυμορφικοί, τα αποτελέσματα των μέσων όρων της παρατηρούμενης και της αναμενόμενης ετεροζυγωτίας, όπως και των αλληλομόρφων ανά γονιδιακή θέση βρέθηκαν ότι συμφωνούν με αυτά της διεθνούς βιβλιογραφίας, και η γενετική ποικιλότητα ήταν, γενικά, υψηλή. Επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη του ξενικού υβριδίου *Populus x euramericana*, με τέσσερις κλώνους (I-214, I-455, Jacometti και Ostia) του οποίου οι πολυγονιακοί γενότυποι μικροδορυφορικών γονιδιακών θέσεων είναι γνωστοί

**Πίνακας V:** Υπολογισμός ενεργού (δραστικού) μεγέθους πληθυσμού με χρήση αλληλομόρφων συχνότητας  $>0,05$  (περίπτωση 1) και  $>0,02$  (περίπτωση 2) αντίστοιχα και την εφαρμογή της μεθόδου της ανισορροπίας σύνδεσης.

**Table V:** Estimation of effective population size ( $N_e$ ) by employing alleles frequencies  $>0.05$  (case 1) and  $>0.02$  (case 2), using the linkage disequilibrium method.

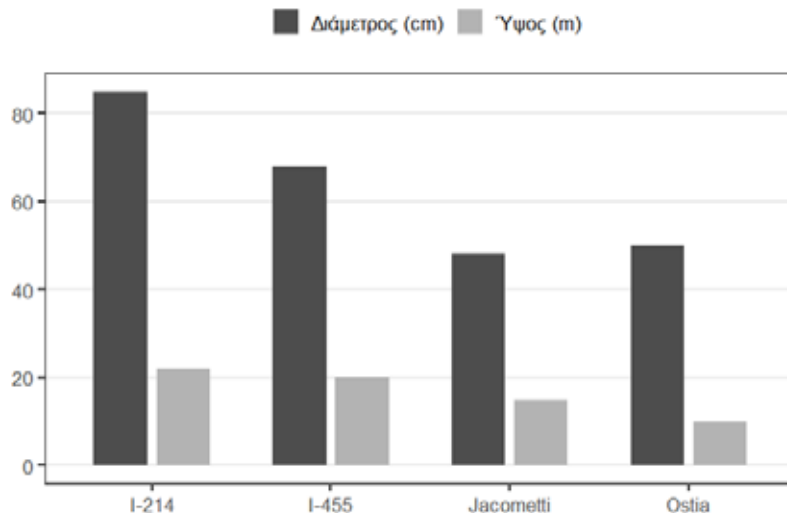
| Παράμετρος                              | $N_e$ (περίπτωση 1) | $N_e$ (περίπτωση 2) |
|-----------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Ελάχιστη συχνότητα αλληλομόρφων         | 0,050               | 0,020               |
| Αρμονικός μέσος όρος μεγέθους δείγματος | 25,0                | 25,0                |
| Αριθμός ανεξάρτητων συγκρίσεων          | 138,0               | 153,0               |
| Συνολικό $r^2$                          | 0,336               | 0,298               |
| Αναμενόμενο $r^2$ δείγματος             | 0,045               | 0,045               |
| Εκτιμώμενο $N_e$                        | 0,500               | 0,600               |
| Διάστημα εμπιστοσύνης $N_e$ 95%         | 0,400               | 0,400               |

(Rathmacher et al., 2009) και συμπίπτουν με τους γενοτύπους που καταγράφηκαν στην παρούσα εργασία σε όλες τις γονιδιακές θέσεις. Για το λόγο αυτό, παρόλη την υψηλή ετεροζυγωτία, ο γενοτυπικός πλούτος του πληθυσμού είναι χαμηλός ( $R=0.16$ ).

Ο συνδυασμός υψηλών τιμών γενετικής ποικιλότητας και χαμηλού γενοτυπικού πλούτου παρατηρείται, επίσης, σε φυσικούς πληθυσμούς των πατρικών ειδών (*P. nigra* και *P. deltoides*) λόγω αυξημένης κλωνικότητας (Smulders et al. 2008). Ο υβριδισμός των παραπάνω ειδών που οδηγεί στο *Populus × euramericana*,

λαμβάνουν υπόψη, (i) τα αλληλόμορφα με συχνότητα  $>0,05$  και (ii) τα αλληλόμορφα με συχνότητα  $>0,02$ , οι τιμές, που προέκυψαν, ήταν πολύ χαμηλές (Πίνακας V): στην πρώτη περίπτωση βρέθηκε  $N_e=0,50$  με το 95% διάστημα εμπιστοσύνης να είναι 0,40 έως 0,70, ενώ στην δεύτερη περίπτωση βρέθηκε  $N_e=0,60$  με το 95% διάστημα εμπιστοσύνης να είναι 0,40 έως 1,00 (Πίνακας V). Το αποτέλεσμα αυτό σημαίνει ότι η βιολογικά αποδεκτή τιμή για το  $N_e$  είναι 1,00.

Με βάση την αναλογία φύλου το ενεργό μέγεθος πληθυσμού βρέθηκε  $N_e=3,84$ . Επομένως, βρέθηκε και



**Σχήμα 3:** Κυριότερες αυξητικές διαφορές μεταξύ κλώνων.

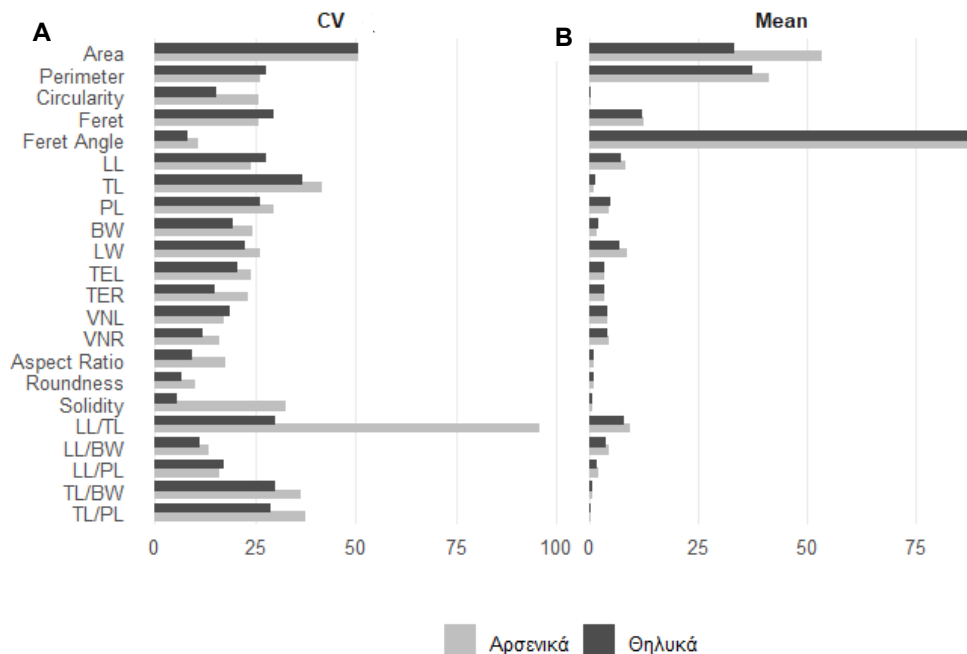
**Figure 3:** Key differences in growth among clones

ενισχύει περαιτέρω αυτό το φαινομενικά παράδοξο πρότυπο. Πέραν του ότι τα υβρίδια εμφανίζουν υψηλό πολυμορφισμό και αυξημένη ετεροζυγωτία, καθώς συνδυάζουν διαφορετικά πατρικά αλληλόμορφα, χαρακτηρίζονται συχνά και από αυξημένη ζωτικότητα, στοιχείο που ευνοεί την κλωνική τους εξάπλωση και τη μακροχρόνια επικράτησή τους (Vanden Broeck et al. 2012). Αφού εγκατασταθούν, τα υβρίδια μπορούν να κυριαρχήσουν στους φυσικούς πληθυσμούς και να ανταγωνιστούν αποτελεσματικά τη φυσική αναγέννηση της *P. nigra*, ιδιαίτερα σε περιοχές με συχνά πλημμυρικά φαινόμενα, όπως η περιοχή του Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αζιού, οδηγώντας σε πληθυσμούς με υψηλή ετεροζυγωτία αλλά εξαιρετικά χαμηλό γενοτυπικό πλούτο (Vanden Broeck et al. 2004).

Ο υπολογισμός του ενεργού (δραστικού) μεγέθους πληθυσμού ( $N_e$ ) έγινε με δύο τρόπους, την μέθοδο NeEstimator και τη μέθοδο της αναλογίας φύλου. Με βάση τις δύο εκδοχές της μεθόδου NeEstimator, που

στις δύο μετρήσεις πολύ μικρό,  $1,00 \leq N_e \leq 4,00$ . Το γεγονός αυτό οφείλεται, κυρίως, στη διαφορά αναλογίας των ατόμων διαφορετικού φύλου.

Καθώς η μοριακή γενετική ανάλυση ανέδειξε την ύπαρξη τεσσάρων κλώνων υβριδίων, η αξιολόγηση της μορφομετρικής παραλλακτικότητας επεκτάθηκε στις συγκρίσεις μεταξύ κλώνων. Οι τέσσερις κλώνοι παρουσιάζουν σημαντική φαινοτυπική παραλλακτικότητα με αξιολογες, ωστόσο, διαφορές μεταξύ τους. Τα αυξητικά δεδομένα (Σχήμα 3) έδειξαν σημαντικές διαφορές στη διάμετρο με σαφή υπεροχή του I-214, ενώ ακολουθούν οι I-455, Jacometti και Ostia. Στο ύψος οι διαφορές ήταν μικρότερες, με εμφανείς δύο ομάδες, αυτήν των I-214 και του I-455 και με μικρότερη αύξηση η ομάδα των Jacometti και Ostia. Το εύρημα αυτό είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας των συγκεκριμένων κλώνων στην Ελλάδα, όπου βρέθηκε ότι, μεταξύ άλλων, για τη λεύκη, ο κλώνος με την μεγαλύτερη παραγωγή



**Σχήμα 4:** Σύγκριση των μορφομετρικών παραμέτρων μεταξύ θηλυκών και αρσενικών. Στο (Α) παρουσιάζεται ο συντελεστής παραλλακτικότητας (CV), ενώ στο (Β) οι μέσες τιμές (Mean) για όλες τις μετρούμενες παραμέτρους. Οι ανοιχτόχρωμες μπάρες αντιστοιχούν στα θηλυκά και οι σκουρόχρωμες στα αρσενικά. Οι παράμετροι εμφανίζονται με την ίδια σειρά και στα δύο διαγράμματα για άμεση σύγκριση μεταξύ φύλου.

**Figure 4:** Comparison of morphometric parameters between males and females. Panel (A) shows the coefficient of variation (CV), while panel (B) shows the mean values (Mean) for all measured parameters. Dark grey bars represent males, and light grey bars represent females. Parameters are displayed in the same order in both panels to facilitate direct comparison between sexes.

βιομάζας ήταν ο I-214 ακολουθούμενος από τον I-455 (Aravanopoulos, 2010).

Αναφορικά με την αξιολόγηση της μορφομετρικής παραλλακτικότητας του φύλλου, γενικά, τα άτομα του συνολικού πληθυσμού της λεύκης εμφανίζουν μεγάλη μορφολογική παραλλακτικότητα (Σχήμα 4). Έγινε σύγκριση των ατόμων διαφορετικού φύλου. Αναλύθηκαν οι ομάδες θηλυκών (N=240 φύλλα) και αρσενικών ατόμων (N=10 φύλλα). Γενικά, υψηλότερες τιμές παρουσίασαν οι θηλυκοί κλώνοι έναντι του αρσενικού (14/22, ή 64% των περιπτώσεων), σε συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία, όπου οι υψηλότερες τιμές των θηλυκών κλώνων έχουν συνδεθεί με την μεγαλύτερη αύξηση και δέσμευση άνθρακα, αλλά εν δυνάμει μεγαλύτερη ευαισθησία σε συνθήκες καταπόνησης (Miao et al., 2020).

Ο μικρότερος συντελεστής παραλλακτικότητας παρατηρείται στο αρσενικό άτομο στην παράμετρο της στερεότητας με τιμή 5,67% και τη μεγαλύτερη

τιμή παρατηρούμε στα θηλυκά άτομα στο λόγο LL/TL με τιμή 95,84%. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή βρέθηκε στην παράμετρο της φυλλικής επιφάνειας, τόσο στα θηλυκά άτομα, όσο και στα αρσενικά, με τιμές 50,75% και 50,780% αντίστοιχα, οι οποίες υποδεικνύουν μεγάλη παραλλακτικότητα. Τιμές CV από μηδέν έως 10% δηλώνουν υψηλή ακρίβεια, ενώ τιμές μεγαλύτερες από 30% δηλώνουν πολύ μικρή ακρίβεια (Μενεξές & Κουτσός, 2016). Οι συγκρίσεις μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων έδειξαν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (7/22, ή 32%). Οι στατιστικά σημαντικές διαφορές επικεντρώθηκαν στις παραμέτρους σχήματος (4/8, ή 50%) και όχι στις παραμέτρους μεγέθους (2/14, ή 21%) (μη παρουσιαζόμενα αποτελέσματα). Οι συγκρίσεις των τεσσάρων διαφορετικών κλώνων ανά δύο (έξι συγκρίσεις), έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, τόσο σε παραμέτρους μεγέθους όπως στη φυλλική επιφάνεια, όσο και σε παραμέτρους



σχήματος όπως στην κυκλικότητα φύλλων. Ωστόσο, κατά περίπτωση, το εύρος των διαφορών παρουσίασε διακύμανση με τις λιγότερες διαφορές να παρατηρούνται στη σύγκριση I-214 και Jacometti (7/22, ή στο 32% των συγκρίσεων) και οι μεγαλύτερες στη σύγκριση μεταξύ I-214 και Ostia (13/22, ή 59%) (μη παρουσιαζόμενα αποτελέσματα).

Τα υβρίδια *Populus x euramericana*, γνωστά και ως «ευρωαμερικανικά» προήλθαν από την διασταύρωση των *Populus nigra* και *Populus deltoides* (Αθανασιάδης, 1986). Το υβρίδιο *Populus x euramericana* αποτελεί την πρώτη επιλογή στη δημιουργία ταχυαυτών και υψηλοαποδοτικών φυτειών, λόγω της ταχείας ανάπτυξης, της ανθεκτικότητας και της σχετικής αντοχής του σε υδατική καταπόνηση (Zerbe, 2003, Zhang et al., 2023). Στις παρόχθιες ζώνες της βόρειας Ελλάδας φυτεύονταν από το 1950, ταχυαυτά υβρίδια και κλώνοι λεύκης, που έφτασαν να παράγουν το 18% περίπου της συνολικής ξυλοπαραγωγής της χώρας, καθώς έχουν πολύ μεγάλη απόδοση σε μικρό περίτροπο χρόνο, ιδιαίτερα σε πολύ παραγωγικά παρόχθια εδάφη (Zsuffa et al. 1977, 1995, Kenney et al., 1999, Αβτζής κ.α., 1999, Ζόγκαρης κ.α., 2007, Αραβανόπουλος 2010). Μετά το 2000 τα κρατικά προγράμματα εντατικής δασοπονίας δυστυχώς ατόνησαν λόγω αλλαγών στη διαχείριση και στις ανάγκες της αγοράς, παρόλα τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους (αειφορική παραγωγή ξυλείας, δέσμευση CO<sub>2</sub>) (Αραβανόπουλος, 2016). Είναι προφανές ότι, ο πληθυσμός λεύκης του Γαλλικού ποταμού που μελετήθηκε και αποτελείται από διάσπαρτα άτομα στις παρόχθιες περιοχές, είναι υπόλειμμα των παλιών φυτειών, οι οποίες, επίσης, προφανώς δεν υλοτομήθηκαν ή δεν εκριζώθηκαν πλήρως.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βρέθηκε ότι ο πληθυσμός λεύκης του κάτω ρου του Γαλλικού ποταμού που βρίσκεται εντός του Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού, αν και φαινοτυπικά προσομοιάζει με τη μαύρη λεύκη αποτελείται από

τέσσερις γνωστούς υψηλοπαραγωγικούς κλώνους ευρωαμερικανικών υβριδίων λεύκης (υβριδίων της αμερικανικής δελτοειδούς και της ευρωπαϊκής μαύρης λεύκης). Αποτελεί, σαφώς, υπόλειμμα των παλαιών φυτειών λευκοκαλλιέργειας που ήταν εκτεταμένες στην περιοχή αυτή, πριν τη δημιουργία του Εθνικού Πάρκου. Παρόλη την υψηλή γενετική ποικιλότητα και μορφομετρική παραλλακτικότητα του πληθυσμού, ο γενοτυπικός πλούτος είναι χαμηλός ( $R=0,16$ ) και το ενεργό (δραστικό) μέγεθος πληθυσμού ( $N_e$ ) είναι, όπως αναμένεται, πολύ χαμηλό ( $1.00 \leq N_e \leq 4.00$ ) και επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι ένας τέτοιος πληθυσμός μπορεί να είναι καλά προσαρμοσμένος σε βάθος χρόνου, σε σχέση με τις αναμενόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, λόγω της κλιματικής αλλαγής. Σημειώνεται, επίσης, ότι το υβρίδιο *P. x euramericana* δεν θεωρείται ιδιαίτερα ξηρανθεκτικό, αν και σε ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να είναι ανταγωνιστικό και να δημιουργήσει περαιτέρω προβλήματα στην εγκατάσταση ή στη φυσική αναγέννηση των τοπικών ειδών της λευκής (*P. alba*) και μαύρης (*P. nigra*) λεύκης. Ο πληθυσμός υβριδίων λεύκης αποτελεί έναν φυσικοποιημένο (naturalized) πληθυσμό των παλαιών λευκοκαλλιεργειών, ο οποίος επιβίωσε και διατηρήθηκε έπειτα από την ένταξη της περιοχής στο δίκτυο Natura 2000 και την ανακήρυξη του Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού. Ο πληθυσμός αυτός προφανώς δεν πληροί τα κριτήρια, κατά την γενετική έννοια, για να θεωρείται φυσικός πληθυσμός και πρέπει σταδιακά και μεσοπρόθεσμα να αντικατασταθεί μέσω επανεισγώγης των γηγενών ειδών λεύκης από παρακείμενους φυσικούς πληθυσμούς και εκρίζωσης (εκπρέμνωσης) όλων των ξενικών υβριδίων. Επιβάλλεται, επίσης, να πραγματοποιηθεί γενετική ανάλυση σε όλο το Εθνικό Πάρκο (περιοχές πρηνών Αξιού, Λουδία, Αλιάκμονα) καθώς ενδέχεται και εκεί να υπάρχουν ξενικά υβρίδια. Η αντικατάσταση των ξενικών υβριδίων πρέπει να είναι σταδιακή, για να αποφευχθούν τυχόν ζητήματα διάβρωσης στα πρηνά των ποταμών του Δέλτα.

# Analysis of molecular and morphometric diversity in a poplar population of the Axios Delta National Park

Argyro Stampouli<sup>1</sup>, Filippos A. Aravanopoulos<sup>1</sup>

## ABSTRACT

A poplar population in the riparian zone located within the boundaries of Axios Delta National Park, was studied using genetic, phenological and morphometric analyses. Seven nuclear microsatellite DNA (SSR) markers were used and confirmed that the population is a naturalized stand of the hybrid *Populus x euramericana*, with low genotypic richness and different clones present in varying numbers. The population exhibits high polymorphism and notable genetic diversity ((e.g. expected heterozygosity,  $H_e = 0.550$ ), attributable to the high heterozygosity of each individual clone, despite low genotypic richness ( $R = 0.16$ ). Furthermore, considerable phenotypic variability was detected in growth characteristics and morphological traits. Nevertheless, the effective population size is extremely low. Based on the present findings, the population consisting of introduced euramerican poplar hybrids, occurring within a National Park that is also part of the Natura 2000 network, should be progressively removed through logging and stump removal, and replaced by the reintroduction of the native poplar species *P. nigra* and *P. alba*.

**Key words:** *Populus x euramericana*, phenotypic variance, genetic diversity, clones, effective population size.

---

1. Laboratory of Forest Genetics & Tree Breeding, Faculty of Agriculture, Forest Science & Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, PO Box 238, Thessaloniki GR54006

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αβτζής, Ν., Διαμαντής, Σ., Κούκος, Π., Πανέτσος, Κ., Τσιόντσης, Αλέξανδρος. 1999. Οδηγός Λευκοκαλλιέργειας. Έκδοση: Υπουργείο Γεωργίας, Γενική Γραμματεία Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος, Γενική Διεύθυνση Ανάπτυξης και Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος, Διεύθυνση Ανάπτυξης Φυσικών Πόρων, Τμήμα Δασικών Εφαρμογών.
- Αραβανόπουλος, Φ.Α. 2016. Εντατικές φυτείες βιομάζας / βιοενέργειας ξυλωδών ειδών μικρού περιόδου στην Ελλάδα: που βρισκόμαστε, που μπορούμε να φτάσουμε. Επιστημονική Ημερίδα ΚΑΠΕ, Θεσσαλονίκη.
- Αθανασιάδης, Η. Νικόλαος. 1986. Δασική Βοτανική (Δέντρα και θάμνοι των δασών της Ελλάδος) Μέρος II. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Μενεξές, Γ., Κουτσός, Θ. 2016. Σπουδαιότητα και ιδιότητες του συντελεστή παραλλακτικότητας. 16<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών «Η συμβολή της βελτίωσης των φυτών στην έξοδο από την οικονομική κρίση», 28-30 Σεπτεμβρίου, Φλώρινα, σελ. 129.
- Σ. Ζόγκαρης, Β. Χατζηρβασάνης, Α.Ν. Οικονόμου, Γ. Χατζηνικολάου, Σ. Γιακουμή, Π. Δημόπουλος. 2007. Παρόχθιες Ζώνες στην Ελλάδα, Προστατεύοντας τις παραποτάμιες οάσεις ζωής, Ειδική Έκδοση ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., Πρόγραμμα Interreg IIIC Sud, “RIPIDURABLE”.
- Εθνικό Πάρκο Δέλτα Αζιού 2025. Προστατευόμενη περιοχή, Βιοποικιλότητα, Οικότοποι. <https://axiosdelta.gr>
- Aravanopoulos, F.A., Fussi, B., Westergren, M., Bajc, M., Kavaliauskas, D., Tourvas, N., Damjanic, R., Dove, N., Šibanc, N., Alizoti, P., Malliarou, E., Avramidou, E., Barbas, E., Bozic, G., Brailey-Jones, Ph., Farsakoglou, A.M., Finzgar, D., Ganopoulos, I., Konnert, M., and H. Kraigher. 2020. Laboratory and Data Analysis in Forest Genetic Monitoring In: Bajc M, Aravanopoulos FA, Westergren M, Fussi B, Kavaliauskas D, Alizoti P, Kiourtsis F & H Kraigher (eds). Manual for Forest Genetic Monitoring. Silva Slovenica Publ., Ljubljana, 332 pp., 67-132.
- Aravanopoulos F.A. 2005. Phenotypic variation and population relationships of chestnut (*Castanea sativa*) in Greece, revealed by multivariate analysis of leaf morphometrics. Acta Horticulturae 693: 223-240.
- Aravanopoulos F.A 2010. Clonal identification based on quantitative, codominant, and dominant marker data: a comparative analysis of selected willow (*Salix* L.) clones. International Journal of Forest Research, 906310: 1-8.
- Aravanopoulos F.A. 2010. Breeding of fast growing forest tree species for biomass production in Greece. Biomass and Bioenergy 34: 1531-1537.
- Bradshaw, H., Ceulemans, R., Davis, J. et al. 2000. Emerging Model Systems in Plant Biology: Poplar (*Populus*) as A Model Forest Tree. J Plant Growth Regul. 19: 306–313.
- Brunner, A.M., Busov, V.B. and S.H. Strauss. 2004. Poplar genome sequence: functional genomics in an ecologically dominant plant species. Trends in Plant Science 9: 49-56.
- de Rigo, D., Enescu, C. M., Houston Durrant, T., and Caudullo, G. 2016. *Populus nigra* in Europe: distribution, habitat, usage, and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, 136-137.
- Doyle, J. J. and Doyle, L. J. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus 12: 13-15.
- Ferreira, T., & Rasband, W. 2012. ImageJ/Fiji 1.46r User Guide. National Institutes of Health, Bethesda, USA.
- Fossati, T., Grassi, F., Sala, F., and Castiglione, S. 2003. Molecular analysis of natural populations of *Populus nigra* L. intermingled with cultivated hybrids. Molecular Ecology 12: 2033-2043.
- Gail, T. 2002. *Populus*: Arabidopsis for Forestry. Do We Need a Model Tree? Annals of Botany 90(6): 681-9.
- Imbert, E. and Lefèvre, F. 2003. Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (*Salicaceae*) along a dynamic river system. Journal of Ecology 91: 447-456.
- Jelinski, D.E. and Cheliak, W.M. 1992. Genetic diversity and spatial subdivision of *Populus tremuloides* (*Salicaceae*) in a heterogeneous landscape. American Journal of Botany 79: 728-736.
- Jennifer De Woody, Tom H. Rickman, Bobette E. Jones, Valerie D. Hipkins. 2009. Allozyme and microsatellite data reveal small clone size and high genetic diversity in aspen in the southern Cascade Mountains. Forest Ecology and Management, Volume 258, Issue 5, pp 687-696.
- Kenney, W.A., Sennerby-Forsse, L., and P. Layton. 1990. A review of biomass quality research relevant to the use of poplar and willow for energy conversion. Biomass 21: 163-188.
- Lexer, C., Fay, M.F., Joseph, J.A., Nica, M.S. and Heinze, B. 2005. Barrier to gene flow between two ecologically divergent *Populus* species, *P. alba* (white poplar) and *P. tremula* (European aspen): the role of ecology and life history in gene introgression.

Molecular Ecology 14: 1045-1057.

Miao, L. F., et al. 2020. Sex-specific responses of *Populus deltoides* and hybrid poplar clones to combined salinity and calcium stress. *Biologia Plantarum*, 64, 456–465.

Peakall R, Smouse PE. 2012. GenAlex 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research--an update. *Bioinformatics* 28: 2537-2539.

Rajora, O. 2019. Population Genomics Concepts, Approaches and Applications. Springer Nature Switzerland.

Rathmacher, G., Niggemann, M., Wypukol, H., Gebhardt, K., Ziegenhagen, B., and Bialozyt, R. 2009. Allelic ladders and reference genotypes for a rigorous standardization of poplar microsatellite data. *Trees* 23: 573-583.

Smulders, M. J. M., et al. 2008. Structure of the genetic diversity in black poplar (*Populus nigra* L.) populations across European river systems. *Molecular Ecology*, 17, 4654–4667.

Zerbe, S. 2003. Vegetation and future natural development of plantations with the Black poplar hybrid *Populus × euramericana* Guinier introduced to Central Europe. *For. Ecol. Manag.* 179: 293–309.

Zhang, C., Dong, Y., Ren, Y., Wang, S., and Yang, M. 2023. Conjoint Analysis of Genome-Wide lncRNA and mRNA Expression during the Salicylic Acid Response in *Populus × euramericana*. *Plants* 12: 1377.

Zsuffa, L., Anderson H.W., and P. Jaciw. 1977. Trends and prospects in Ontario's poplar plantation management. *Forestry Chronicle* 53: 195-200.

Wei, Z., Du Q., Zhang, J., Li, B., and Z. Deqiang. 2012. Genetic Diversity and Population Structure in Chinese Indigenous Poplar (*Populus simonii*) Populations Using Microsatellite Markers. *Plant Molecular Biology Reporter*. 31: 620-632. v

van der Schoot, J., Pospíšková, Markéta, Vosman, B. & Smulders, Marinus J M. 2000. Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L). *Theor Appl Genet* 101: 317-322. *Theoretical and Applied Genetics*.

Vanden Broeck, A., et al. 2004. High levels of genetic diversity despite strong clonal reproduction in white poplar. *Conservation Genetics*, 5, 263–277.

Vanden Broeck, A., et al. 2012. Gene flow between cultivated poplars and native *Populus nigra* L.: implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 278, 150–158..

## Παρόδια βλάστηση δασικού δρόμου και ο διαχρονικός της ρόλος

Στεργιάδου Αναστασία<sup>1</sup> - Τριανταφυλλίδης Κυριάκος<sup>2</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ρόλος του περιαστικού δάσους Θεσσαλονίκης τις τελευταίες δεκαετίες, με την χαρακτηριστική οικιστική και πληθυσμιακή ανάπτυξη, ολοένα και διευρύνεται. Πέρα από τη βελτίωση της ζωής των κατοίκων οι ανάγκες για αναψυχή και περιβαλλοντική εκπαίδευση είναι επιτακτικές. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μελετηθεί διεξοδικά η συμβολή και η αλληλεπίδραση της παρόδιας βλάστησης στο δασικό οδικό δίκτυο της περιοχής, αλλά και στην σωστή λειτουργία της κυκλοφορίας των οχημάτων. Με την κατάλληλη διαχείριση της παρόδιας βλάστησης μπορούν να αποφευχθούν οι τυχόν αρνητικές επιπτώσεις της και να την καταστήσουν έναν καταλυτικό παράγοντα ασφάλειας του οδικού δικτύου. Τα λειτουργικά, περιβαλλοντικά αλλά και κοινωνικά οφέλη της οδικής βλάστησης είναι ποικίλα, αξιοσημείωτα και υψίστης σημασίας. Η αποφυγή της διάβρωσης των εδαφών και η συμβολή αυτής στον εμπλουτισμό των τοπικών υδροφόρων οριζόντων, η αντιανεμική προστασία, η σκίαση των δρόμων, η μείωση των θορύβων και καυσασερίων, η οριοθέτηση των στρωμάτων του οδοστρώματος, η μείωση του άγχους κατά την οδήγηση είναι ορισμένα από τα πολλά πλεονεκτήματα της. Μέσω αυτής της μελέτης αναδεικνύεται η ανάγκη εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης της παρόδιας βλάστησης, καθώς και το πόσο σημαντική είναι η σωστή επιλογή των κατάλληλων φυτικών συνδυασμών, ώστε να επιτυγχάνονται οι σκοποί εγκατάστασης της, που αφορούν κυρίως τη σταθεροποίηση των πρανών και κατ' επέκταση την αποφυγή διάβρωσης των εδαφών. Επιπλέον, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα οδηγεί και στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος της δασικής οδού κατά τη λειτουργία της. Έγινε η καταγραφή των φυτικών ειδών στα πρανή του οδικού άξονα και βάσει των κλιματικών συνθηκών, αλλά και της υπάρχουσας βλάστησης της περιοχής, προτείνεται η εγκατάσταση ειδών που θα εμπλουτίσουν την παρόδια βλάστηση, μιας και παρατηρήθηκε ότι σε ορισμένα τμήματα του δρόμου είναι στοιχειώδη και ανεπαρκή. Η κατάλληλη διαχείριση της οδικής βλάστησης του δασικού δρόμου που εξετάζουμε είναι σημαντική, τόσο για την ασφάλεια των πολιτών, όσο και για την προστασία της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής. Η αποκατάσταση της βλάστησης σε περιπτώσεις δασικής πυρκαγιές ή φυσικών φαινομένων (χιονορρινιές ή ανεμορρινιές) και η κοστολόγηση της ποικίλουν με βάση τα προτεινόμενα είδη, την έκταση του οδικού άξονα και τον εμπλουτισμό της βιοποικιλότητας που θέλουμε να επιτύχουμε σε μια περιοχή. **Λέξεις κλειδιά:** παρόδια βλάστηση, δασικός δρόμος, αλληλεπίδραση βλάστησης και δασικού δρόμου, αποκατάσταση βλάστησης.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εγγύτητα και η προσβασιμότητα των αστικών και περιαστικών δασών αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία εξαιτίας της έντονης αστικοποίησης και της αύξησης του πληθυσμού στις πόλεις. Τα δασικά οικοσυστήματα, και ειδικότερα τα περιαστικά, παρέχουν ένα ευρύ φάσμα οικοσυστημικών υπηρεσιών που σχετίζονται με την ανθρώπινη ευημερία, όπως υπηρεσίες παροχής, ρύθμισης και πολιτιστικές υπηρεσίες.

Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερη σημασία αποκτά η παρόδια βλάστηση των δασικών δρόμων, η οποία επηρεάζει άμεσα τόσο τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια του οδικού δικτύου όσο και τη σταθερότητα

των εδαφών, τη βιοποικιλότητα και την ποιότητα του τοπίου.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της συμβολής και της αλληλεπίδρασης της παρόδιας βλάστησης με τον δασικό δρόμο του περιαστικού δάσους Πανοράματος Θεσσαλονίκης, καθώς και η αξιολόγηση της κατάστασής της με στόχο την υποβολή προτάσεων για τον εμπλουτισμό και τη βιώσιμη διαχείρισή της.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι οικοσυστημικές υπηρεσίες που προσφέρουν τα

1. Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, 54124, ΤΘ: 226, email:nanty@for.auth.gr,  
2. Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Διεύθυνση Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Δωδεκανήσου, Απελλού 7 Κως, 85300, email: kyriakostri1978@gmail.com

δάση, οι οποίες επηρεάζουν την ανθρώπινη ευημερία είναι οι υπηρεσίες παροχής (π.χ. συλλογή δασικών καρπών ή συγκομιδή ξυλείας), υπηρεσίες ρύθμισης (π.χ. μετριασμός του αστικού μικροκλίματος ή προστασία από την ατμοσφαιρική ρύπανση) και πολιτιστικές υπηρεσίες (π.χ. αναψυχή ή εκπαίδευση). (Referowska-Chodak, 2019). Έτσι οι οικοσυστημικές υπηρεσίες που παρέχουν τα δέντρα και η βλάστηση στις άκρες των δρόμων περιλαμβάνουν την πολιτιστική κληρονομιά, την αισθητική, τα οικολογικά οφέλη, τα ενδιαιτήματα άγριας ζωής και τη ρύθμιση της ποιότητας του αέρα (Seamans, 2013 - Spooner, 2015 - Gabral et al., 2023). Κατά συνέπεια, ως συστατικά του ευρύτερου δασικού τοπίου, η βλάστηση στις άκρες των δρόμων είναι ευαίσθητη σε πολλαπλούς αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες καταπόνησης, όπως παράσιτα (Parsons and Frank, 2019), χωροκατακτητικά είδη (Ariori et al., 2017 - Dillon et al., 2018), οδικό αλάτι (Equiza et al., 2017) και πυρκαγιές (Molina et al., 2019 - Syphard et al., 2007).

Πολλοί ερευνητές προσεγγίζουν το θέμα της βλάστησης στην άκρη του δασικού δρόμου κυρίως από την οπτική γωνία του τοπίου, της οικολογίας και της ασφάλειας των χρηστών του δρόμου. Η κάλυψη της βλάστησης αποτελεί βασικό παράγοντα που επηρεάζει τη διάβρωση που προκαλείται από τις βροχοπτώσεις. Η εξασφάλιση των επιρρεπών στη διάβρωση εδαφών γίνεται με τη διατήρηση υψηλού ποσοστού φυτοκάλυψης, πυκνού δικτύου ριζών (αβαθών και βαθιών) και παχιά στρώση οργανικών ουσιών στο έδαφος. Η πρόληψη της διάβρωσης υποστηρίζεται από τρεις άλλες αρχές. Η πρώτη αρχή αναφέρεται στον περιορισμό της έκθεσης, δηλαδή στη μείωση της έκτασης και του χρόνου διατήρησης του εδάφους χωρίς βλάστηση. Η δεύτερη, διατήρηση των ιζημάτων με τη χρήση συσκευών φιλτραρίσματος, όπως φράχτες λάσπης, δεματοποιημένα άχυρα ή φράχτες που κατασκευάζονται από υπολείμματα που έχουν απομείνει μετά τον καθαρισμό και το τσουγκράνισμα μιας περιοχής. Η τρίτη αρχή αφορά τη διαχείριση της ροής των υδάτων, δηλ. η διοχέτευση των πλεοναζόντων υδάτων στο σημείο-στόχο, π.χ. σε μια δεξαμενή αποθήκευσης-διήθησης (Coffin, 2007). Μια βιώσιμη φυτοκάλυψη παρέχει μια φυσική και οικολογική προστασία που μπορεί να αυξήσει την αντίσταση στη διάβρωση. Η αυξημένη αντίσταση στη διάβρωση είναι σημαντική για τους οικότοπους στην άκρη του δρόμου που είναι ευάλωτοι στην εισβολή ξένων ειδών, αλλά και επειδή η διάβρωση είναι πιθανό να αυξηθεί με την αύξηση της ποσότητας των βροχοπτώσεων και την εμφάνιση πιο

ακραίων καιρικών φαινομένων. (Stokes et al., 2009).

Μία από τις κύριες πρακτικές για την αποκατάσταση των πρανών των δρόμων είναι η υδροσπορά, δηλαδή ο ψεκασμός ενός μείγματος νερού, σπόρων, λιπασμάτων, στερεωτικών ουσιών και εδαφοβελτιωτικών. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα μείγμα ποωδών ειδών (κυρίως αγρωστώδη και ψυχανθή) που δημιουργεί γρήγορα μια πυκνή κάλυψη. Στην ημίξηρη μεσογειακή Ευρώπη, ωστόσο, οι μακρές περίοδοι ξηρασίας και οι έντονες βροχοπτώσεις προκαλούν συχνά την αποτυχία της υδροσποράς. Μια αιτία για αυτό είναι η σπορά εμπορικών ειδών που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποκατάσταση στην κεντρική Ευρώπη, αλλά είναι ακατάλληλα για τα μεσογειακά συστήματα. Άλλες αποτυχίες είναι η απομάκρυνση των σπόρων από το νερό που τρέχει πάνω σε γυμνά εδάφη, τα υψηλά ποσοστά θνησιμότητας των φυτών λόγω της επαναλαμβανόμενης ξηρασίας και η αδυναμία ορισμένων ειδών να επεκτείνουν τους πληθυσμούς τους σε ξηρές συνθήκες (Andrés et al., 2000). Εκτός από την υδροσπορά, για την αποκατάσταση των πρανών των δρόμων μεταφυτεύονται συνήθως ριζωμένοι θάμνοι, αλλά τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται είναι επίσης φτωχά λόγω της αδυναμίας των μεταφυτευμένων φυτών να δεσμεύσουν νερό και θρεπτικά συστατικά σε εδάφη χωρίς οργανική ουσία. Μερικές φορές υιοθετούνται εναλλακτικές λύσεις που βασίζονται σε βιομηχανικές τεχνικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της υδροσποράς και της μεταφύτευσης, όπως η χρήση υλικών που μοιάζουν με συνθετικά πλέγματα για τη σταθεροποίηση του εδάφους. Ωστόσο, τα μέτρα αυτά αυξάνουν σημαντικά το κόστος της αναβλάστησης. Μια εναλλακτική είναι η διερεύνηση της ικανότητας των ντόπιων φυτών να αποικίσουν αυθόρμητα τα γυμνά πρανή με τελικό στόχο την αποκατάσταση του αρχικού οικοτόπου και τη διατήρηση της περιφερειακής βιοποικιλότητας. Πριν γίνει αυτό δυνατό, απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τον αποικισμό των φυτών στα πρανή των δασικών δρόμων (Paschke et al., 2000).

Επιπλέον πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη ορισμένους παράγοντες του εδάφους που επηρεάζουν την εγκατάσταση και παραμονή της βλάστησης στις άκρες των δρόμων. Οι ιδιότητες του εδάφους, όπως η αλατότητα, τα βαρέα μέταλλα και η συμπίεση, μπορεί να είναι οι πρωταρχικοί παράγοντες που περιορίζουν την εγκατάσταση και διατήρηση της βλάστησης. Ένας ακόμα παράγοντας είναι και το μικροκλίμα ξηρασίας που προκύπτει από την θερμότητα που αντανακλάται από το οδόστρωμα (Mills et al., 2020). Τα άλατα που

περιέχονται στα αντιπαγωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στους δρόμους μεταφέρονται συνήθως στις άκρες των δρόμων με το λιώσιμο του χιονιού και τη βροχή (Kaspari et al., 2010). Επιπλέον, η απόθεση υπολειμμάτων λείανσης σκυροδέματος (υποπροϊόν που παράγεται κατά την λείανση της επιφάνειας του σκυροδέματος ενός νέου δρόμου) στις άκρες των δρόμων μπορεί να αυξήσει τις συγκεντρώσεις αλάτων στο έδαφος και το pH, επηρεάζοντας ίσως την εγκατάσταση της βλάστησης εξ αρχής (Wingeyer et al., 2018). Τα προκύπτοντα αλατούχα και νατρίουχα εδάφη στις άκρες των δρόμων χαρακτηρίζονται από μειωμένη πρόσληψη νερού, διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων και μικροβιακή δραστηριότητα, γεγονός που οδηγεί στη συνέχεια σε μείωση της βλάστησης των αγρωστωδών και των χόρτων και της φυτοκάλυψης στις άκρες των δρόμων. Τα υψηλά επίπεδα νατρίου (Na) στο έδαφος μπορούν να διασκορπίσουν τα εδαφικά συσσωματώματα καθώς και να αυξήσουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ke et al., 2013)(συγκέντρωση διαλυτών αλάτων στο έδαφος). Η χαμηλή ποσότητα μακροσυσσωμαμάτων και ο χαμηλός ρυθμός διήθησης του νερού σε συνδυασμό με την περιορισμένη φυτοκάλυψη στη θέση του άκρου του δρόμου μπορεί να προκαλέσουν αυξημένους ρυθμούς απορροής και απώλειες ιζημάτων και θρεπτικών συστατικών, μειώνοντας έτσι την ποιότητα των υδάτων και συμβάλλοντας στην περαιτέρω περιβαλλοντική υποβάθμιση (Barrett et al., 2004).

Επίσης, η αύξηση της περιεκτικότητας σε αλάτι μπορεί να αυξήσει την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Μια τέτοια αύξηση μπορεί να αποδοθεί σε διάφορα θέματα που περιλαμβάνουν (1) μείωση της συγγενικής σχέσης των βαρέων μετάλλων με το έδαφος και (2) αύξηση της διατάραξης της δομής του εδάφους. Έχει αποδειχθεί ότι η εφαρμογή χλωριούχου νατρίου (NaCl) αυξάνει την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων στο έδαφος (Filipović et al., 2018). Πολλές πηγές μπορούν να συμβάλουν στη συσσώρευση βαρέων εκπομπών από την κυκλοφορία, των βιομηχανικών αποβλήτων και της εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα εδάφη στις άκρες των δρόμων μπορεί να προκαλέσουν μείωση της βλάστησης λόγω της ανασταλτικής επίδρασης των βαρέων μετάλλων στην ανάπτυξη των φυτών και της τοξικότητάς τους σε ορισμένα είδη φυτών (Wang et al., 2018).

Η συμπίεση είναι επίσης ένας κοινός παράγοντας που επηρεάζει την εγκατάσταση και τη διατήρηση των φυτών στις άκρες των δρόμων. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, τα οδοστρώματα συμπιέζονται για

να παρέχουν μια σταθερή βάση για τους δρόμους, περιορίζοντας τη διήθηση του νερού και προκαλώντας ακατάλληλες συνθήκες για την εγκατάσταση και την ανάπτυξη της βλάστησης (Berli et al., 2003). Η αύξηση της χύδην πυκνότητας μειώνει τον χώρο των πόρων, επιβραδύνοντας τον αερισμό και τη διάχυση του νερού, μειώνοντας έτσι την ανάπτυξη των ριζών. Διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη των ριζών έγινε πιο οριζόντια με την αύξηση της πυκνότητας, αφήνοντας τα φυτά ευάλωτα στην έλλειψη νερού όταν η επιφάνεια του εδάφους έγινε ξηρή. Επίσης η ανάπτυξη των σποροφύτων μειώθηκε με την αύξηση της χύδην πυκνότητας, γεγονός που περιορίσει τη διαθεσιμότητα και την κίνηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών (Kormanek et al., 2015).

Η φύτευση και η εγκατάσταση βιώσιμης βλάστησης κατά μήκος των οδών, όπως γίνεται αντιληπτό, είναι πολύ σημαντική, καθώς η προσπάθεια εγκατάστασης φυτών και δέντρων που δεν είναι κατάλληλα για μια περιοχή ή μια κατάσταση είναι σπατάλη χρόνου και πόρων. Η βιώσιμη βλάστηση απαιτεί λιγότερη συντήρηση και ευδοκμεί εκεί όπου φυτεύεται. Τα κλειδιά για ένα βιώσιμο περιβάλλον στην άκρη του δρόμου περιλαμβάνουν:

1. Χρήση αυτοφυών χόρτων και αγριολούλουδων
2. Χρήση ειδών ανθεκτικών στο αλάτι
3. Σταδιακή φύτευση
4. Έλεγχος της διάβρωσης
5. Επιλογή των κατάλληλων θάμνων και δέντρων για μια δεδομένη περιοχή
6. Στρατηγική διαχείριση της ξυλώδους βλάστησης και των δέντρων (Johnson, 2008).

Δύο πρωταρχικοί στόχοι της συντήρησης των οδών, η πρόληψη των ζιζανίων και ο έλεγχος της διάβρωσης, μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση αυτοφυών χόρτων και αγριολούλουδων. Η εγκατάσταση αυτοφυών φυτών σε μια περιοχή έχει ως αποτέλεσμα μια ποικιλόμορφη και ισχυρή φυτοκοινότητα προσαρμοσμένη στις τοπικές συνθήκες - συμπεριλαμβανομένου ενός ευρέος φάσματος τύπων εδάφους, επιπέδων υγρασίας και κλιματικών συνθηκών. Τα περισσότερα λιβαδικά χόρτα και αγριολούλουδα αναπτύσσονται καλύτερα κατά τους θερμούς, ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες, επομένως παρέχουν εξαιρετικό έλεγχο της διάβρωσης όλο το χρόνο. Οι βαθιές ρίζες αποτρέπουν επίσης την εισβολή επιβλαβών ζιζανίων και μειώνουν την τον αριθμό των ανεπιθύμητων και ανταγωνιστικών θάμνων και δέντρων. Επιπλέον, η συμπερίληψη αγριολούλουδων με αυτοφυή χόρτα δημιουργεί ένα πιο σταθερό και πολύχρωμο περιβάλλον καθ' όλη τη διάρκεια της

καλλιεργητικής περιόδου και προσθέτει χρώμα, υφή και ομορφιά στα στην άκρη του δρόμου.

Το οδικό αλάτι και τα αντιπαγετικά μπορούν να βλάψουν σε μεγάλο βαθμό τη βλάστηση στην άκρη του δρόμου. Παρόλο που αυτές οι ζημιогόνες επιπτώσεις είναι πιο σοβαρές σε απόσταση μέχρι και 15 μέτρων από το οδόστρωμα, μπορεί να επεκταθούν εκατοντάδες μέτρα ανάλογα με τον όγκο και την ταχύτητα της κυκλοφορίας καθώς και την κατεύθυνση του ανέμου κοντά σε αυτόν. Το συσσωρευμένο αλάτι σε ένα έδαφος μπορεί επίσης να επηρεάσει τις αποστραγγιστικές του ικανότητες. Επειδή η χρήση αντιπαγετικού αλατιού στο οδόστρωμα απαιτείται για την ασφαλή μετακίνηση το χειμώνα η χρήση φυτών ανθεκτικών στο αλάτι είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της βλάστησης κατά μήκος του δρόμου. Ο όγκος της κυκλοφορίας και η τοπική τοπογραφία επηρεάζουν επίσης την επίδραση ενός αποπαγοποιητή. Ένας αποπαγοποιητής διαχέεται πιο μακριά από το οδόστρωμα σε υψηλή κυκλοφορία. Η ποσότητα αλατιού που συγκρατεί ένα έδαφος σχετίζεται με την περιεκτικότητά του σε άργιλο. Επιπλέον, το χλώριο συσσωρεύεται τόσο στα φυλλοβόλα όσο και στα κωνοφόρα δέντρα με ρυθμό 40 έως 100 φορές μεγαλύτερο από την ποσότητα που συγκρατείται στο έδαφος. Για να μετριαστούν οι επιπτώσεις του αλατιού των οδών στο παρακείμενο έδαφος και τη βλάστηση, η επεξεργασία του εδάφους με γύψο αντιστρέφει τις επιπτώσεις της συσσωρευσης νατρίου (Na) και χλωρίου (CL).

Ο έλεγχος της διάβρωσης είναι απαραίτητος για τη διατήρηση ενός υγιούς οδικού περιβάλλοντος, καθώς η δομή και το περιεχόμενο του εδάφους πρέπει να διατηρούνται για να ευδοκιμήσει η βλάστηση. Οι ενέργειες που συμβάλλουν στον έλεγχο της διάβρωσης περιλαμβάνουν:

- την ενσωμάτωση μεθόδων ορθού σχεδιασμού που μειώνουν την ταχύτητα ροής
- τη χρήση αποτελεσματικών καλλιεργειών κάλυψης όταν οι περιοχές σποράς αργούν να εγκαταστήσουν κοινότητες αυτοφυών φυτών
- χρήση δομικών μεθόδων, όπως λεκάνες ιζημάτων και φράγματα ελέγχου
- τη χρήση φυτικών μεθόδων

Όπως συμβαίνει με τα φυτά και τα χόρτα, η τοποθέτηση ενός δέντρου ή θάμνου σε μια περιοχή όπου δεν θα ευδοκιμήσει προκαλεί προβλήματα συντήρησης που θα μπορούσαν εύκολα να αποφευχθούν. Όταν επιλέγεται ένα συγκεκριμένο είδος βλάστησης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η βλαστική ζώνη της περιοχής, τα τοπικά εδάφη, οι θερμοκρασίες, οι βροχοπτώσεις

και η απορροή, η κλίση και η έκθεση στο ηλιακό φως για να βελτιωθούν οι πιθανότητες επιβίωσης.

Τέλος για τη διαχείριση της ξυλώδους βλάστησης κατά μήκος μιας οδού, μπορεί να είναι απαραίτητο να διαιρεθούν οι πλευρές των δρόμων σε ζώνες και να ανατεθεί μια στρατηγική διαχείρισης σε κάθε μία (Johnson, 2008).

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 1. Περιοχή έρευνας: Περιαστικό δάσος Πανοράματος – Τοποθεσία "Πλατανάκια".

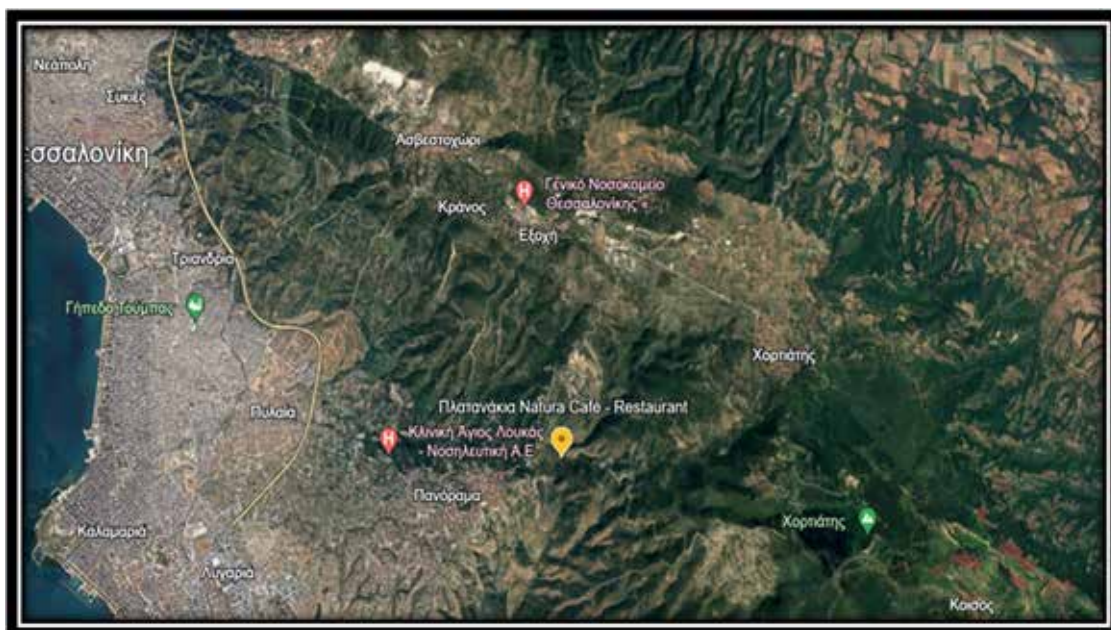
Η τοποθεσία Πλατανάκια βρίσκεται σε μια γραφική τοποθεσία και σε απόσταση είκοσι λεπτών περίπου από το κέντρο της Θεσσαλονίκης και λίγο έξω από το Πανόραμα, στους πρόποδες του Χορτιάτη. Συγκεκριμένα απέχει 11 Km από το κέντρο της Θεσσαλονίκης και συνορεύει δυτικά έως βορειανατολικά με το Πανόραμα και συνεχίζει παράλληλα με το δρόμο Πανοράματος – Χορτιάτη.

Η τοποθεσία Πλατανάκια βρίσκεται σε ένα εξαιρετικό σημείο, που ενδείκνυται για πολλαπλές δραστηριότητες, όπως πεζοπορία, χαλάρωση, γυμναστική, εξερεύνηση κ.α. Η παρουσία του υδροβιότοπου προσελκύει αρκετά είδη άγριας χλωρίδας και πανίδας. Κυρίαρχο στοιχείο της περιοχής είναι το ρέμα Βαθύλακκου στα όρια των Δήμων Πανοράματος και Θέρμης. Πρόκειται για έναν άγνωστο σε πολλούς βιότοπο με μια πολύ όμορφη και ενδιαφέρουσα οικοτουριστική διαδρομή μήκους 9,3 χλμ. Μάλιστα, κατά μήκος του ρέματος προς την περιοχή του Χορτιάτη συναντώνται οι γαλκικές πηγές και το υδραγωγείο του Χορτιάτη.

Η περιοχή μελέτης, υπάγεται διοικητικά, στην Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης, στο Δήμο Πυλαίας-Χορτιάτη και δασικά, στη Διεύθυνση Δασών Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας, τη Διεύθυνση Αναδάσωσης και το Δασαρχείο Θεσσαλονίκης. Ο χώρος βρίσκεται εντός των ορίων του Δημοτικού Δάσους Πανοράματος και αποτελεί τμήμα του υπ' αριθμό 49 χερσολίβαδου του οποίου η κυριότητα παραχωρήθηκε με την υπ' αριθμό 65739/8-4-64 απόφαση του Νομάρχη Θεσσαλονίκης στο Δήμο Πανοράματος. Η παραπάνω απόφαση αναμορφώθηκε με την υπ' αριθμό 93143/22-1-69 απόφαση του Νομάρχη, κατά την οποία το χερσολίβαδο πήρε τον αριθμό 968. Η κύρια υφιστάμενη χρήση του χώρου είναι αυτή της αναψυχής.

Ο δρόμος του περιαστικού δάσους που μελετήθηκε ξεκινάει από την οδό Παρασκευοπούλου και τελειώνει στο πάρκο πλατανάκια καλύπτοντας μια απόσταση σχεδόν 820 μέτρων.





**Εικόνα 1.** Θέση πάρκου Πλατανάκια σε σχέση με το κέντρο της Θεσσαλονίκης αλλά και το Πανόραμα.  
**Picture 1.** Location of Platanakia Park in relation to the center of Thessaloniki and Panorama.



**Εικόνα 2.** Ο δρόμος μελέτης με κίτρινο χρώμα στο χάρτη και η τοποθεσία του σε σχέση με την περιοχή του Πανοράματος.  
**Picture 2.** The route of the study marked in yellow on the map and its location in relation to the Panorama area.

## 2. Βλάστηση περιοχής

Η φυσική βλάστηση της περιοχής μελέτης ανήκει φυτοκοινωνιολογικά στην Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia pubescentis*) και ειδικότερα στην υποζώνη *Ostryo-Carpinion*. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές διαπλάσεις βλάστησης και τα χαρακτηριστικά είδη που απαντώνται στην περιοχή.

**Πίνακας 1.** Διαπλάσεις βλάστησης και χαρακτηριστικά είδη της περιοχής μελέτης

**Table 1.** Vegetation formations and characteristic species of the study area

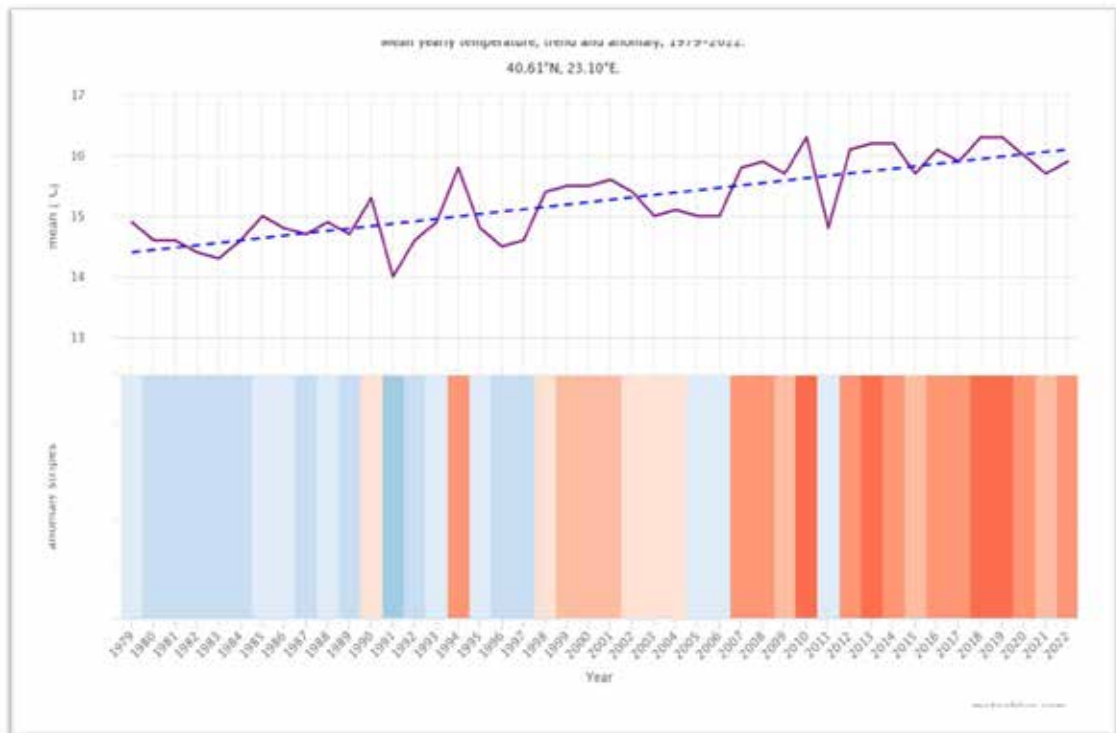
| Διάπλωση               | Χαρακτηριστικά είδη                                                                                          |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αείφυλλα – πλατύφυλλα  | <i>Quercus pubescens</i> , <i>Quercus conferta</i> , <i>Quercus coccifera</i>                                |
| Κωνοφόρα (αναδασώσεις) | <i>Pinus brutia</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus pinea</i> , <i>Cupressus</i> sp., <i>Cedrus</i> sp. |
| Παραποτάμια βλάστηση   | <i>Platanus orientalis</i> , <i>Populus</i> sp., <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Nerium oleander</i>              |
| Λιβαδική βλάστηση      | Πολυετή αγρωστώδη, γεώφυτα, ημικρυπτόφυτα                                                                    |

Επίσης περιλαμβάνονται κάποια είδη θάμνων και ποών. Στα είδη θάμνων απαντώνται: κράταιγος (*Crataegus monogyna*), άρκευθος (*Juniperus* sp), βάτος (*Rubus canescens*). Στα είδη ποών απαντώνται: *Dactylis glomerata*, *Festuca* sp, *Hypericum perforatum*. Τέλος, στον ορεινό όγκο του Χορτιάτη απαντώνται εκτεταμένοι καστανώνες, καθώς και δάσος οξιάς.

## 3. Κλιματολογικά χαρακτηριστικά τοποθεσίας

Το κλίμα στην περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μεταβατικό από το μεσογειακό προς το ηπειρωτικό. Οι επικρατούντες άνεμοι είναι κυρίως Β.Β. που υπερέχουν, από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Μάρτιο, έναντι των άλλων και οφείλονται κυρίως στον βαρδάρη που είναι ισχυρός-ξηρός άνεμος (καθοδικός)

και προκαλεί έντονη εξάτμιση και νεφοδιάλυση. Παρουσιάζει μεγάλα ποσοστά υγρασίας που πολλές φορές αγγίζει και το 100%. Ψυχρότεροι μήνες θεωρούνται ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Οι βροχοπτώσεις είναι συχνές, αλλά παρουσιάζονται και μεγάλα διαστήματα ηλιοφάνειας. Συχνή είναι η εμφάνιση ομίχλης κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα. Φυσικά η



**Εικόνα 3.** Ετήσια αλλαγή θερμοκρασίας Χορτιάτη.

**Picture 3.** Annual temperature change Chortiatis

κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει αρκετά το ευρύτερο κλίμα της περιοχής όπως θα παρατηρήσουμε στα επόμενα διαγράμματα.

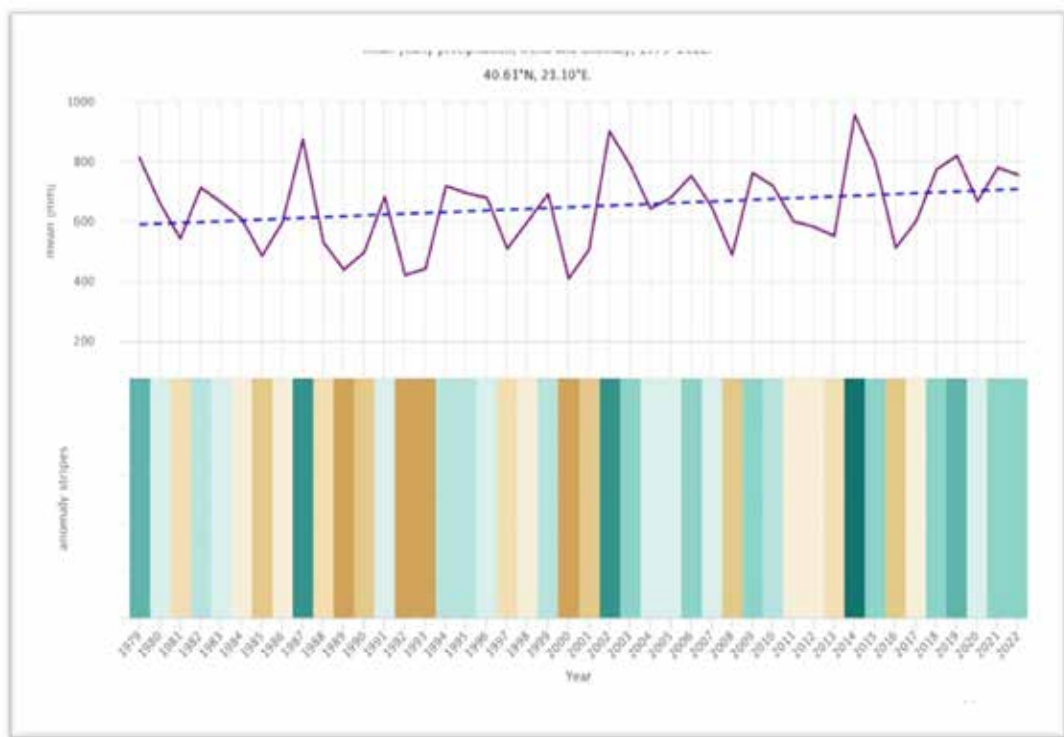
Το γράφημα της Εικ.3 δείχνει μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για την ευρύτερη περιοχή του Χορτιάτη. Η διακεκομμένη μπλε γραμμή είναι η γραμμική τάση της κλιματικής αλλαγής. Εάν η γραμμική τάσης ανεβαίνει από αριστερά προς τα δεξιά, η τάση της θερμοκρασίας είναι θετική και γίνεται θερμότερη λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αν είναι οριζόντια, δεν παρατηρείται σαφή τάση, και αν πηγαίνει προς τα κάτω, οι συνθήκες στο Χορτιάτη γίνονται ψυχρότερες με την πάροδο του χρόνου.

της βροχόπτωσης είναι θετική και γίνεται πιο υγρό το κλίμα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αν είναι οριζόντια, δεν παρατηρείται σαφής τάση και αν πηγαίνει προς τα κάτω, οι συνθήκες γίνονται πιο ξηρές στο Χορτιάτη με την πάροδο του χρόνου.

Στο κάτω μέρος του γραφήματος φαίνονται οι λεγόμενες λωρίδες κατακρήμνισης. Κάθε χρωματιστή λωρίδα αντιπροσωπεύει τη συνολική βροχόπτωση ενός έτους - μπλε για τα πιο υγρά και καφέ για τα πιο ξηρά έτη

#### 4. Καταγραφή φυτών παρόδιας βλάστησης του δρόμου μελέτης

Η καταγραφή των δασοπονικών ειδών που αποτελούν



**Εικόνα 4.** Ετήσια μεταβολή βροχοπτώσεων Χορτιάτη  
**Picture 4.** Annual change in rainfall in Chortiatis

Στο κάτω μέρος του γραφήματος φαίνονται οι λεγόμενες λωρίδες θέρμανσης. Κάθε χρωματιστή λωρίδα αντιπροσωπεύει τη μέση θερμοκρασία για ένα έτος - μπλε για τα ψυχρότερα και κόκκινα για τα θερμότερα έτη. Το γράφημα της Εικ.4 δείχνει μια εκτίμηση της μέσης συνολικής βροχόπτωσης για την ευρύτερη περιοχή του Χορτιάτη. Η διακεκομμένη μπλε γραμμή είναι η γραμμική τάση της κλιματικής αλλαγής. Εάν η γραμμική τάσης ανεβαίνει από αριστερά προς τα δεξιά, η τάση

την παρόδια βλάστηση ενός δασικού οικοσυστήματος βασίζεται συνήθως στην ταυτοποίηση των ειδών. Εφόσον ορίστηκε η περιοχή της έρευνας μας, και συγκεκριμένα ο δασικός δρόμος του δημοτικού δάσους Πανοράματος που θα μελετήσουμε, ακολούθησε η καταγραφή και η ταυτοποίηση των φυτών της παρόδιας βλάστησης καθώς και η καταγραφή των προβλημάτων του οδοστρώματος από την μη επαρκή παρουσία βλάστησης αλλά και την ανθρωπογενή παρέμβαση.



Για τους σκοπούς της έρευνας μας και όπως αποτυπώνεται στην Εικ. 6 χωρίσαμε τον δασικό δρόμο του περιαστικού δάσους σε αμιγώς δασικό δρόμο (πράσινη σήμανση) και σε μη αμιγώς δασικό δρόμο (κίτρινη σήμανση) και καταγράψαμε τα φυτά εκατέρωθεν σε όλο το μήκος και των δύο δρόμων. Χρησιμοποιήθηκαν δύο εφαρμογές σύγχρονης και άμεσης αναγνώρισης βλάστησης με βάση εικονομετρικά και φωτογραφικά στοιχεία. Αυτές είναι οι: <https://greece.inaturalist.org> και <https://identify.plantnet.org/el>

για τη βιοποικιλότητα για να βοηθήσουν ο ένας τον άλλον να μάθουν για τη φύση», με πρωταρχικό στόχο να συνδέσει τους ανθρώπους με τη φύση. Αν και δεν είναι το ίδιο ένα επιστημονικό έργο, το iNaturalist είναι μια πλατφόρμα για τις επιστήμες και τις προσπάθειες διατήρησης του περιβάλλοντος, παρέχοντας πολύτιμα ανοικτά δεδομένα σε ερευνητικά έργα, διαχειριστές γης, άλλους οργανισμούς και το κοινό.

Το Pl@ntNet είναι ένα επιστημονικό πρόγραμμα πολιτών για την αυτόματη αναγνώριση φυτών μέσω



**Εικόνα 5.** Σήμανση του δρόμου μελέτης σε αμιγώς δασικό δρόμο και μη. Η σήμανση με το πράσινο χρώμα δηλώνει αμιγώς δασικό δρόμο ενώ η κίτρινη σήμανση όχι

**Picture 5.** Marking of the study road as purely forest road and non-forest road. Green markings indicate a purely forest road, while yellow markings do not.

Το iNaturalist είναι ένα αμερικανικό μη κερδοσκοπικό κοινωνικό δίκτυο φυσιολατρών, επιστημόνων-πολιτών και βιολόγων που βασίζεται στην ιδέα της χαρτογράφησης και της ανταλλαγής παρατηρήσεων της βιοποικιλότητας σε όλο τον κόσμο. Η πρόσβαση στο iNaturalist μπορεί να γίνει μέσω της ιστοσελίδας του ή από τις εφαρμογές του για κινητά τηλέφωνα. Το iNaturalist περιλαμβάνει ένα αυτοματοποιημένο εργαλείο αναγνώρισης ειδών και οι χρήστες βοηθούν περαιτέρω ο ένας τον άλλον στην αναγνώριση οργανισμών από φωτογραφίες. Στις 17 Ιουνίου 2023, οι χρήστες του iNaturalist είχαν συνεισφέρει περίπου 161.278.660 παρατηρήσεις φυτών, ζώων, μυκήτων και άλλων οργανισμών παγκοσμίως. Το iNaturalist περιγράφει τον εαυτό του ως «ένα διαδικτυακό κοινωνικό δίκτυο ανθρώπων που μοιράζονται πληροφορίες

φωτογραφιών και με βάση τη μηχανική μάθηση. Αυτό το έργο που ξεκίνησε το 2009 αναπτύχθηκε από επιστήμονες (μηχανικούς πληροφορικής και βοτανολόγους) μιας κοινοπραξίας που συγκεντρώνει γαλλικά ερευνητικά ινστιτούτα (Institut de recherche pour le développement (IRD), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Institut national de la recherche agronomique (INRA), Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) και το δίκτυο Tela Botanica, με την υποστήριξη του Agropolis Fondation. Το 213 κυκλοφόρησε μια εφαρμογή για smartphones (και μια διαδικτυακή έκδοση), η οποία επιτρέπει την αναγνώριση χιλιάδων φυτικών ειδών από φωτογραφίες που τραβάει ο χρήστης. Είναι διαθέσιμη σε διάφορες γλώσσες.

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε και η ταυτοποίηση των δασοπονικών ειδών στο Δασοβοτανικό Κήπο του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου στον Φοίνικα και στηρίχθηκε σε πλήρη φυτικά δείγματα. Για τον σκοπό του προσδιορισμού χρησιμοποιήθηκαν και τα ακόλουθα έργα: Flora Hellenica (Strid & Tan 1997, 2002) και Flora Europaea (Tutin et al 1964-1978, 1993). Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας με τα καταγεγραμμένα φυτά ανά οικογένεια στις άκρες του δρόμου στην περιοχή έρευνας μας.

**Πίνακας 2.** Φυτά παρόδιας βλάστησης δρόμου μελέτης  
**Table 2.** Roadside vegetation plants under study

| Οικογένεια    | Είδος                  | Οικογένεια    | Είδος                  |
|---------------|------------------------|---------------|------------------------|
| Anacardiaceae | Cotinus coggygria      | Lamiaceae     | Vitex agnus-castus     |
| Apiaceae      | Daucus carota          | Moraceae      | Ficus carica           |
| Apocynaceae   | Nerium oleander        |               | Morus rubra            |
| Asparagaceae  | Asparagus acutifolius  | Pinacea       | Pinus halepensis       |
| Asteraceae    | Artemisia californica  | Platanaceae   | Platanus orientalis    |
|               | Erigeron sumatrensis   | Poaceae       | Stipa offneri          |
| Cistaceae     | Cistus salviifolius    |               | Phragmites australis   |
| Cupressaceae  | Cupressus sempervirens | Ranunculaceae | Clematis flammula      |
|               | Juniperus communis     | Rosaceae      | Cotoneaster pannosus   |
| Fabaceae      | Vachellia farnesiana   |               | Rubus ulmifolius       |
|               | Anthyllis hermanniae   |               | Pyrus spinosa          |
|               | Gleditsia triacanthos  | Sapindaceae   | Acer negundo           |
|               | Robinia pseudoacacia   | Solanaceae    | Solanum elaeagnifolium |
| Fagaceae      | Quercus coccifera      |               |                        |
|               | Quercus ilex           |               |                        |
|               | Quercus pubescens      |               |                        |

Από όλα τα καταγεγραμμένα φυτά της παρόδιας βλάστησης αυτά που ανήκουν στο αμιγώς δασικό κομμάτι του δρόμου είναι τα: *Quercus pubescens*, *Quercus coccifera*, *Cistus salviifolius*, *Erigeron canadensis*, *Phragmites australis*, *Solanum elaeagnifolium*, *Stipa offneri*, *Juniperus communis* και *Anthyllis hermanniae* ενώ και στα δύο τμήματα του δρόμου καταγράφηκαν τα: *Ficus carica*, *Cupressus sempervirens*, *Platanus orientalis*, *Pinus halepensis*, *Daucus carota* και *Quercus ilex*. Τέλος όλα τα υπόλοιπα φυτά του πίνακα απαντώνται μόνο στο μη αμιγώς δασικό τμήμα του δρόμου μελέτης.

## Συζήτηση

Στον δρόμο μελέτης, ειδικά στο αμιγώς δασικό μέρος αυτού, παρατηρήθηκε διάβρωση του οδοστρώματος σε αρκετά σημεία που οφείλεται στη συχνή ρίψη άλατος του οδοστρώματος για την αποφυγή δημιουργίας παγετού. Όπως αναφέρθηκε τα άλατα που περιέχονται στα αντιπαγωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται στους δρόμους μεταφέρονται συνήθως στις άκρες των δρόμων με το λιώσιμο του χιονιού και τη βροχή. Τα προκύπτοντα αλατούχα και νατριούχα εδάφη στις άκρες των δρόμων

χαρακτηρίζονται από μειωμένη πρόσληψη νερού, διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων και μικροβιακή δραστηριότητα, γεγονός που οδηγεί στη συνέχεια σε μείωση της βλάστησης των αγρωστωδών και των χόρτων και της φυτοκάλυψης στις άκρες των δρόμων. Για τον λόγο αυτό η παρόδια βλάστηση του δρόμου μελέτης είναι φτωχή με ελάχιστα είδη ανά μεγάλα διαστήματα και με υπολείμματα ξερής βλάστησης που ελλοχεύει τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιών.

Με την σειρά της η έλλειψη οδικής βλάστησης οδηγεί επίσης στην διάβρωση του οδοστρώματος εφόσον δεν μειώνεται η ροή των υδάτων και δεν



**Εικόνα 6.** Υπολείμματα ξερής παρόδια βλάστηση στο δρόμο μελέτης  
**Picture 6.** Remains of dry roadside vegetation on the study road



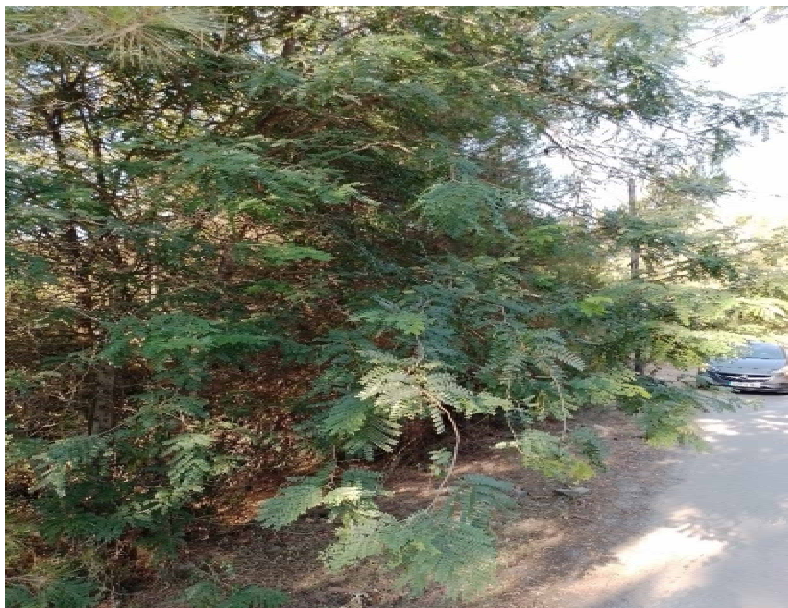
**Εικόνα 7.** Διάβρωση του οδοστρώματος  
**Picture 7.** Road surface erosion

υπάρχει ικανοποιητική διείσδυση αυτών στο έδαφος. Η βλάστηση στην άκρη του δρόμου μπορεί πέρα από την προστασία των εδαφών από τις βροχοπτώσεις και τον άνεμο, να παρέχει ενίσχυση και σταθεροποίηση των πρανών, να μειώσει τους κινδύνους τόσο ρηχών όσο και βαθιών κατολισθήσεων, ενώ μπορεί επίσης να

καθαρίσει τη ρυπασμένη απορροή από τους δρόμους.

Επίσης, η παρόδια βλάστηση σε πολλά σημεία εισβάλλει στο δρόμο μειώνοντας την ορατότητα των οδηγών και τα υπολείμματα βλάστησης δεν απομακρύνονται ή δεν διαχειρίζονται κατάλληλα.





**Εικόνα 8.** Η παρόδια βλάστηση εισβάλλει στο δρόμο και μειώνει την ορατότητα των οδηγών  
**Picture 8.** Roadside vegetation sweeps in the road and reduces visibility for drivers.

Όπως γίνεται αντιληπτό ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης παρόδιας βλάστησης αποτελεί επιτακτική ανάγκη μιας και η διατήρηση της αυτοφύουσας βλάστησης στην άκρη του δρόμου είναι εξαιρετικά σημαντική λόγω των οικοσυστημικών υπηρεσιών και των ενδιατημάτων που παρέχει. Είναι σημαντικό

η βλάστηση κατά μήκος στις άκρες των δρόμων να κλαδεύεται (κάθετα και πλάγια) κατά διαστήματα για να παρέχει ασφαλή απόσταση για τους χρήστες του δρόμου. Εάν αφεθεί ανεξέλεγκτη, η βλάστηση δημιουργεί μια σειρά από προβλήματα ασφάλειας. Τα δέντρα (ιδίως εκείνα που έχουν κρεμασμένα κλαδιά ή



**Εικόνα 9.** Αμιγώς δασικό τμήμα δρόμου μελέτης  
**Picture 9.** Purely forested section of the road under study

ετοιμάζονται να πέσουν) μπορούν να γίνουν κίνδυνοι για τους διερχόμενους οδηγούς. Τα ψηλά χόρτα, τα αγριόχορτα και άλλοι θάμνοι μπορούν να καλύψουν ή να περιορίσουν την οπτική επαφή των οδηγών με προσωρινούς κινδύνους, όπως άλλα οχήματα, άγρια ζώα και πεζούς.

Όπως αναφέρθηκε, αλλά και όπως αποτυπώνεται στην παραπάνω φωτογραφία, τα φυτά που απαντώνται στην οδική βλάστηση του αμιγούς δασικού τμήματος του δρόμου μελέτης είναι ελάχιστα. Από δεινρόδη φυτά κυριαρχεί η *Pinus halepensis* ενώ από θαμνώδη φυτά κυριαρχεί η *Quercus coccifera* αλλά απαντάται σε ελάχιστα σημεία. Από ποώδη φυτά καταγράφηκε σε πολλά σημεία το *Solanum elaeagnifolium* το οποίο είναι αμερικανικής προέλευσης φυτό και θεωρείται παγκοσμίως από τα χειρότερα χωροκατακτητικά είδη, είναι δηλητηριώδες για τα ζώα και είναι ξενιστής εντόμων και ασθενειών. Σε γενικές γραμμές τα πρανή του δρόμου χαρακτηρίζονται από έλλειψη βλάστησης

με αρκετές διαβρώσεις και σε αρκετά σημεία του δρόμου παρατηρήθηκε υποχώρηση του εδάφους και κατολίσθηση μικρών πετρωμάτων.

Λαμβάνοντας υπόψη την βλάστηση της περιοχής, τις κλιματολογικές συνθήκες και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής προτείνουμε τα ακόλουθα φυτά για τον εμπλουτισμό της παρόδια βλάστησης. Επιπλέον, θα μπορούσαμε να εμπλουτίσουμε την βλάστηση στις άκρες του δρόμου και με αρωματικά φυτά τα οποία έχουν ικανοποιητική αντοχή στο κρύο, την ξηρασία και προτιμούν καλά στραγγισμένα εδάφη όπως είναι και το έδαφος της περιοχής μελέτης. Επίσης παραθέτουμε τις τιμές ανά τεμάχιο οι οποίες εξαρτώνται από το ύψος του φυτού κατά την πώληση τους.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η έρευνα κατέδειξε ότι η παρόδια βλάστηση δασικού δόμου σταθεροποιεί τα πρανή σε ανάντη και κατάντη, μειώνει την υδατική απορροή, μειώνει τη σκόνη και

**Πίνακες 3 & 4.** Προτεινόμενα φυτά εμπλουτισμού του δρόμου μελέτης και οι τιμές τους

**Tables 3 & 4.** Recommended plants for enriching the study road and their prices

| ΘΑΜΝΟΙ                          |           |      | ΔΕΝΤΡΑ                        |           |      |
|---------------------------------|-----------|------|-------------------------------|-----------|------|
| είδος                           | ύψος      | τιμή | είδος                         | ύψος      | τιμή |
| <i>Cotoneaster satifolius</i>   | 60-80cm   | 10€  | <i>Cupressus sempervirens</i> | 150-200cm | 50€  |
|                                 | 80-100cm  | 20€  | <i>Taxus baccata</i>          | 20cm      | 8€   |
|                                 | 100-125cm | 42€  |                               | 150cm     | 60€  |
| <i>Cotoneaster horizontalis</i> | 60-80cm   | 10€  | <i>Pinus pinea</i>            | 200cm     | 120€ |
|                                 | 80-100cm  | 18€  | <i>Pinus halepensis</i>       | 100-125cm | 7€   |
|                                 | 100-125cm | 36€  |                               | 125-150cm | 15€  |
|                                 | 125-150cm | 60€  |                               | 300-350cm | 50€  |
| <i>Buxus sempervirens</i>       | 30-40cm   | 10€  |                               | 400-450cm | 120€ |
|                                 | 40-50cm   | 20€  |                               | 500-600cm | 500€ |
|                                 | 50-60cm   | 44€  |                               |           |      |
|                                 | 60-70cm   | 66€  |                               |           |      |
| <i>Juniperus stricta</i>        | 100-150cm | 12€  |                               |           |      |
| <i>Juniperus horizontalis</i>   | 30cm      | 8€   |                               |           |      |
|                                 | 40cm      | 15€  |                               |           |      |

| ΑΓΡΟΣΤΙΩΔΗ                          |      |      | ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ |      |       |
|-------------------------------------|------|------|----------------|------|-------|
| είδος                               | ύψος | τιμή | είδος          | υψος | τιμή  |
| <i>stipa tennissima</i>             | 30cm | 6€   | δενδρολίβανο   | 10cm | 2€    |
| <i>stipa tennissima pony tails</i>  | 30cm | 7€   |                | 20cm | 4€    |
| <i>acorus gramineus variegata</i>   | 15cm | 5€   | θυμάρι         | 10cm | 1,50€ |
| <i>imperata cylidrica red buron</i> | 15cm | 7€   |                | 20cm | 4€    |
| <i>miscanthus sinensis dwaft</i>    | 70cm | 8€   | φασκόμηλο      | 10cm | 1,50€ |
| <i>monikia caerulea</i>             | 20cm | 5€   |                | 20cm | 3,50€ |
| <i>ophiopogon japonicus</i>         | 25cm | 6€   | ρίγανη         | 10cm | 1,50€ |
|                                     |      |      |                | 20cm | 3€    |



το θόρυβο ενώ σε συνέργεια ποώδους, θαμνώδους και δενδρώδους βλάστησης μειώνονται οι πιθανές καταπτώσεις βράχων και οι κατολισθήσεις σε ευαίσθητες γεωλογικά περιοχές.

Η χρήση γηγενών ειδών βλάστησης αλλά και κατάλληλοι δασοκομικοί χειρισμοί είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του πλάτους ενός δασικού δρόμου, ειδικά αν η παρόδια βλάστηση είναι θαμνώδης ή δενδρώδης.

Η οικονομικότητα αποκατάστασης παρόδιας βλάστησης σε περιπτώσεις δασικής πυρκαγιάς, χιονορριψιάς ή ανεμορριψιάς ποικίλει ανάλογα με το αν προηγηθεί τεχνοοικονομική μελέτη για όλο τον δασικό οδικό άξονα, με αντίστοιχη εργολαβία από τοπικά ή μη φυτώρια.

Σίγουρο είναι ότι η παρόδια βλάστηση σε δασικό οδικό δίκτυο καλό είναι να υφίσταται με όλα τα επίπεδα βλάστησης, ποώδη, θαμνώδη και δενδρώδη μορφή γιατί μόνο έτσι έχουμε τόνωση της βιοποικιλότητας

και καλύτερη σταθεροποίηση των πρανών.

Η παρούσα έρευνα ανέδειξε τη σημαντική συμβολή της παρόδιας βλάστησης στη σταθεροποίηση των πρανών, στη μείωση της διάβρωσης, καθώς και στη βελτίωση της ασφάλειας και της οικολογικής λειτουργίας του δασικού οδικού δικτύου.

Ωστόσο, υπήρξαν ορισμένοι περιορισμοί στην έρευνα, όπως η περιορισμένη χρονική διάρκεια καταγραφής, η απουσία εδαφολογικών αναλύσεων και η έλλειψη μακροχρόνιων δεδομένων παρακολούθησης της βλάστησης.

Για μελλοντική έρευνα προτείνεται: η πραγματοποίηση εδαφολογικών και υδρολογικών αναλύσεων, η μακροχρόνια παρακολούθηση της εξέλιξης της παρόδιας βλάστησης, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών φυτικών συνδυασμών, η σύνδεση της διαχείρισης της παρόδιας βλάστησης με στρατηγικές πρόληψης φυσικών καταστροφών.

# Forest road roadside vegetation and its timeless role

Stergiadou Anastasia<sup>1</sup> - Triantafyllidis Kyriakos<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The role of the peri-urban forest of Thessaloniki in recent decades, with the characteristic residential and population development, is increasingly expanding. Apart from improving residents lives, requirements for recreation and environmental education are imperative. The purpose of this research is to study at length the contribution and interaction of roadside vegetation to the forest road network in the area, as well as to the proper functioning of vehicular traffic. With proper management of the roadside vegetation, any negative impacts can be avoided and make it a catalyst for road network safety. The functional, environmental and social benefits of roadside vegetation are varied, considerable and of paramount importance. Avoiding soil erosion and its contribution to the enrichment of local aquifers, wind protection, shading of roads, reduction of noise and exhaust emissions, delimitation of road bends, reduction of driving stress are some of its many advantages. This study highlights the necessity of implement an integrated roadside vegetation management and the importance of choosing the right plant combinations to achieve the objectives of its establishment, which are mainly to stabilize slopes and thus prevent soil erosion. In addition, the improvement in air quality also leads to a reduction in the ecological footprint of the forest road during its operation. A survey of the plant species on the slopes of the road was carried out and according to the climatic conditions and the existing vegetation in the area, it is proposed to install species that will enrich the roadside vegetation, since it was observed that in some parts of the road it is rudimentary and insufficient. Proper management of the roadside vegetation on the forest road under consideration is important, both for the safety of the public and for the protection of the flora and fauna of the area. Vegetation restoration in case of forest fires or natural phenomena (snowmelt or windthrow) and its costing will vary based on the proposed species, the extent of the roadway, and the biodiversity enrichment we want to achieve in an area.

**Key words:** roadside vegetation, forest road, vegetation and forest road interaction, vegetation restoration

- 
1. Associate Professor, Department of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, PO Box: 226, email: nanty@for.auth.gr,
  2. Secondary Education Teacher, Dodecanese Secondary Education Directorate, 7 Apellou Street, Kos, 85300, email: kyriakostri1978@gmail.com

## References

- Andrés, P., & Jorba, M. (2000). Mitigation strategies in some motorway embankments (Catalonia, Spain). *Restoration Ecology*, 8(3), 268-275.
- Ariori, C., Aiello-Lammens, M. E., & Silander Jr, J. A. (2017). Plant invasion along an urban-to-rural gradient in northeast Connecticut. *Journal of Urban Ecology*, 3(1), jux008.
- Barrett, M., Lantin, A., & Austrheim-Smith, S. (2004). Storm water pollutant removal in roadside vegetated buffer strips. *Transportation Research Record*, 1890(1), 129-140.
- Berli, M., Kirby, J. M., Springman, S. M., & Schulin, R. (2003). Modelling compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery under various moisture conditions in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 73(1-2), 57-66.
- Cabral, J., Morzillo, A. T., & Xu, R. (2023). Forest stressors and roadside vegetation management in an exurban landscape. *Urban Forestry & Urban Greening*, 85, 127954.
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, 15(5), 396-406.
- Dillon, W. W., Lieurance, D., Hiatt, D. T., Clay, K., & Flory, S. L. (2018). Native and invasive woody species differentially respond to forest edges and forest successional age. *Forests*, 9(7), 381.
- Equiza, M. A., Calvo-Polanco, M., Cirelli, D., Señorans, J., Wartenbe, M., Saunders, C., & Zwiazek, J. J. (2017). Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 16-28.
- Filipović, L., Romić, M., Romić, D., Filipović, V., & Ondrašek, G. (2018). Organic matter and salinity modify cadmium soil (phyto) availability. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 824-831.
- Johnson, A. M. (2008). *Best practices handbook for roadside vegetation management* (No. MN/RC 2008-20). Minnesota. Dept. of Transportation. Office of Research Services.
- Kaspari, M., Chang, C., & Weaver, J. (2010). Salted roads and sodium limitation in a northern forest ant community. *Ecological Entomology*, 35(5), 543-548.
- Ke, C., Li, Z., Liang, Y., Tao, W., & Du, M. (2013). Impacts of chloride de-icing salt on bulk soils, fungi, and bacterial populations surrounding the plant rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 72, 69-78.
- Kormanek, M., Banach, J., & Sowa, P. (2015). Effect of soil bulk density on forest tree seedlings. *International Agrophysics*, 29(1), 67-74.
- Mills, S. D., Mamo, M., Ruis, S. J., Blanco-Canqui, H., Schacht, W. H., Awada, T., Li, X., & Sutton, P. (2021). Soil properties limiting vegetation establishment along roadsides. *Journal of Environmental Quality*, 50(1), 110-121.
- Molina, J. R., Lora, A., Prades, C., & y Silva, F. R. (2019). Roadside vegetation planning and conservation: New approach to prevent and mitigate wildfires based on fire ignition potential. *Forest ecology and management*, 444, 163-173.
- Parsons, S. E., & Frank, S. D. (2019). Urban tree pests and natural enemies respond to habitat at different spatial scales. *Journal of Urban Ecology*, 5(1), juz010.
- Paschke, M. W., DeLeo, C., & Redente, E. F. (2000). Revegetation of roadcut slopes in Mesa Verde national park, USA. *Restoration Ecology*, 8(3), 276-282.
- Referowska-Chodak, E. (2019). Management and social problems linked to the human use of European urban and suburban forests. *Forests*, 10(11), 964.
- Referowska-Chodak, E. (2019). Pressures and threats to nature related to human activities in European urban and suburban forests. *Forests*, 10(9), 765.
- Seamans, G. S. (2013). Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(1), 2-11.
- Spooner, P. (2015). Minor rural road networks: values, challenges, and opportunities for biodiversity conservation. *Nature Conservation*, 11, 129-142.
- Stokes, A., Atger, C., Bengough, A. G., Fourcaud, T., & Sidle, R. C. (2009). Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant and soil*, 324, 1-30.
- Syphard, A. D., Radeloff, V. C., Keeley, J. E., Hawbaker, T. J., Clayton, M. K., Stewart, S. I., & Hammer, R. B. (2007). Human influence on California fire regimes. *Ecological applications*, 17(5), 1388-1402.
- Wang, M., & Zhang, H. (2018). Accumulation of heavy metals in roadside soil in urban area and the related impacting factors. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1064.
- Wingeyer, A., Mamo, M., Schacht, W., McCallister, D., & Sutton, P. (2018). Vegetation and Soil Responses to Concrete Grinding Residue Application on Highway Roadsides of Eastern Nebraska. *Journal of Environmental Quality*, 47, 554-561.

### **Ηλεκτρονική βιβλιογραφία**

[https://www.meteoblue.com/el/climate-change/Χορτιάτης\\_Ελλάδα\\_735764\\_τελευταία\\_επίσκεψη\\_12/02/2026](https://www.meteoblue.com/el/climate-change/Χορτιάτης_Ελλάδα_735764_τελευταία_επίσκεψη_12/02/2026)

[https://earth.google.com/web/search/Chortiatis\\_τελευταία\\_επίσκεψη\\_12/02/2026](https://earth.google.com/web/search/Chortiatis_τελευταία_επίσκεψη_12/02/2026)