

1/2018

ISSN 1105-9478

ΤΟΜΟΣ 27 ΣΕΙΡΑ VI

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ
ΘΕΜΑΤΑ**

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

**GEOTECHNICAL
SCIENTIFIC ISSUES**

CONTENTS

REVIEW ARTICLE

- T.A. Kotsopoulos* Biogas upgrading technologies to biomethane, applications and future perspectives 4-14

SCIENTIFIC PAPERS

- S. Gatzojannis* The evaluation and mapping of “non-timber forest functions” as decision making tools in forest management 15-33

- S. Gatzojannis* Yield tables for fir stands of Taygetos forest, Greece 34-46

REVIEW PAPER

- K. G. Papaspyropoulos,*
D. Karamanolis New trends in Forest Economics: The case of Material Flow Cost Accounting 47-56

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΑΡΘΡΟ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

<i>Θ. Α. Κωτσόπουλος</i>	Τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, εφαρμογές και μελλοντικές προοπτικές	4-14
--------------------------	---	------

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

<i>Σ. Γκατζογιάννης</i>	Η αξιολόγηση και η χαρτογράφηση των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών ως εργαλείων λήψης αποφάσεων διαχείρισης δασών	15-33
-------------------------	--	-------

<i>Σ. Γκατζογιάννης</i>	Πίνακες παραγωγής Ελάτης του δάσους Ταύγету	34-46
-------------------------	---	-------

ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<i>Κ. Γ. Παπασπυρόπουλος, Δ. Καρμανώλης</i>	Νέες τάσεις στη Δασική Οικονομική: η περίπτωση της Κοστολόγησης Ροής Υλικών	47-56
---	--	-------

Τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, εφαρμογές και μελλοντικές προοπτικές

Θ.Α. Κοτσόπουλος*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αξιοποίηση των κτηνοτροφικών και γεωργικών αποβλήτων μέσω ενός ολοκληρωμένου συστήματος αναερόβιας ζύμωσης για την παραγωγή βιοαερίου θεωρείται η καταλληλότερη οδός για τη μετατροπή των αποβλήτων σε χρήσιμα προϊόντα, όπως ενέργεια και λίπασμα. Το βιοαέριο παράγεται από την αποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων με τη βοήθεια μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου. Το βιοαέριο κυρίως χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε ένα σύστημα συμπαραγωγής. Τα τελευταία χρόνια η χρήση του δεν περιορίζεται μόνο στην παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας αλλά ύστερα από αναβάθμιση του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων είτε να εισαχθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Το βιοαέριο περιέχει κυρίως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και άλλα αέρια σε μικρές συγκεντρώσεις. Προκειμένου να αναβαθμισθεί το βιοαέριο σε βιομεθάνιο πρέπει να γίνει απομάκρυνση των επιπλέον του μεθανίου αερίων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι απομάκρυνσης του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων ανεπιθύμητων αερίων στο βιοαέριο και γίνεται σύγκριση των μεθόδων αυτών. Τέλος, επισημαίνονται και συζητούνται οι υπάρχουσες εφαρμογές της τεχνολογίας και οι μελλοντικές της προοπτικές.

Λέξεις κλειδιά: Βιοαέριο, βιομεθάνιο, κτηνοτροφικά απόβλητα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

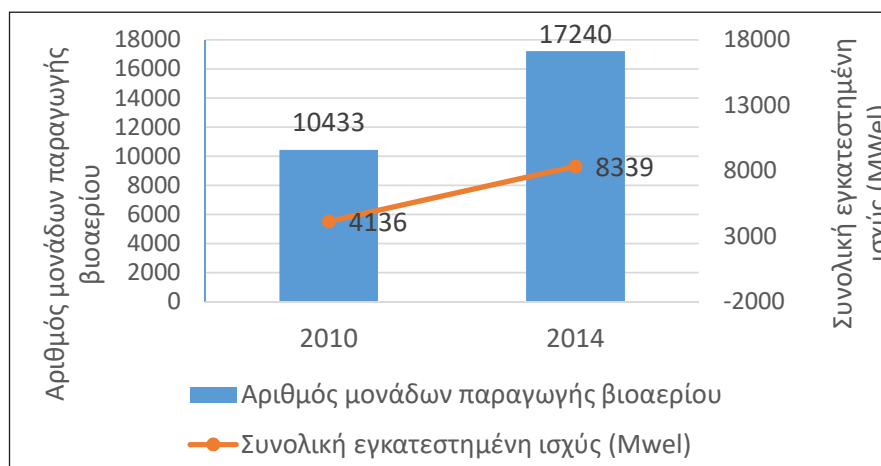
Τα κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά απόβλητα είναι πλούσια σε οργανική ουσία, σε περίπτωση που διατεθούν στον τελικό αποδέκτη χωρίς να υποστούν επεξεργασία προκαλείται περιβαλλοντική ρύπανση. Διάφορες τεχνολογίες είναι διαθέσιμες για τον έλεγχο της ρύπανσης και για την ανάκτηση πόρων από τα αγροτικά απόβλητα. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να ταξινομηθούν ως θερμοχημικές τεχνολογίες (αεριοποίηση και πυρόλυση) (Cantrell et al., 2008), χημικές μέθοδοι (χημική κατακρήμνιση, κρυστάλλωση, ανταλλαγή ιόντων, και προσρόφηση) (Gupta et al., 2012), φυσικές μέθοδοι (καθίζηση, αντίστροφη ώσμωση, διαχωρισμός) και βιολογικές μέθοδοι (αναερόβια χώνευση, αερόβια επεξεργασία, κομποστοποίηση).

Οι φυσικές μέθοδοι έχουν το μειονέκτημα να είναι πάρα πολύ ακριβές ή αναποτελεσματικές. Οι τεχνολογίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά επιρρεπείς στην παραγωγή επιπλέον λάσπης, έχουν υψηλή δαπάνη αγοράς αναλωσίμων και ανεπαρκή αποτελεσματικότητα. Οι θερμοχημικές μέθοδοι έχουν υψηλό κόστος επένδυσης λόγω της περίπλοκης κατασκευής τους. Οι αερόβιες εγκαταστάσεις επεξεργα-

σίας έχουν υψηλό κόστος λειτουργίας και δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίζουν τα γεωργικά απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία. Εξαιτίας των παραπάνω λόγων και κυρίως λόγω της έλλειψης κερδοφορίας των προαναφερθέντων πρακτικών - και διαδικασιών οι μοναδικές διαδικασίες που έχουν βρει ευρεία αποδοχή στον τομέα της γεωργίας είναι η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση.

Η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση είναι οι πιο εφαρμόσιμες τεχνολογίες για την επεξεργασία των αγροτικών αποβλήτων, μεταξύ αυτών η αναερόβια χώνευση φαίνεται να πλεονεκτεί καθώς εκτός της επεξεργασίας των αποβλήτων και την παραγωγή σταθεροποιημένης οργανικής ουσίας υπάρχει και ανάκτηση ενέργειας υπό τη μορφή μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο. Το βιοαέριο οδηγείται συνήθως σε ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) και καίγεται παράγοντας ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η συνολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των μονάδων βιοαερίου στην Ευρώπη διπλασιάστηκε από το έτος 2010 (4136MW_e) έως το έτος 2014 (8339 MW_e), αντιστοίχως οι μονάδες βιοαερίου αυξήθηκαν από 10433 σε 17240 (EBA, 2016 a). (Σχήμα 1).

* Επίκουρος Καθηγητής, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, τηλ. 2310991796, e-mail: mkotsop@agro.auth.gr



Σχήμα 1. Ανάπτυξη της τεχνολογίας παραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη
Figure 1. Development of biogas technology in Europe

Η αναερόβια αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας συντελείται με τη βοήθεια διαφορετικών μικροοργανισμών (βακτηρίων και αρχαίων) (Zhou et al., 2016) και πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια: το στάδιο της υδρόλυσης, της οξεογένεσης, της οξικογένεσης και της μεθανογένεσης (Surendra et al., 2014). Στο στάδιο της υδρόλυσης σύνθετες οργανικές ενώσεις όπως πρωτεΐνες, λίπη και υδατάνθρακες υδρολύονται σε αμινοξέα, σάκχαρα, λιπαρά οξέα μεγάλης αλυσίδας κ.α. Αυτές οι ενώσεις διασπώνται περαιτέρω κατά την οξεογένεση όπου και παράγονται πτητικά λιπαρά οξέα (όπως πεντανικό, βουτυρικό, ισοβουτυρικό και προπιονικό οξύ), διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Κατά το στάδιο της οξικογένεσης παράγεται υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ από την διάσπαση των πτητικών λιπαρών οξέων και αλκοολών. Το μεθάνιο παράγεται από δύο μεταβολικές οδούς κατά το στάδιο της μεθανογένεσης: α) την οξικολυτική μεθανογένεση, όπου πραγματοποιείται μετατροπή του οξικού οξέος σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και β) την υδρογονοτροφική μεθανογένεση, όπου το μεθάνιο παράγεται με τη βοήθεια των υδρογονοτροφικών μικροοργανισμών τα οποία για το σκοπό αυτόν καταναλώνουν υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (Ohimain & Izah, 2017).

Από την προαναφερόμενη διαδικασία το βιοαέριο που παράγεται περιέχει κυρίως μεθάνιο (55-75% κατά όγκο) και διοξείδιο του άνθρακα (Qian et al., 2017). Άλλα συστατικά που είναι συχνά παρόντα στο βιοαέριο σε μικρότερες όμως συγκεντρώσεις είναι οι υδρατμοί, το υδροθείο, οι σιλοξάνες, η αμμωνία, πτητικές οργανικές ενώσεις, το μονοξείδιο του άνθρακα,

το οξυγόνο και το άζωτο (Andriani et al., 2014). Η σύσταση του βιοαερίου εξαρτάται κυρίως από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του καθώς και από την τεχνολογία η οποία εφαρμόζεται στις μονάδες του βιοαερίου.

Όταν η χρήση του βιοαερίου είναι η ηλεκτροπαραγωγή συνήθως απομακρύνονται από αυτό οι υδρατμοί, το υδροθείο καθώς και τυχόν μικροσωματίδια που αυτό περιέχει, η απομάκρυνση των οποίων γίνεται με μηχανικό φίλτρο.

Το υδροθείο προέρχεται από την αναερόβια αποικοδόμηση οργανικών θειούχων ενώσεων και είναι ισχυρά διαβρωτικό αέριο, μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στα τμήματα του κινητήρα και στα μεταλλικά στοιχεία του ΣΗΘ για αυτό και πρέπει να απομακρυνθεί πριν την εισαγωγή του βιοαερίου στο ΣΗΘ (Cosoli et al., 2008). Συνήθως το υδροθείο απομακρύνεται με χημικές και φυσικοχημικές τεχνικές, όπως η προσρόφηση του υδροθείου σε ζεόλιθο, ενεργό άνθρακα ή μέσω δέσμευσης του σε ένα κανστικό διάλυμα ή με την αντίδραση του με Fe_2O_3 και τη δημιουργία Fe_2S (Adib et al., 1999; Cosoli et al., 2008; Pipatmanomai et al., 2009). Ωστόσο, αυτές οι τεχνικές έχουν υψηλό κόστος λειτουργίας και συνήθως παράγονται παραπροϊόντα τα οποία είναι δύσκολο να διατεθούν (Deng et al., 2009). Ένας άλλος τρόπος απομάκρυνσης του υδροθείου από το βιοαέριο είναι με την αερόβια οξείδωση του σε στοιχειακό θείο ή θειικά ιόντα παρουσία χημειοαυτότροφων θειικών βακτηρίων (Lin et al., 2013). Η οξείδωση του H_2S μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε ξεχωριστό αντιδραστήρα είτε στον ίδιο τον αντιδραστήρα με την

εισαγωγή μικρής ποσότητας ατμοσφαιρικού αέρα (2-6%) στον υπερκείμενο χώρο (Krayzelova et al., 2014; Ripatmanomai et al., 2009), και την μετατροπή του σε στοιχειακό θείο.

Το βιοαέριο που παράγεται είναι συνήθως κορεσμένο με υδρατμούς, οι υδρατμοί αυτοί μπορεί να συμπυκνωθούν στους σωλήνες μεταφοράς του βιοαερίου και να προκαλέσουν διάβρωση στα μεταλλικά στοιχεία και επιπλέον μειώνουν τη θερμογόνο ισχύ του βιοαερίου. Για τους λόγους αυτούς οι υδρατμοί απομακρύνονται από το βιοαέριο πριν την εισαγωγή του βιοαερίου στο ΣΗΘ. Η απομάκρυνση των υδρατμών πραγματοποιείται κυρίως με την ψύξη του βιοαερίου, άλλες μέθοδοι απομάκρυνσης των υδρατμών είναι η συμπίεση και η απορρόφηση ή προσρόφηση σε κάποιο μέσο. Παράλληλα με την απομάκρυνση των υδρατμών μέσω ψύξης απομακρύνεται και η αμμωνία που πιθανόν υπάρχει στο βιοαέριο, επομένως δεν απαιτείται χωριστή διαδικασία απομάκρυνσης της.

Τα τελευταία χρόνια η ενεργειακή στροφή της Ευρώπης σε καθαρότερες μορφές ενέργειας, η διασύνδεση όλο και περισσότερων περιοχών με το δίκτυο του φυσικού αερίου συντέλεσαν στο να αυξηθεί το μερίδιο του φυσικού αερίου (μεθάνιο) στο ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και να φτάσει στο 25.4% το έτος 2010 (Eurostat, 2016). Η κατανάλωση φυσικού αερίου για το πρώτο τρίμηνο του 2016 στην Ε.Ε.-28 ανήλθε σε περίπου 1600 TWh εκ των οποίων πάνω από το 50% της κατανάλωσης καλύφθηκε με εισαγωγές φυσικού αερίου κυρίως από τη Ρωσία και τη Νορβηγία (European gas market, 2016.)

Το εκτεταμένο δίκτυο φυσικού αερίου και η δυνατότητα διασύνδεσης με αυτό των μονάδων παραγωγής βιοαερίου αποτέλεσε τη βάση προκειμένου να αναπτυχθούν τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Η χρήση του βιοαερίου πλέον δεν περιορίζεται μόνο στην ηλεκτροπαραγωγή και στην παραγωγή θερμότητας αλλά μπορεί να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο (ποιότητα ισοδύναμη με αυτή του φυσικού αερίου) και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή να γίνει έγχυση του στο δίκτυο φυσικού αερίου. Το CO₂ που βρίσκεται στο βιοαέριο πρέπει να απομακρυνθεί προκειμένου το βιοαέριο να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο, όπως επίσης πρέπει να απομακρυνθούν και άλλοι ρυπαντές που πιθανόν να βρίσκονται στο βιοαέριο. Οι προδιαγραφές που πρέπει να έχει το βιομεθάνιο για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως καύσιμο οχημάτων είτε για να έγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου πρέπει να είναι σύμφωνες με το Ευρωπαϊκό πρότυπο CEN/TC 408. Στην παρούσα

εργασία παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο και γίνεται σύγκριση μεταξύ τους όσον αφορά την ευκολία εφαρμογής τους και τις μελλοντικές τους προοπτικές. Οι κυριότερες τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου που αφορούν τεχνολογίες απομάκρυνσης του CO₂ είναι η διάλυση του σε νερό υπό πίεση και η απομάκρυνση του (Απορρόφηση σε Νερό υπό Πίεση – ANΠ, Pressure Water Scrubbing- PWS), η προσρόφηση του με εναλλαγή πίεσης σε ένα πορώδες μέσο (Προσρόφηση με Εναλλαγή Πίεσης -ΠΕΠ, Pressure Swing Adsorption -PSA), η χημική απορρόφηση και ο διαχωρισμός με μεμβράνες (Leonzio, 2016), προσφάτως αναπτύσσεται εμπορικά και η κρυογονική τεχνολογία διαχωρισμού για την αναβάθμιση του βιοαερίου (Budzianowski et al.). Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται μία τεχνολογία που προσβλέπει στην μετατροπή του CO₂ που περιέχεται στο βιοαέριο σε CH₄ με την έγχυση υδρογόνου στην μονάδα βιοαερίου. Το CO₂ καθώς και το H₂ καταναλώνονται από υδρογονοτροφικούς μικροοργανισμούς και παράγεται μεθάνιο, αποτέλεσμα αυτού είναι ότι το βιοαέριο αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο. Άλλες βιολογικές μέθοδοι αναβάθμισης περιλαμβάνουν την κατανάλωση του CO₂ για την ανάπτυξη μικροφυκών (Posadas et al., 2016) ή φυκιών ή και μικροοργανισμών (Gunnarsson et al., 2014).

2. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

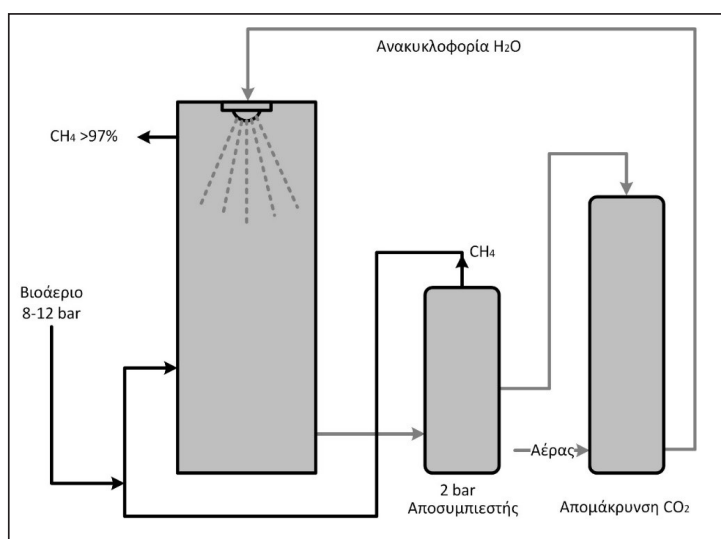
Το έτος 2014 ο αριθμός των εν λειτουργία μονάδων παραγωγής βιομεθανίου στην Ευρώπη ανήλθε σε 367 από τις οποίες οι 178 ήταν εγκατεστημένες στην Γερμανία (EBA, 2016b). Το σύνολο των μεθόδων αναβάθμισης που εφαρμόζονται εμπορικά σήμερα ανήκουν στην κατηγορία των φυσικών και χημικών μεθόδων αναβάθμισης. Από αυτές οι επικρατέστερες μέθοδοι στην Ευρώπη είναι η ANΠ και η ΠΕΠ (Biogas partner, 2017), λόγω της αξιοπιστίας τους και της ευκολίας στη λειτουργία τους (Rotunno et al., 2017).

2.1. Απορρόφηση σε νερό υπό πίεση (ANΠ) - διάλυση του CO₂ σε νερό υπό πίεση και απομάκρυνση του από το βιοαέριο

Στον Πίνακα I δίνονται οι διαλυτότητες των CO₂, CH₄ και H₂S στο νερό σε πίεση 1 atm και σε σχέση με τη θερμοκρασία. Χαμηλότερη θερμοκρασία συνεπάγεται και υψηλότερη διαλυτότητα. Η διαλυτότητα τόσο του CO₂ όσο και H₂S είναι πολλαπλάσια από αυτή του CH₄, και σε αυτή την ιδιότητα στηρίζεται η μέθοδος ANΠ.

Πίνακας Ι. Διαλυτότητα CO ₂ , CH ₄ και H ₂ S στο νερό σε πίεση 1 atm			
Θερμοκρασία σε °K	CO ₂ (mol/L)	CH ₄ (mol/L)	H ₂ S (mol/L)
288.15	8.21×10^{-4}	3.122×10^{-5}	2.335×10^{-3}
293.15	7.07×10^{-4}	2.806×10^{-5}	2.075×10^{-3}
298.15	6.15×10^{-4}	2.552×10^{-5}	1.85×10^{-3}
303.15	5.41×10^{-4}	2.346×10^{-5}	1.66×10^{-3}
308.15	4.80×10^{-4}	2.180×10^{-5}	1.51×10^{-3}

Πηγή: Gevantman, 2004.



Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας ANP (τροποποιημένο σχήμα από τους Yang και Li, 2014)

Figure 2. Schematic diagram of pressure water scrubbing (Figure adapted from Yang and Li, 2014).

Το βιοαέριο εισέρχεται από τη βάση σε μία στήλη διαχωρισμού η οποία τροφοδοτείται με νερό (Σχήμα 2). Καθώς η διαλυτότητα του CO₂ δεν είναι υψηλή αρκετά, το βιοαέριο συμπιέζεται σε πίεση 8-12 bar, προκειμένου να αυξηθεί η διαλυτότητα του σε επιθυμητά επίπεδα (Wylock & Budzianowski, 2017). Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το νόμο του Henry η διαλυτότητα ενός αερίου αυξάνεται με την αύξηση της μερικής πίεσης του αερίου (Wiheeb et al., 2016). Κάτω από αυτές τις συνθήκες το CO₂ διαλύεται στο νερό καθώς και ένα μέρος του CH₄, το υπόλοιπο CH₄ συλλέγεται με τη μορφή βιομεθανίου από το πάνω μέρος της στήλης. Το νερό με τα διαλυμένα αέρια

οδηγείται σε μία δεξαμενή όπου πραγματοποιείται αποσυμπίεση του στα 2bar (Xu et al., 2015b). Μεγάλο μέρος του διαλυμένου CH₄ και μέρος του CO₂ απελευθερώνονται σε αέρια μορφή και οδηγούνται ξανά στη στήλη διαχωρισμού προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες σε μεθάνιο λόγω της αρχικής του διάλυσης στο νερό. Με τη μέθοδο αυτή απομακρύνεται και το H₂S καθώς η διαλυτότητα του στο νερό είναι υψηλότερη από τα άλλα δύο αέρια (Πίνακας Ι). Ωστόσο, καθώς το διαλυμένο H₂S είναι τοξικό και εξαιρετικά διαβρωτικό μία ξεχωριστή μονάδα αποθείωσης είναι συνήθως απαραίτητη πριν την εισαγωγή του βιοαερίου στη μονάδα ANP (Sun et al., 2015).

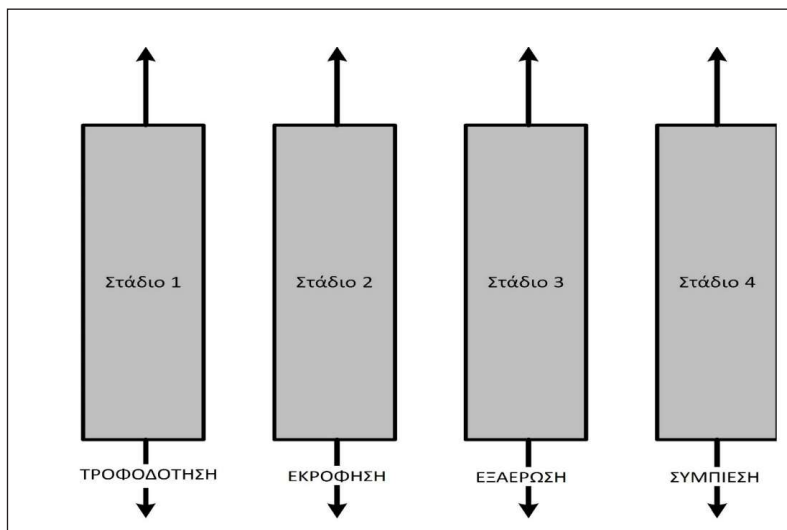
Όπως αναφέρθηκε η μέθοδος ΑΝΠ είναι μεταξύ των επικρατέστερων εφαρμοσμένων μεθόδων αναβάθμισης του βιοαερίου, αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι επιτυγχάνεται υψηλός διαχωρισμός του CO₂ (βιομεθάνιο > 97% CH₄), στο ότι η συντήρηση και η λειτουργία των εγκαταστάσεων είναι εύκολη (Budzianowski et al., 2017; Tippayawong & Thanomprongchart, 2010), και στο ότι η απώλεια σε CH₄ είναι χαμηλή σε σχέση με την άλλη ευρέως εφαρμόσιμη τεχνολογία την ΠΕΠ (Sun et al., 2015; Yousef et al., 2016). Στα μειονεκτήματα της εγκαταλέγονται οι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια για τη συμπίεση του αερίου και για την κυκλοφορία του νερού (Budzianowski et al., 2017; Sun et al., 2015) και στο ότι μία συγκεκριμένη εγκατάσταση μπορεί να επεξεργαστεί συγκεκριμένης ποιότητας βιοαέριο και σημαντική αλλαγή στη σύσταση του βιοαερίου θα επιφέρει μειωμένη καθαρότητα σε βιομεθάνιο.

2.2. Προσρόφηση με εναλλαγή πίεσης -ΠΕΠ, προσρόφηση του CO₂ με εναλλαγή πίεσης σε ένα πορώδες μέσο

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται προσροφητικά υλικά όπως ζεόλιθος, ενεργός άνθρακας και μοριακά κόσκινα (Kim et al., 2015; Vivo-Vilches et al., 2017), τα οποία έχουν την ιδιότητα να προσροφούν επιλεκτικά και να αποβάλλουν τα μη επιθυμητά συστατικά του βιοαερίου με εναλλαγή της πίεσης βάση του μεγέθους του μορίου (Augelletti et al., 2017; Sun et

al., 2015). Το μέγεθος του μορίου του CH₄ (3.8x10⁻¹⁰ m) είναι μεγαλύτερο από το μόριο του CO₂ (3.4x10⁻¹⁰ m) και ο διαχωρισμός μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα πορώδες μέσο με μέγεθος πόρου των 3.7x10⁻¹⁰ m (Patterson et al., 2011). Με τη μέθοδο αυτή διαχωρίζονται και το O₂ και N₂ που μπορεί να υπάρχουν στο βιοαέριο καθώς έχουν διαφορετικό μέγεθος μορίου από ότι το CH₄.

Το βιοαέριο συμπιέζεται σε πίεση περίπου 7atm και εισάγεται σε μία στήλη όπου υπάρχει το προσροφητικό υλικό που προαναφέρθηκε (Alonso-Vicario et al., 2010). Τα μη επιθυμητά αέρια από την αύξηση της πίεσης εγκλωβίζονται μέσα στο πορώδες μέσο ενώ το μεθάνιο απελευθερώνεται από την στήλη. Όταν κορεσθεί με τα αέρια το πορώδες μέσο, μέσω μιας διάταξης βαλβίδων κλείνει η τροφοδοσία της στήλης και, ταυτόχρονα, η ολική πίεση της στήλης μειώνεται. Η μείωση της πίεσης έχει ως αποτέλεσμα τη μερική εκρόφηση των αερίων που είχαν παγιδευτεί στο προσροφητικό μέσο με αποτέλεσμα την “αναγέννηση” του προσροφητή (Grande, 2012), και την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων αερίων από τη στήλη. Τα στάδια που περιλαμβάνει η ΠΕΠ είναι συνήθως η τροφοδότηση, η εξαέρωση, η εκρόφηση και η συμπίεση (Augelletti et al., 2017). Ουσιαστικά η λειτουργία είναι μη συνεχής, προκειμένου να μπορεί η επεξεργασία του βιοαερίου να είναι μία συνεχής διαδικασία, συνήθως ο αριθμός των στηλών-δεξαμενών που λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη είναι τέσσερις ή περισσότερες (σχήμα 3). Όταν



Σχήμα 3. Τα τέσσερα στάδια της μεθόδου ΠΕΠ
Figure 3. The four steps of the PSA method

η κορεσθεί το προουροφητικό στην πρώτη στήλη το βιοαέριο διοχετεύεται στην επόμενη στήλη που έχει «αναγεννηθεί».

Τα πλεονεκτήματα της ΠΕΠ είναι ότι η ποιότητα του βιομεθανίου είναι υψηλή (95–98% CH₄) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντικατάστατο του φυσικού αερίου άμεσα μετά τον καθαρισμό του βιοαερίου και ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι χαμηλή με αυτή τη μέθοδο σε σχέση με τη μέθοδο PWS (Augelletti et al., 2017; Ryckebosch et al., 2011). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή έχει τη χαμηλότερη ανάκτηση μεθανίου σε σχέση με τις άλλες μεθόδους αναβάθμισης του βιοαερίου η οποία ανέρχεται σε 85-90% (Augelletti et al., 2017), το υπόλοιπο CH₄ παρασύρεται με το CO₂, με αποτέλεσμα να απαιτείται και ένα στάδιο καθαρισμού των αερίων μετά τη διαδικασία του ΠΕΠ για να αποφευχθεί πιθανή ρύπανση της ατμόσφαιρας.

2.3. Χημική απορρόφηση του CO₂

Η χρήση χημικών για την διάλυση και απομάκρυνση του CO₂ αποτελεί μία άλλη, λιγότερο όμως διαδεδομένη, μέθοδος αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Πραγματοποιείται σε στήλη και η ικανότητα της εξαρτάται από τον διαλύτη (χημικό μέσο) που χρησιμοποιείται, από τον ρυθμό ροής του υγρού και του βιοαερίου μέσα στη στήλη, και από τις συνθήκες που πραγματοποιείται η απελευθέρωση του δεσμευμένου αερίου (Abdeen et al., 2016).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η μέθοδος της χρήσης αμινών (Amine Scrubbing). Οι αμίνες δρουν ως επιλεκτικοί διαλύτες του CO₂, η διαλυτότητα του CO₂ είναι υψηλή σε αυτές και σημαντικές ποσότητες CO₂ διαλύονται ανά μονάδα όγκου ακόμα και σε χαμηλή πίεση. Ένα τυπικό σύστημα αναβάθμισης βιοαερίου λειτουργεί ως εξής: μέσα σε στήλη όπου βρίσκεται ο διαλύτης (αμίνες) και κάτω από θερμοκρασία (40-50°C) εισέρχεται το βιοαέριο, το CO₂ δεσμεύεται από το διαλύτη και το βιοαέριο αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο με έως 98% καθαρότητα. Το πλούσιο σε CO₂ διάλυμα οδηγείται σε μία δεξαμενή όπου η θερμοκρασία των 120°C συμβάλλει στην απελευθέρωση του CO₂ και στην αναγέννηση του διαλύτη (Zhang et al., 2015). Η μέθοδος αυτή έχει λιγότερες απαιτήσεις σε ενέργεια (Patterson et al., 2011) για την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο σε σύγκριση με τις PSA και PWS. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι απαιτείται η χρήση χημικών και το ότι το διάλυμα των αμινών είναι διαβρωτικό (Kadam & Panwar, 2017). Άλλοι χημικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση του

CO₂ είναι αλκαλικά διαλύματα NaOH, KOH, και Ca(OH)₂ (Baciocchi et al., 2013), καθώς και άλατα αμινοξέων (Yan et al., 2015).

2.4. Διαχωρισμός με μεμβράνες

Οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό αερίων συστατικών τα οποία παρουσιάζουν διαφορετική δυνατότητα διέλευσης μέσω του υλικού τους. Οι μεμβράνες έχουν διαφορετική διαπερατότητα και εκλεκτικότητα στα αέρια συστατικά του βιοαερίου με αποτέλεσμα να ευνοείται η διέλευση ενός αερίου έναντι ενός άλλου, με συνέπεια το διαχωρισμό τους και την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Συνήθως, το CO₂ και το H₂S διέρχονται μέσα από τη μεμβράνη ενώ το μεθάνιο δε διέρχεται, μολονότι κάποια μόρια του μπορεί να περάσουν από τη μεμβράνη, με συνέπεια την απώλεια μεγάλων ποσοτήτων CH₄ ειδικά στην περίπτωση που επιδιώκεται να επιτευχθεί μεγάλη καθαρότητα σε CH₄ (Sun et al., 2015). Προκειμένου να διευκολυνθεί η διάχυση των αερίων μέσω των μεμβρανών χρησιμοποιείται συμπίεση, ο οποίος αυξάνει την πίεση στο βιοαέριο και ωθείται το αέριο να περάσει μέσα από τη μεμβράνη (Kadam & Panwar, 2017). Οι κύριοι τύποι μεμβρανών που χρησιμοποιούνται είναι οι κεραμικές και οι πολυμερικές, εμπορική εφαρμογή έχουν ως επί το πλείστον οι πολυμερικές μεμβράνες, αυτές όμως οι μεμβράνες δεν έχουν μεγάλη εκλεκτικότητα και επομένως δεν μπορεί να επιτευχθεί εύκολα μεγάλη ανάκτηση του CH₄, και επιπλέον η κατανάλωση ενέργειας είναι υψηλή χρησιμοποιώντας πολυμερικές μεμβράνες για την αναβάθμιση του βιοαερίου (Haider et al., 2017). Οι κεραμικές μεμβράνες από την άλλη μειονεκτούν ως προς την αντοχή τους και το κόστος τους.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των μεμβρανών είναι η εύκολη λειτουργία και η υψηλή αξιοπιστία, ενώ τα γενικά μειονεκτήματα είναι η χαμηλή επιλεκτικότητα και ότι η διαδικασία απαιτεί πολλά στάδια για να πραγματοποιηθεί (Valenti et al., 2016).

2.5. Κρυογονική τεχνολογία διαχωρισμού του CO₂

Το σημείο ζέσεως του CO₂ είναι οι -78.35°C (σημείο εξάχνωσης) ενώ του CH₄ είναι οι -161.6°C σε ατμοσφαιρική πίεση. Η κρυογονική διαδικασία βασίζεται ακριβώς σε αυτήν τη διαφοροποίηση του σημείου υγροποίησης ή στερεοποίησης μεταξύ των διαφορετικών αερίων συστατικών. Η υγροποίηση ή στερεοποίηση του αερίου CO₂ δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία αλλά και από άλλους παράγο-

ντες, κυρίως την πίεση. Το βιοαέριο ψύχεται σταδιακά ενώ αυξάνεται και η πίεση του με αποτέλεσμα να απομακρύνεται το CO₂ καθώς και οι άλλοι ρυπαντές (Yousef et al., 2016). Η κρυογονική τεχνολογία έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί υψηλές ποσότητες ενέργειας για να πραγματοποιηθεί. Στα πλεονεκτήματά της συγκαταλέγεται ότι το CO₂ δεν απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα αλλά αποθηκεύεται υγροποιημένο. Η υγροποίηση του CO₂ λαμβάνει χώρα σε διαφορετικές συνθήκες σε σχέση με τους άλλους ρυπαντές με αποτέλεσμα να παράγεται υψηλής καθαρότητας CO₂ με μειωμένο όγκο και άρα μπορεί να αποθηκευτεί χωρίς την επιπλέον δαπάνη ενέργειας.

3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Όλες οι προηγούμενες μέθοδοι στόχευαν στην απομάκρυνση του CO₂ από το βιοαέριο, οι βιολογικές μέθοδοι σε αντίθεση με τις προηγούμενες στοχεύουν στη μετατροπή και ενεργειακή αναβάθμιση του CO₂ σε μία χρήσιμη οργανική ένωση. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των βιολογικών μεθόδων έναντι των άλλων, ότι δηλαδή δεν καθιστά το CO₂ ρυπαντή αλλά μία χρήσιμη πρώτη ύλη.

Η κατανάλωση του CO₂ από φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, όπως τα μικροάλγη, αποτελεί έναν από τους κύριους τρόπους αναβάθμισης του βιοαερίου που ερευνάται σήμερα (Meier et al., 2015). Παράλληλα με την αναβάθμιση του βιοαερίου επιτυγχάνεται και απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου από τα λύματα με αποτέλεσμα να μπορούν τα επεξεργασμένα λύματα να διοχετευτούν άμεσα στον τελικό αποδέκτη (Xu et al., 2015a). Η βιομάζα των μικροφυκών ή φυκιών (σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν φύκια αντί για μικροάλγη) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης και βιοντίζελ ή άλλων χρήσιμων προϊόντων. Παρόλο των αναφερόμενων πλεονεκτημάτων η μέθοδος αυτή υστερεί στην καθαρότητα του παραγόμενου βιομεθανίου καθώς από την ανάπτυξη των μικροφυκών είτε των φυκών παράγεται O₂ που ανέρχεται σε ποσοστό από 2-24% στο τελικό αέριο (Posadas et al., 2015).

Άλλη μέθοδος αναβάθμισης του βιοαερίου πολλά υποσχόμενη είναι η κατανάλωση του CO₂ από ζυμωτικά βακτήρια για την παραγωγή ηλεκτρικού οξέος (Gunnarsson et al., 2014). Στην συγκεκριμένη ερευνητική εργασία επετεύχθη καθαρότητα βιομεθανίου σε ποσοστό μεθανίου ίσο με 95.4% ύστερα από 24 ωρών ζύμωση και παραγωγή βιο-ηλεκτρικού οξέος. Το ηλεκτρικό οξύ χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για

την παρασκευή πολλών προϊόντων και η εμπορική του αξία είναι υψηλή. Η εφαρμογή του βρίσκεται σε πιλοτική φάση.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή μία από τις μεταβολικές οδούς παραγωγής CH₄ είναι η υδρογονοτροφική οδός, κατά την οποία καταναλώνεται CO₂ και H₂ για την παραγωγή CH₄. Επομένως, με την εισαγωγή H₂ και τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών υδρογονοτροφικής μεθανογένεσης, το CO₂ θα μετατραπεί σε μεθάνιο, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο όχι μόνο σε υψηλή καθαρότητα βιομεθανίου αλλά και στην επιπλέον παραγωγή μεθανίου (Luo & Angelidaki, 2012). Η μέθοδος διακρίνεται σε in-situ στην περίπτωση που το H₂ διαχέεται στον αντιδραστήρα που πραγματοποιείται η αναερόβια αποικοδόμηση (Bassani et al., 2016), και σε ex-situ σε περίπτωση που η υδρογονοτροφική μεθανογένεση λαμβάνει χώρα σε άλλον αντιδραστήρα (Kougias et al., 2017). Για την εμπορική εφαρμογή της μεθόδου αυτής θα πρέπει να λυθούν ορισμένα ζητήματα που αφορούν την αύξηση της διαλυτότητας του H₂ στο υγρό, την αύξηση της παραμονής του H₂ μέσα στον αντιδραστήρα και να βρεθεί τρόπος για να αποφευχθεί η άνοδος του pH στον αντιδραστήρα λόγω της απομάκρυνσης του CO₂. Επιπλέον των ανωτέρω σημαντικά τεχνικά ζητήματα πρέπει να επιλυθούν σχετικά με την τροφοδότηση του αντιδραστήρα με H₂.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι κυριότερες τεχνολογίες που βρίσκονται στην αγορά (PWS, PSA, χημική απομάκρυνση, κρυογονική απομάκρυνση και μεμβράνες) στηρίζονται στις διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα διάφορα αέρια συστατικά του βιοαερίου. Απαιτείται κατανάλωση σημαντικών ποσών ενέργειας προκειμένου να πραγματοποιηθούν, μεταξύ των περισσότερων ενεργοβόρων συγκαταλέγονται η κρυογονική απομάκρυνση και η PWS, και οι λιγότερο ενεργοβόρες τεχνολογίες είναι η χημική απομάκρυνση του CO₂ και η χρήση των μεμβρανών. Οι συμβατικές τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου στοχεύουν στην απομάκρυνση του CO₂ από το βιοαέριο προκειμένου να παραχθεί υψηλής καθαρότητας μεθάνιο που αντιστοιχεί σε ποιότητα φυσικού αερίου (CH₄ > 95%). Στις περισσότερες περιπτώσεις, το CO₂ απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα συμβάλλοντας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μόνο στην κρυογονική διαδικασία το CO₂ συλλέγεται και δεν θεωρείται ρυπαντής. Παράλληλα, με την απελευθέρωση του CO₂ υπάρχουν

απώλειες προς την ατμόσφαιρα και μεθανίου, με τις περισσότερες απώλειες να εντοπίζονται στη PSA και στη χρήση των μεμβρανών. Παρόλο των μειονεκτημάτων που αναφέρθηκαν, συνεχώς κατασκευάζονται στον Ευρωπαϊκό χώρο αλλά και παγκοσμίως νέες μονάδες αναβάθμισης του βιοαερίου, καθώς η χρήση του βιομεθανίου επεκτείνεται διαρκώς.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους στις βιολογικές μεθόδους το CO₂ δεν απομακρύνεται αλλά μετατρέπεται σε μία χρήσιμη οργανική ουσία. Η αναβάθμιση του βιοαερίου με τη χρήση φυκών ή μικροφυκών δεν είναι ικανοποιητική καθώς παράγεται O₂ σε μεγάλες ποσότητες. Η χρήση βακτηρίων για την αναβάθμιση του βιοαερίου φαίνεται να αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη μελλοντική λύση. Ειδικά η

υδρογονοτροφική μέθοδος φαίνεται να είναι η πιο ελπιδοφόρα, καθώς το CO₂ μετατρέπεται σε μεθάνιο ενισχύοντας ακόμη παραπάνω την ενεργειακή αξία του αέριου μείγματος. Μάλιστα αποτελεί μία πρόσφορη λύση για την αποθήκευση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Η μη αποθήκευση της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται αυξημένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο μπορεί να αποφευχθεί με τη μετατροπή της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας σε H₂, και μετέπειτα με τη μετατροπή του H₂ σε CH₄. Ωστόσο, οι βιολογικές μέθοδοι βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό ή πιλοτικό στάδιο και πρέπει να επιλυθούν αρκετά τεχνικά προβλήματα πριν εφαρμοσθούν εμπορικά.

Biogas upgrading technologies to biomethane, applications and future perspectives

T.A. Kotsopoulos¹

ABSTRACT

Livestock and agricultural waste valorization through an integrated system of anaerobic fermentation for biogas production is considered as the most suitable route for the conversion of waste into useful products, such as energy and fertilizer. Biogas is produced by the organic substances decomposition due to microorganisms in absence of oxygen. Biogas is mainly used for electricity and thermal energy production in a cogeneration system. In recent years, its usage is not limited only for electricity and thermal production but after upgrade it, it can be used as vehicle fuel or can be injected in the natural gas grid. Biogas contains mainly methane and carbon dioxide and other gases in small concentrations. In order biogas to be upgraded into biomethane the additional to methane gases should be removed. This study presents the main methods of carbon dioxide and other undesirable gases removal from biogas and a comparison of these methods is given. Finally, existing technology applications and future perspectives are identified and discussed.

Keywords: Biogas, biomethane, livestock waste, renewable energy

¹ Assistant Professor, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124, tel. 2310991796, e-mail: mkotsop@agro.auth.gr

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdeen, F.R.H., Mel, M., Jami, M.S., Ihsan, S.I., Ismail, A.F. 2016. A review of chemical absorption of carbon dioxide for biogas upgrading. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, **24**(6), 693-702.
- Adib, F., Bagreev, A., Badosz, T.J. 1999. Effect of pH and Surface Chemistry on the Mechanism of H₂S Removal by Activated Carbons. *Journal of Colloid and Interface Science*, **216**(2), 360-369.
- Alonso-Vicario, A., Ochoa-Gomez, J.R., Gil-Rvo, S., Gomez-Jimenez-Aberasturi, O., Ramvrez-Lopez, C.A., Torrecilla-Soria, J., Domvnguez, A. 2010. Purification and upgrading of biogas by pressure swing adsorption on synthetic and natural zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, **134**(1-3), 100-107.
- Andriani, D., Wresta, A., Atmaja, T.D., Saepudin, A. 2014. A Review on Optimization Production and Upgrading Biogas Through CO₂ Removal Using Various Techniques. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **172**(4), 1909-1928.
- Augelletti, R., Conti, M., Annesini, M.C. 2017. Pressure swing adsorption for biogas upgrading. A new process configuration for the separation of biomethane and carbon dioxide. *Journal of Cleaner Production*, **140**, Part 3, 1390-1398.
- Bacocchi, R., Carnevale, E., Corti, A., Costa, G., Lombardi, L., Olivieri, T., Zanchi, L., Zingaretti, D. 2013. Innovative process for biogas upgrading with CO₂ storage: Results from pilot plant operation. *Biomass and Bioenergy*, **53**, 128-137.
- Bassani, I., Kougiass, P.G., Angelidaki, I. 2016. In-situ biogas upgrading in thermophilic granular UASB reactor: key factors affecting the hydrogen mass transfer rate. *Bioresource Technology*, **221**, 485-491.
- Budzianowski, W.M., Wylock, C.E., Marciniak, P.A. 2017. Power requirements of biogas upgrading by water scrubbing and biomethane compression: Comparative analysis of various plant configurations. *Energy Conversion and Management*. (In press)
- Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G. 2008. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. *Bioresource Technology*, **99**(17), 7941-7953.
- Cosoli, P., Ferrone, M., Pricl, S., Fermeglia, M. 2008. Hydrogen sulfide removal from biogas by zeolite adsorption. Part II. MD simulations. *Chemical Engineering Journal*, **145**(1), 93-99.
- Deng, L., Chen, H., Chen, Z., Liu, Y., Pu, X., Song, L. 2009. Process of simultaneous hydrogen sulfide removal from biogas and nitrogen removal from swine wastewater. *Bioresource Technology*, **100**(23), 5600-5608.
- Gevantman, L.H., 2004. Solubility of selected gases in water. D.R. Lide ed. (Ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 8-87.
- Grande, C.A. 2012. Advances in Pressure Swing Adsorption for Gas Separation. *ISRN Chemical Engineering*, **2012**, 13.
- Gunnarsson, I.B., Alvarado-Morales, M., Angelidaki, I. 2014. Utilization of CO₂ Fixating Bacterium *Actinobacillus succinogenes* 130Z for Simultaneous Biogas Upgrading and Biosuccinic Acid Production. *Environmental Science & Technology*, **48**(20), 12464-12468.
- Gupta, V.K., Ali, I., Saleh, T.A., Nayak, A., Agarwal, S. 2012. Chemical treatment technologies for wastewater recycling-an overview. *RSC Advances*, **2**(16), 6380-6388.
- Haider, S., Lindbræthen, A., Høgg, M.-B. 2017. Techno-economical evaluation of membrane based biogas upgrading system; a comparison between polymeric membrane and carbon membrane technology. *Green Energy & Environment*. (In press)
- Kadam, R., Panwar, N.L. 2017. Recent advancement in biogas enrichment and its applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **73**, 892-903.
- Kim, Y.J., Nam, Y.S., Kang, Y.T. 2015. Study on a numerical model and PSA (pressure swing adsorption) process experiment for CH₄/CO₂ separation from biogas. *Energy*, **91**, 732-741.
- Kougiass, P.G., Treu, L., Benavente, D.P., Boe, K., Campanaro, S., Angelidaki, I. 2017. Ex-situ biogas upgrading and enhancement in different reactor systems. *Bioresource Technology*, **225**, 429-437.
- Krayzelova, L., Bartacek, J., Kolesarova, N., Jenicek, P. 2014. Microaeration for hydrogen sulfide removal in UASB reactor. *Bioresource Technology*, **172**, 297-302.
- Leonzio, G. 2016. Upgrading of biogas to bio-methane with chemical absorption process: simulation and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, **131**, 364-375.
- Lin, W.-C., Chen, Y.-P., Tseng, C.-P. 2013. Pilot-scale chemical-biological system for efficient H₂S removal from biogas. *Bioresource Technology*, **135**, 283-291.
- Luo, G., Angelidaki, I. 2012. Integrated biogas upgrading and hydrogen utilization in an anaerobic reactor

- containing enriched hydrogenotrophic methanogenic culture. *Biotechnology and Bioengineering*, **109**(11), 2729-2736.
- Meier, L., Perez, R., Azocar, L., Rivas, M., Jeison, D. 2015. Photosynthetic CO₂ uptake by microalgae: An attractive tool for biogas upgrading. *Biomass and Bioenergy*, **73**, 102-109.
- Ohimain, E.I., Izah, S.C. 2017. A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **70**, 242-253.
- Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R., Guwy, A. 2011. An evaluation of the policy and techno-economic factors affecting the potential for biogas upgrading for transport fuel use in the UK. *Energy Policy*, **39**(3), 1806-1816.
- Pipatmanomai, S., Kaewluan, S., Vitidsant, T. 2009. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. *Applied Energy*, **86**(5), 669-674.
- Posadas, E., Serejo, M.L., Blanco, S., Perez, R., Garcva-Encina, P.A., Muñoz, R. 2015. Minimization of biomethane oxygen concentration during biogas upgrading in algal-bacterial photobioreactors. *Algal Research*, **12**, 221-229.
- Posadas, E., Szpak, D., Lombø, F., Domvnguez, A., Dvaz, I., Blanco, S., Garcva-Encina, P.A., Muñoz, R. 2016. Feasibility study of biogas upgrading coupled with nutrient removal from anaerobic effluents using microalgae-based processes. *Journal of Applied Phycology*, **28**(4), 2147-2157.
- Qian, Y., Sun, S., Ju, D., Shan, X., Lu, X. 2017. Review of the state-of-the-art of biogas combustion mechanisms and applications in internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **69**, 50-58.
- Rotunno, P., Lanzini, A., Leone, P. 2017. Energy and economic analysis of a water scrubbing based biogas upgrading process for biomethane injection into the gas grid or use as transportation fuel. *Renewable Energy*, **102**, Part B, 417-432.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaeeren, H. 2011. Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, **35**(5), 1633-1645.
- Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., Yu, X. 2015. Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **51**, 521-532.
- Surendra, K.C., Takara, D., Hashimoto, A.G., Khanal, S.K. 2014. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **31**, 846-859.
- Tippayawong, N., Thanompongchart, P. 2010. Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packed column reactor. *Energy*, **35**(12), 4531-4535.
- Valenti, G., Arcidiacono, A., Nieto Ruiz, J.A. 2016. Assessment of membrane plants for biogas upgrading to biomethane at zero methane emission. *Biomass and Bioenergy*, **85**, 35-47.
- Vivo-Vilches, J.F., Perez-Cadenas, A.F., Maldonado-Hodar, F.J., Carrasco-Marvn, F., Faria, R.P.V., Ribeiro, A.M., Ferreira, A.F.P., Rodrigues, a.e. 2017. Biogas upgrading by selective adsorption onto CO₂ activated carbon from wood pellets. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. (In press)
- Wiheeb, A.D., Helwani, Z., Kim, J., Othman, M.R. 2016. Pressure Swing Adsorption Technologies for Carbon Dioxide Capture. *Separation & Purification Reviews*, **45**(2), 108-121.
- Wylock, C.E., Budzianowski, W.M., 2017. Performance evaluation of biogas upgrading by pressurized water scrubbing via modelling and simulation. *Chemical Engineering Science*. (In press)
- Xu, J., Zhao, Y., Zhao, G., Zhang, H. 2015a. Nutrient removal and biogas upgrading by integrating freshwater algae cultivation with piggery anaerobic digestate liquid treatment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **99**(15), 6493-6501.
- Xu, Y., Huang, Y., Wu, B., Zhang, X., Zhang, S. 2015b. Biogas upgrading technologies: Energetic analysis and environmental impact assessment. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, **23**(1), 247-254.
- Yan, S., He, Q., Zhao, S., Zhai, H., Cao, M., Ai, P. 2015. CO₂ removal from biogas by using green amino acid salts: Performance evaluation. *Fuel Processing Technology*, **129**, 203-212.
- Yang, L., Li, Y., 2014. Biogas cleaning and upgrading technologies. Agriculture and Natural Resources. AEX653.114. <http://ohioline.osu.edu/factsheet/AEX-653.1-14> (προσπελάστηκε στις 28/2/2017).
- Yousef, A.M.I., Eldrainy, Y.A., El-Maghlany, W.M., Attia, A. 2016. Upgrading biogas by a low-temperature CO₂ removal technique. *Alexandria Engineering Journal*, **55**(2), 1143-1150.
- Zhang, X., Yan, J., Li, H., Chekani, S., Liu, L. 2015. Investigation of thermal integration between biogas production and upgrading. *Energy Conversion and*

Management, **102**, 131-139.
Zhou, J., Zhang, R., Liu, F., Yong, X., Wu, X., Zheng, T., Jiang, M., Jia, H. 2016. Biogas production and microbial community shift through neutral pH control during the anaerobic digestion of pig manure. *Bioresource Technology*, **217**, 44-49.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

EBA, 2016 (a). European Biogas Association, 2016 (προσπελάστηκε στις 12/2/2017); <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2016/01/Graph-3-Evolution-biogas.png>
EBA, 2016 (b). European Biogas Association, 2016.

(προσπελάστηκε στις 12/2/2017); <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2016/01/Graph-2-Biomethane-plants.png>
European gas market, 2016. (προσπελάστηκε στις 12/2/2017); https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly_report_on_european_gas_markets_q2-q3_2016.pdf.
Eurostat, 2016. (προσπελάστηκε στις 12/2/2017); http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy
Biogas Partner, 2017. (προσπελάστηκε στις 12/2/2017); (<http://www.biogaspartner.de/en/project-map/list-of-projects-in-germany.html>)

Η αξιολόγηση και η χαρτογράφηση των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών ως εργαλείων λήψης αποφάσεων διαχείρισης δασών

Στυλιανός Γκατζογιάννης*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μπροστά σε δυο πρακτικά προβλήματα βρίσκεται σήμερα ο διαχειριστής ενός δάσους όταν έχει να σχεδιάσει μέτρα διαχείρισης που να ικανοποιούν ταυτόχρονα στόχους παραγωγής, αναφυχής και προστασίας. Το πρώτο έχει να κάνει με την απογραφή και την αξιολόγηση του δάσους, ενώ το δεύτερο με τον ανταγωνισμό που συχνά εμφανίζεται μεταξύ των διαφόρων δασικών λειτουργιών και χρήσεων. Στην αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών εστιάζει η παρούσα εργασία δίνοντας έμφαση σε δασικές λειτουργίες, όπως η υδρολογική, η συμπεριφορά του δάσους απέναντι σε απειλές διάβρωσης και πυρκαγιάς, η ικανότητα διατήρησης άγριας ζωής και η αισθητική του τοπίου. Μεταξύ των σημαντικών αποτελεσμάτων που ανακοινώνονται στην εργασία αυτή συμπεριλαμβάνονται: α) Κλειδές αξιολόγησης ως βοηθητικά πρότυπα ανάλυσης των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών, β) Μια ολοκληρωμένη διαδικασία απογραφής, αξιολόγησης και χαρτογράφησης του δυναμικού των διαφόρων δασικών λειτουργιών και γ) Τα βήματα εφαρμογής και ενσωμάτωσης των αποτελεσμάτων αυτών στη διαδικασία σύνταξης ενός διαχειριστικού σχεδίου.

Λέξεις κλειδιά: Απογραφή, δασική αναφυχή, διήθηση, διάβρωση, άγρια ζωή, κίνδυνος πυρκαγιάς, πολλαπλή χρήση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Μεταξύ των σημαντικότερων δασικών λειτουργιών που αποτελούν σήμερα αντικείμενο διαχείρισης συμπεριλαμβάνονται η παραγωγική ξύλου, η διήθηση, η αντιδιαβρωτική προστασία, η διατήρηση της άγριας ζωής και της βιοποικιλότητας, η αντίσταση του δάσους απέναντι στον κίνδυνο πυρκαγιάς και η αισθητική του δασικού τοπίου.

Η ανάλυση της παραγωγής ξύλου υλοποιείται κατά κανόνα με τη βοήθεια σειράς εργαλείων, όπως είναι τα αυξητικά και δασοαποδοτικά πρότυπα (πίνακες παραγωγής κ.ά.), τα οποία παρατηρούνται σήμερα ως κλασικά και συνήθη μέσα. Αντίθετα, για την ανάλυση των άλλων λειτουργιών, φερόμενων συχνά ως «εκτός ξύλου δασικές λειτουργίες - non timber forest functions» σε διεθνές επίπεδο, η μέχρι τώρα τεχνογνωσία υποδεικνύει κυρίως ποιοτικές και κατά ένα μέρος μόνο ποσοτικές προσεγγίσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει σοβαρή δυσκολία ενσωμάτωσης των λειτουργιών αυτών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων διαχείρισης των δασών. Η διαπίστωση αυτή δεν αποκλείει, βέβαια, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση παρεμβάσεων σε δασικά οικοσυστήματα, αυτό αποτελεί μια πραγματικότητα, η

οποία όμως επιβάλλει, ταυτόχρονα, και την ανάγκη εφαρμογής της ποσοτικής προσέγγισης των λειτουργιών αυτών για να μπορούν να ληφθούν ορθολογικές αποφάσεις.

Οι πρώτες σκέψεις για τη χρησιμοποίηση ποσοτικών μεθόδων στη δασοπονία έγιναν στο πλαίσιο οριοθέτησης δασικών εκτάσεων για προστασία και δασική αναφυχή (Zundel 1976, Henne 1976, Kiemstedt 1967). Οι δυσκολίες ενσωμάτωσης ποιοτικών κριτηρίων έφεραν πιο κοντά στη διαχείριση των δασών τις μεθόδους της επιχειρησιακής έρευνας, όπως η ανάλυση κόστους – οφέλους, η ανάλυση της αξίας ωφέλειας, η θεωρία των συστημάτων και η θεωρία σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων (Zangemeister 1971). Επίσης, η στατιστική ανάλυση καθώς και νέες τεχνικές ανάλυσης χώρου και οικονομικής αξιολόγησης υπηρεσιών/ λειτουργιών (ecosystem services) των φυσικών οικοσυστημάτων, που αναπτύχθηκαν κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έδωσαν σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη νέων μεθόδων απογραφής και ανάλυσης των φυσικών πόρων και του περιβάλλοντος γενικότερα (Avers and Schatterer 1991, Bateman et al 2010, Backhaus et al 2000, Kline and Mazzotta 2012).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, δυο παράλ-

* Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, ΕΘΙΑΓΕ, E-mail: sgatzog@gmail.com

ληλες έρευνες (Wullschleger 1982 και Gatzojannis 1984) έθεσαν τις πρώτες βάσεις για τη συστηματική προώθηση της ενσωμάτωσης των εκτός ξύλου δασικών λειτουργιών στη διαχείριση των δασών. Η πρώτη έρευνα ανάπτυξε κλίμακες και κλείδες αξιολόγησης προστατευτικών λειτουργιών, όπως η διήθηση του νερού στο έδαφος, και επεξεργάστηκε πρακτικούς τρόπους απογραφής και χαρτογράφησης της λειτουργίας αυτής με τη βοήθεια ποσοτικών μεθόδων. Η δεύτερη έρευνα (Gatzojannis 1984), που είχε ως κεντρικό στόχο την επεξεργασία συστήματος σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων διαχείρισης για δάση με πολλαπλούς στόχους, προσάρμοσε τη θεωρία της ανάλυσης της αξίας ωφέλειας (Nutzwertanalyse) στις ιδιαιτερότητες της δασοπονίας και την προετοίμασε κατάλληλα, ως εργαλείο αλλά και ως μέθοδο, για την εφαρμογή της στη διαχείριση των δασών. Ιδιαίτερη σημασία για την αξιολόγηση των εκτός ξύλου δασικών λειτουργιών, στις οποίες και επικεντρώνεται η παρούσα εργασία, έχουν οι ακόλουθες καινοτομίες της τελευταίας εργασίας: Τα συστήματα στόχων (Gatzojannis 1984, σελ. 112, 120, 127, 133), ως εργαλείων σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων, και η ποσοτική ανάλυση κριτηρίων (Gatzojannis 1984, σελ. 58, 95, 116). Σε δυο ακόμα εργασίες (Γκατζογιάννης 1987 και 1988) επεκτείνονται τα βήματα που έγιναν στην ως άνω εργασία προς την κατεύθυνση πρακτικής πλέον εφαρμογής συστημάτων διαχείρισης σε δάση αναψυχής και σε δάση πολλαπλών χρήσεων.

Με αφητηρία τις παραπάνω εργασίες σχεδιάστηκε και εν συνεχεία υλοποιήθηκε από το Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Οικονομικής του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης, σε συνεργασία με το Εργαστήριο Βιομετρίας του Πανεπιστημίου του Freiburg, πρόγραμμα έρευνας με στόχο τη διαμόρφωση ενός ενιαίου συστήματος απογραφής δασών σε ευρωπαϊκό επίπεδο (Pelz et al 2000, Gatzojannis 1997). Στο πλαίσιο του προγράμματος αυτού, η ερευνητική ομάδα του ΙΔΕ επεξεργάστηκε μεθοδολογία απογραφής για προστατευτικές λειτουργίες του δάσους, όπως είναι η διήθηση και η αντίσταση του δάσους έναντι απειλών διάβρωσης και πυρκαγιάς, και ανακοίνωσε σχετικά αποτελέσματα στις εργασίες: Gatzojannis 1997, Gatzojannis et al 1997, Gatzojannis et al 2001, Kalabokidis et al 2002. Στις δυο πρώτες δημοσιοποιείται μια νέα μέθοδος απογραφής και αξιολόγησης των εκτός ξύλου δασικών λειτουργιών και τυποποιείται η διαδικασία εφαρμογής της με τη βοήθεια των Γεωγραφικών

Συστημάτων πληροφοριών. Στις επόμενες δυο εξειδικεύεται και προσαρμόζεται η μέθοδος στην περίπτωση του δυναμικού διήθησης και τις δασικές πυρκαγιές. Η ίδια μέθοδος δοκιμάζεται επίσης στο περιαιστικό δάσος Θεσσαλονίκης, όπου και εξετάζονται προβλήματα εφαρμογής (Gatzojannis et al 2001) και αναπτύσσεται ταυτόχρονα και μια νέα μεθοδολογία πολυμεταβλητών στατιστικών αναλύσεων (Galatsidas 2001), ως εργαλείου αξιολόγησης των λειτουργιών της διήθησης και της διάβρωσης των εδαφών.

Στην παρούσα εργασία επεκτείνεται η μεθοδολογία απογραφής και τυποποιείται έτσι ώστε να καλύψει το σύνολο των δασικών λειτουργιών που έχουν σήμερα ιδιαίτερη σημασία για την ελληνική δασοπονία. Εξετάζεται επίσης η δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής στο πλαίσιο εκπόνησης διαχειριστικών μελετών και δοκιμάζεται πιλοτικά η εφαρμογή της στο δημόσιο δάσος Παλαιοκάστρου Χαλκιδικής, όπου και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή μεθόδων δασικής απογραφής και ανάλυσης, κοινών για το σύνολο των δασικών λειτουργιών (παραγωγικών και μη).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Η περιοχή έρευνας

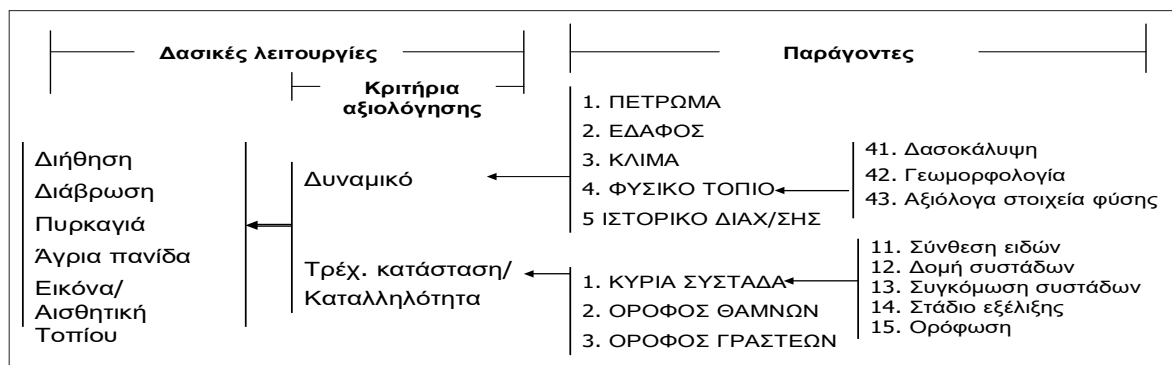
Η πιλοτική εφαρμογή της μεθόδου έγινε στο δάσος Παλαιοκάστρου Χαλκιδικής στα πλαίσια εκπόνησης του σχεδίου διαχείρισης από το Δασαρχείο Πολυγύρου για την περίοδο 2008 -2017 (Παπαδόπουλος και Γκατζογιάννης 2011). Το δάσος Παλαιοκάστρου είναι δημόσιο, υπάγεται στο Δασαρχείο Πολυγύρου, έχει συνολική έκταση 3.036,7 ha και συγκροτείται κυρίως από παραγωγικά δάση δρυός (πρεμνοφυή και υπ' αναγωγή) και οξιάς, καθώς και από θαμνώνες αιφυλλών πλατυφύλλων και μερικώς δασοσκεπείς εκτάσεις. Ως κυρίαρχες μορφές χρήσης καταγράφονται στο δάσος αυτό η παραγωγή ξύλου, η βόσκηση και η γεωργία. Σε όλη σχεδόν την έκταση του δάσους παρατηρούνται επίσης δραστηριότητες θήρας, ενώ οι υδατικοί πόροι, ο ορεινός τουρισμός και η δασική αναψυχή αποκτούν όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον κατά τα τελευταία χρόνια στην περιοχή.

2.2 Το θεωρητικό υπόβαθρο

Το σύστημα παραγόντων ως υποδομή αξιολόγησης: Απομονώνοντας τους παράγοντες που κατά τεκμήριο θεωρούνται ως σημαντικοί, ότι δηλ. επι-

ρεάζουν το δασικό οικοσύστημα και προσδιορίζουν το δυναμικό των διαφόρων δασικών λειτουργιών, καταλήγει κανείς σε δυο ομάδες παραγόντων, τους εξωτερικούς και τους εσωτερικούς παράγοντες (Σχήμα 1). Οι εξωτερικοί παράγοντες (Πέτρωμα, Έδαφος, Κλίμα, Φυσικό τοπίο και Ιστορικό διαχείρισης) διαμορφώνουν το περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσεται μια δασοσυστάδα ή ένας δασικός σχηματισμός, ενώ οι εσωτερικοί αναφέρονται στην εσωτερική συγκρότηση και ιδιαίτερα στην συγκρότηση των ορόφων (κύρια συστάδα, όροφος θάμνων και όροφος πούν/γρράστεων) ενός δασικού σχηματισμού. Οι πρώτοι επηρεάζουν και διαμορφώνουν το δυναμικό των διαφόρων λειτουργιών, ενώ οι δεύτεροι χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την τρέχουσα κατάσταση των δασικών σχηματισμών.

λυψη/ προσφορά καταφυγίου των πληθυσμών άγριων πανίδας) και τέλος η καταλληλότητα για αναψυχή, από άποψη προσφοράς υπηρεσιών αισθητικής και φυσικών εμπειριών. Οι έννοιες του «δυναμικού και της καταλληλότητας» ταυτίζονται με τις έννοιες «potential & suitability» και χρησιμοποιούνται συχνά με διαφορετικό περιεχόμενο, ανάλογα κυρίως με το σκοπό τον οποίο εξυπηρετούν. Ειδικά όσον αφορά στον όρο της καταλληλότητας/ suitability, ο οποίος χρησιμοποιείται στη διεθνή βιβλιογραφία και για τη διαβάθμιση των δασών από άποψη καταλληλότητας ή μη των δασών και σε ποιο βαθμό πχ. για την παραγωγή και συγκομιδή ξύλου (Brown & Wetzstein 2011) ή και την προσφορά υπηρεσιών αναψυχής κλπ, χρησιμοποιείται και εδώ με ανάλογο μεν περιεχόμενο πλην όμως εξειδικεύεται στο επί-



Σχήμα 1. Σύστημα παραγόντων ως πρότυπο αξιολόγησης των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών
Figure 1. System of external and internal factors for the evaluation of non-timber forest functions

Δύο βασικές έννοιες και ταυτόχρονα και διαστάσεις των δασικών λειτουργιών ανήκουν στο σύστημα αυτό και οφείλουν να ερμηνεύσουν το «περιεχόμενο» κάθε δασικής λειτουργίας. Το δυναμικό κάθε λειτουργίας και ειδικότερα το δυναμικό διήθησης, ως η διαρκής ικανότητα του δάσους να διηθεί το νερό της βροχής και να δημιουργεί υπόγεια αποθέματα, το δυναμικό κινδύνου διάβρωσης και πυρκαγιάς, το δυναμικό διατήρησης της άγριας ζωής (και της βιοποικιλότητας) και το δυναμικό αισθητικής και φυσικών εμπειριών του τοπίου. Η τρέχουσα κατάσταση της εσωτερικής συγκρότησης ενός δασικού σχηματισμού, ως τρέχουσα καταλληλότητα ή τρέχουσα ικανότητα συμβολής του στη διαμόρφωση των διαφόρων λειτουργιών, όπως: η συνδρομή στη διήθηση, η ικανότητα αντίστασης στη διάβρωση του εδάφους και τον κίνδυνο πυρκαγιάς, η καταλληλότητα για ικανοποίηση αναγκών της άγριας πανίδας (ειδικά σ' ότι αφορά στις τροφικές πηγές και την κά-

πεδο των δασοσυστάδων προκειμένου να εκφράσει το βαθμό της τρέχουσας συνδρομής αυτών στην εξυπηρέτηση στόχων που συνδέονται με τις εκτός ξυλοπαραγωγής δασικές λειτουργίες, γι' αυτό χαρακτηρίζεται και ως τρέχουσα καταλληλότητα των συστάδων.

Διαδικασία αξιολόγησης: Η ιεραρχική δομή (Σχήμα 1) του συστήματος παραγόντων υποδεικνύει και τη διαδικασία αξιολόγησης, ότι δηλαδή το δυναμικό και η καταλληλότητα των δασικών λειτουργιών μπορούν να προκύψουν ως αποτέλεσμα σύνθεσης/ συνδρομής των κατώτερων κριτηρίων στη διαμόρφωση των ανώτερων κριτηρίων ενός συστήματος. Όπως σε κάθε σύστημα στόχων έτσι και εδώ μπορούν να διακριθούν δυο διατάσεις κάθε κριτηρίου: η ποιότητα (qi) και η σχετική βαρύτητα (gi) που έχει ένα κριτήριο ως προς μια δεδομένη λειτουργία (Gatzojannis 1984, σελ. 91). Η σύνθεση (γινόμενο) των δυο αυτών διαστάσεων (qi*gi) δίνει

και το μέτρο της ωφέλειας (N) που προκύπτει για μια δεδομένη δασική λειτουργία. Για καθένα από τα κριτήρια αυτά χρησιμοποιούνται ίδιες κλίμακες μέτρησης. Για την ποιοτική αξιολόγηση (qi) των κριτηρίων θεωρήθηκε ως πλέον αποτελεσματική η χρησιμοποίηση μιας τετραβάθμιας κλίμακας διαστημάτων (q:1,2,3,4), ενώ για την ποσοτική αξιολόγηση, δηλαδή την εκτίμηση της σχετικής βαρύτητας (gi), θεωρήθηκε ως πλέον κατάλληλη η κλίμακα των σχετικών αριθμών (%). Η βαθμονόμηση και ένταξη των παραγόντων στις κλίμακες αυτές βασίστηκε, στην προκειμένη περίπτωση του δάσους Παλαιοκάστρου, σε βιβλιογραφική έρευνα και σε έρευνα γνώμης μεταξύ εμπειρογνομόνων. Στο πλαίσιο της ίδιας έρευνας γνώμης έγινε η εκτίμηση αφενός μεν της σχετικής βαρύτητας (gi %) που έχουν οι παράγοντες στη διαμόρφωση των διαφόρων δασικών λειτουργιών και αφετέρου της ποιοτικής συγκρότησής τους (qi). Για τις σχετικές βαρύτητες εφαρμόστηκε η «μέθοδος της σύγκρισης των κριτηρίων κατά ζεύγη (Koelle 1975), ενώ, η ποιότητα των κριτηρίων με απευθείας εκτίμηση πάνω στην κλίμακα διαστημάτων (qi: 1, 2, 3, 4) (Zangemeister 1971, s. 163, Γκατζογιάννης 1987). Στην εκτίμηση της σχετικής βαρύτητας δεν υπήρξαν ιδιαίτερα σημαντικές «διαφωνίες» μεταξύ των εμπειρογνομόνων, γι' αυτό και τα τελικά ποσοστά (%) που δίνονται στη συνέχεια είναι αποτέλεσμα συγκερασμού απόψεων, χωρίς να αποτιμάται στατιστικά το τελικό αποτέλεσμα, λαμβάνοντας υπόψη και τον περιορισμένο αριθμό (5) των εμπειρογνομόνων που συμμετείχαν στην έρευνα. Στην αποτίμηση της ποιότητας των κριτηρίων οι διαφορές αποτίμησης μεταξύ των εμπειρογνομόνων έδωσαν, εκεί

όπου αποτυπώθηκαν, και το εύρος διακύμανσης της βαθμολογίας.

Η συνάρτηση αξιολόγησης: Για την εκτίμηση των βασικών συνιστωσών μιας δασικής λειτουργίας (δυναμικό και καταλληλότητα) γίνεται κατά βάση αποδεκτή μια συνάρτηση της μορφής:

$$(I) : y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n$$

όπου: y = Το δυναμικό (αξία) μιας δασικής λειτουργίας ή η καταλληλότητα, X_1, X_2, \dots, X_n = η ποιοτική συγκρότηση των κριτηρίων (qi) που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της λειτουργίας και $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$: οι συντελεστές της εξίσωσης, οι οποίοι εκφράζουν τη σχετική βαρύτητα (gi) των κριτηρίων. Η συνάρτηση αυτή καλούμενη και συνάρτηση της αναμενόμενης «αξίας ωφέλειας» αποτελεί το βασικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στην επιχειρησιακή έρευνα για την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων, σύμφωνα με τη μέθοδο της «ανάλυσης αξίας ωφέλειας (Nutzwertanalyse)» (Zangemeister 1971, Gatzojannis 1984, Γκατζογιάννης 1987) και έχει τη ακόλουθη θεωρητική και πρακτική σημασία. Το συνολικό αποτέλεσμα σύνθεσης ($N = \sum qi \cdot gi$) κυμαίνεται, σε κάθε περίπτωση, από 0 έως 400 μονάδες, δεδομένου του εύρους των ανεξάρτητων μεταβλητών $gi(\%)$ (από 1 έως 100) και qi (από 1 έως 4). Το σύνολο των μονάδων (N) που εκάστοτε επιτυγχάνεται για μια λειτουργία, μπορεί να ταξινομηθεί εκ νέου σε βαθμίδες, ανάλογα με την επιδιωκόμενη ακρίβεια και λεπτομέρεια ανάλυσης που απαιτεί η διαχείριση ενός δάσους. Γενικά προτείνεται η χρησιμοποίηση 3 ή 6 βαθμίδων εύρους 50 ή 100 μονάδων αντίστοιχα, με τη σημασία που περιγράφεται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακες I και II).

Πίνακας I. Κλίμακες ταξινόμησης των εξωτερικών παραγόντων σε τρεις ή έξι βαθμίδες δυναμικού των δασικών λειτουργιών

Table I. Classification of the forest function into three or six function/ potential classes

Βαθμίδες (εύρους 50 μονάδων)	N=Σgi*qi	Ερμηνεία *	Βαθμίδες (εύρους 100 μονάδων)	Ερμηνεία *
A1	351 – 400	Πολύ υψηλό δυναμικό	A (>300)	Υψηλό δυναμικό
A2	301 – 350	Υψηλό δυναμικό		
B1	251 – 300	Μέτριο δυναμικό	B (201 - 300)	Μέτριο δυναμικό
B2	201 – 250	Μέτριο δυναμικό		
Γ1	151 – 200	Χαμηλό δυναμικό	Γ (<201)	Χαμηλό δυναμικό
Γ2	< 151	Πολύ χαμηλό δυναμικό		

* Το δυναμικό για τις λειτουργίες διάβρωσης και πυρκαγιάς μεταφράζεται σε "βαθμό κινδύνου διάβρωσης ή πυρκαγιάς" αντίστοιχα

Πίνακας II. Βαθμίδες καταλληλότητας για συνολική κατηγοριοποίηση της τρέχουσας κατάστασης των συστάδων ως προς τις διάφορες δασικές λειτουργίες

Table II. Classification of the forest function into three or six suitability classes

Βαθμίδα	N=Σgi*qi	Βαθμός καταλληλότητας Ερμηνεία *	Βαθμίδα	Τρέχουσα κατάσταση	Δυνατότητες (περιθώρια) βελτίωσης
A1	351-400	Πολύ υψηλός βαθμός	A(>300)	Καλή	Ελάχιστα έως καθόλου
A2	301-350	Υψηλός βαθμός			
B1	251-300	Μέτριος βαθμός	B(201-300)	Μέτρια	Ενδιάμεση κατάσταση
B2	201-250	Μέτριος βαθμός			
Γ1	151-200	Χαμηλός βαθμός	Γ(<201)	Κακή	Πολλά περιθώρια
Γ2	101-150	Πολύ χαμηλός βαθμός			

* Ο βαθμός καταλληλότητας για τις λειτουργίες της διάβρωσης και της πυρκαγιάς μεταφράζεται σε «βαθμό αντίστασης» απέναντι στις απειλές αυτές

2.3 Διαδικασία αξιολόγησης και χαρτογράφησης

Η μεθοδολογία εφαρμογής της αξιολόγησης και της χαρτογράφησης των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών προβλέπει α) την εκπόνηση βοηθητικών προτύπων, τα οποία υπό μορφή «κλειδών αξιολόγησης» ερμηνεύουν τη σημασία και το ρόλο που έχουν οι παράγοντες ενός δασικού οικοσυστήματος στη διαμόρφωση των διαφόρων δασικών λειτουργιών, β) την υλοποίηση μιας σειράς βημάτων, όπως προβλέπονται και στον συνήθη σχεδιασμό και εστιάζουν: στη συλλογή στοιχείων ως προς την οριζόντια και κατακόρυφη διάθρωση του δάσους, στην ταξινόμηση των στοιχείων σε επίπεδα ομοιογενών πληροφοριών, στην αξιολόγηση της ποιοτικής συγκρότησης των παραγόντων του οικοσυστήματος και

στην εκτίμηση του δυναμικού και της καταλληλότητας των δασικών λειτουργιών και γ) την ανάπτυξη συστήματος βάσεων δεδομένων ως εργαλείων τόσο της ως άνω αξιολόγησης όσο και της στατιστικής απεικόνισης και χαρτογράφησης των δασικών λειτουργιών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βοηθητικά πρότυπα (κλειδές αξιολόγησης): Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης και της έρευνας γνώμης για τη σχετική βαρύτητα (gi) και την ποιότητα (qi) των κριτηρίων καταχωρήθηκε σε ειδικούς πίνακες υπό μορφή «κλειδών αξιολόγησης» των παραγόντων που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των διαφόρων δασικών λειτουργιών ως ακολούθως.

Στους πίνακες III και IV καταχωρούνται οι σχετικές

Πίνακας III. Σημαντικότητα και σχετική βαρύτητα που έχουν οι εξωτερικοί παράγοντες στη διαμόρφωση του δυναμικού των διαφόρων δασικών λειτουργιών

Table III. Significance and relative weight of the external factors

Δασικές λειτουργίες -> Παράγοντες	ΔΙΗΘΗΣΗ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ)	Σχετική βαρύτητα Κριτηρίων (gi)	ΔΙΑΒΡΟΣΗ (ΚΙΝΔΥΝΟΣ)	Σχετική βαρύτητα κριτηρίων (gi)	ΠΥΡΚΑΓΙΑ (ΚΙΝΔΥΝΟΣ)	Σχετική βαρύτητα Κριτηρίων (gi)	ΑΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ)	Σχετική βαρύτητα κριτηρίων (gi)	ΑΝΑΨΥΧΗ (ET+ΦΕ) ^{*)} (ΔΥΝΑΜΙΚΟ)	Σχετική βαρύτητα κριτηρίων (gi)
	[1]: ΠΕΤΡΩΜΑ	■	20	■	5					
[2]: ΕΔΑΦΟΣ	■	24	■	20						
[3]: ΚΛΙΜΑ										
[31] Βροχοπτώσεις	■	24	■	30	■	15	■	10	■	5
[32] Θερμοκρασίες					■	15		5	■	
[33] Άνεμος					■	10	■			
[4]: ΦΥΣΙΚΟ ΤΟΠΙΟ										
[41] Δασοκάλυψη	■	20	■	20	■	30	■	55	■	35
[42] Τοπογραφική διαμόρφωση	■	4	■	10	■	7	■	5	■	25
[43] Αξιόλογα στοιχεία φύσης										10
[5]: ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ										
[51] Σύστημα διαχείρισης	■	8	■	15	■	8	■	20	■	20
[52] Ιστορικό δασ. πυρκαγιών					■	15	■	5	■	
[53] Πολιτιστική κληρονομιά										5
		100		100		100		100		100

■ Οι παράγοντες που θεωρούνται σημαντικοί για την αντίστοιχη λειτουργία

*) ET: Αισθητική Τοπίου, ΦΕ: Φυσικές Εμπειρίες

βαρύτητες αντιστοίχως των εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων. Με το σύμβολο (■) επισημαίνονται οι παράγοντες που θεωρούνται ως σημαντικοί, ότι δηλαδή παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση των διαφόρων λειτουργιών και δίπλα δίνεται η σχετική βαρύτητα (g%) που αποδίδεται σε καθέναν από αυτούς (χωριστά για κάθε λειτουργία). Οι πίνακες V και VI (αποσπάσματα, ενώ η

πλήρης ανάπτυξη τους δίνεται στα παραρτήματα I και II) περιλαμβάνουν την αναγκαία διαβάθμιση παραγόντων, ως βάση ταξινόμησης των εκτάσεων ενός δάσους σε κατηγορίες (α,β,γ,δ, ή A₁, A₂,..., βλέπε κατηγορίες στην πρώτη στήλη των πινάκων), καθώς και για την ποιοτική διαβάθμιση και ένταξη των κατηγοριών αυτών σε κλίμακες διαστημάτων (Βαθμίδες q: 1 έως 4).

Πίνακας IV. Σημαντικότητα και σχετική βαρύτητα ή και προτεραιότητα που έχουν οι εσωτερικοί παράγοντες στη διαμόρφωση της τρέχουσας κατάστασης (καταλληλότητας) των διαφόρων δασικών λειτουργιών

Table IV. Significance and relative weight or priority of the internal factors

Δασική Λειτουργία -> Κριτήρια/ Χαρακτηριστικά (μεταβλητές)	Συνδρομή στη ΔΙΗΘΗΣΗ		Αντίσταση στη ΔΙΑΒΡΩΣΗ		Αντίσταση στη ΦΩΤΙΑ (ΠΥΡΚΑΓΙΑ)		Διασθήκη τοπίου (ΔΤ) & Φυσικές εμπειρίες (ΦΕ) (ΔΑΣΙΚΗ ΑΝΑΨΥΧΗ)		ΖΑΡΚΑΔΙΟΥ		Τροφ. πηγές ΑΓΡΙΟΧΟΙΦΟΥ		Τροφικές πηγές ΛΑΤΟΥ		Συνθήκες καταστροφών (ΠΑΝΙΔΑΣ *)	
	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%	gi%
[1] ΚΥΡΙΑ ΣΥΣΤΑΔΑ	55		50		50		55		30		55		20		60	
[11]. Κατηγορία/Σύνθεση ειδών	■ 20	■ 15	■ 15	■ 20	■ 15	■ 15	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 45	■ 10	■ 10	■ 10	■ 20	■ 10
[13]. Συγκόμωση συστάδων	■ 15	■ 15	■ 15	■ 15	■ 15	■ 15	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 10	■ 10
[14]. Στάδιο εξέλιξης	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 10	■ 10	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 5	■ 15	■ 15
[15]. Κάθετη δομή συστάδων	■ 15	■ 15	■ 15	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 15	■ 15
[2]. ΟΡΟΦΟΣ ΘΑΜΝΩΝ	30		20		30		25		30		20		20		40	
[21]. Τύπος/ σύνθεση ειδών	■ 15	■ 10	■ 10	■ 15	■ 15	■ 15	■ 20	■ 20	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 20	■ 20
[22]. Πυκνότητα / Κάλυψη (%)	■ 15	■ 10	■ 10	■ 15	■ 15	■ 15	■ 5	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 10	■ 20	■ 20
[3]. ΟΡΟΦΟΣ ΓΡΑΣΤΕΩΝ	15		30		20		20		40		25		60		0	
[31]. Χλωροτάπητας (ΧΤ) (Κ%)	■ 15	■ 30	■ 30	■ 20	■ 20	■ 20	■ 20	■ 40	■ 40	■ 25	■ 25	■ 60	■ 60	■ 60	■ 0	■ 0
[33]. Χλωροτάπητας (ΧΤ) & Ξηροτάπητας (ΞΤ) (Κ %)	■ 15	■ 30	■ 30	■ 20	■ 20	■ 20	■ 20	■ 40	■ 40	■ 25	■ 25	■ 60	■ 60	■ 60	■ 0	■ 0
Συνολική βαρύτητα Σgi (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(*) Αναφέρεται στα τρία είδη πανίδας Ζαρκάδι, αγριόχοιρο και λαγό

■ Επισημαίνει σημαντικότητα παραγόντων

Πίνακας V. Κλειδές αξιολόγησης της επίδρασης των εξωτερικών παραγόντων στη διαμόρφωση του δυναμικού των διαφόρων δασικών λειτουργιών στις ζώνες των δασών Δρυός και Οξιάς Παλαιοκάπτρου Χαλκιδικής (απόσπασμα από το παράρτημα I)

Table V. Codification and evaluation keys of the External factors regarding various forest functions (for oak and beech forests) (see annex I)

Παράγοντες	Δασικές λειτουργίες ->				ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΗΘΗΣΗΣ	βαθμός	ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ				βαθμός
	[1]: ΠΕΤΡΩΜΑ						Βαθμίδες q				
[11] Γεωλογικοί σχηματισμοί	4	3	2	1							
α. Ασβεστόλιθος	(+)				4					(+)	1
β. Φλύσχης			(+)		2				(+)		2
γ. Σχιστόλιθος				(+)	1			(+)			3
δ. Κρυσταλλοπυριγενή πετρώματα			(+)		2				(+)		3
ε. Νεογενείς			(+)		3				(+)		2
ζ. Αλλοιβακικές αποθέσεις	(+)				2	(+)					4
[2]: ΕΔΑΦΟΣ											
[21]. Εδαφικός τύπος	4	3	2	1		4	3	2	1		
α. Ελαφριά/ αμμώδη εδάφη					4					(+)	1
β. Μετρίως ελαφριά			(+)		3				(+)		2
γ. Μετρίως βαριά				(+)	2				(+)		3
δ. Βαριά/ αργιλλώδη εδάφη					1	(+)					4
[22]. Βάθος εδάφους	4	3	2	1		4	3	2	1		
α. Πολύ βαθιά εδάφη (> 60cm)					4						1
β. Βαθιά εδάφη (30 - 60 cm)					3						2
γ. Αβαθή εδάφη (10 -30 cm)					2						3
δ. Πολύ αβαθή εδάφη (< 10cm)					1						4

■: Ενδεχόμενη/ πιθανή περιοχή βαθμολογίας

(+): Εξειδίκευση/ επιλογή και προσδιορισμός βαθμολογίας για το συγκεκριμένο δάσος

Πίνακας VI. Αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης (καταλληλότητας) των δασικών σχηματισμών ως προς τις εκτός ξυλοπααραγωγής δασικές λειτουργίες (απόσπασμα)

Table VI. Codification and evaluation keys of the Internal factors regarding various forest functions (for oak and beech forests)

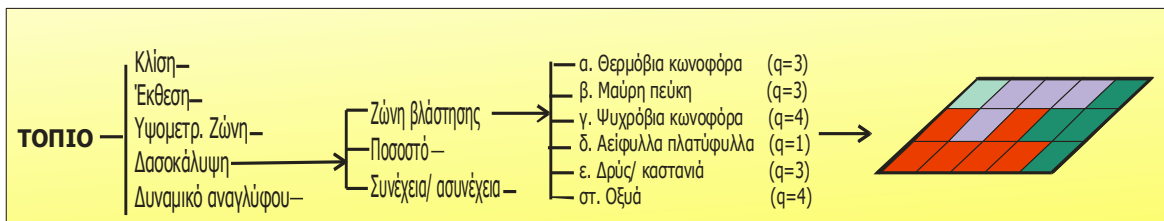
Δασική Λειτουργία -> Κριτήρια Χαρακτηριστικά συστάδων	ΣΥΝΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ				ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ				ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ (ΠΥΡΚΑΓΙΑ)				ΔΑΣΙΚΗ ΑΝΑΨΥΧΗ (ΕΤ & ΦΕ)				ΤΡΟΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ (ΖΑΡΚΑΔΙ)				
	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	
[11]. Κατηγορία συστάδων/Σύνθεση δασοπονικών ειδών																					
A. Αμιγείς συστάδες κωνοφόρων																					
A1. Μεσογ/κά θερμόβια (PBR,ΡΗΑ,..)			(+)	2			(+)	2				(+)	1			(+)	3			(+)	3
A2. Ορεινά μεσογειακά (PNI,PSY,..)			(+)	3			(+)	3			(+)	3			(+)	2				(+)	1
B. Αμιγείς συστάδες πλατυφύλλων																					
B1. Μεσογειακά αείφυλλα				(+)	1				(+)	1				(+)	2				(+)	2	
B2. Δρυς, καστανιά, οξυά, Β3. Μεσογ αείφυλλα + δρυς, .			(+)	4			(+)	3			(+)	4			(+)	2			(+)	3	
B3. Μεσογ αείφυλλα + δρυς, .			(+)	3			(+)	3			(+)	3			(+)	3			(+)	4	
Γ. Μικτές συστάδες κων/ρων + πλατ/λων																					
Γ1. Μεσογ. Κωνοφόρα + αείφυλλα			(+)	2			(+)	2			(+)	2			(+)	3			(+)	3	
Γ2. Ορεινά μεσογ/κά (A2 + B2)			(+)	4			(+)	4			(+)	3			(+)	4			(+)	3	
[12]. Τύπος δομής συστάδων																					
A. Ομήλικες ομοιογενείς συστάδες																					
B. Ανομήλικες/ ακανόνιστες συστάδες																					
[13]. Συγκόμωση συστάδων																					
A. Κλειστή – σύμπτυκη (>0,8)			(+)	3			(+)	4			(+)	2			(+)	3			(+)	1	
B. Χαλαρή (0,7-0,8)			(+)	4			(+)	3			(+)	1			(+)	4			(+)	2	
Γ. Φωτεινή (0,5-0,6)			(+)	2			(+)	2			(+)	3			(+)	2			(+)	4	
Δ. Αραιά (<0,5)			(+)	1			(+)	1			(+)	4			(+)	1			(+)	3	

Η διαβάθμιση αυτή αποτελεί ένα είδος γενικής οδηγίας για την αξιολόγηση, η οποία δεν είναι πάντοτε μονοσήμαντη, αλλά μπορεί να κυμαίνεται από περίπτωση σε περίπτωση (βλέπε ενδεχόμενη/πιθανή περιοχή βαθμολογίας στις υποσημειώσεις του πίνακα V), πλην όμως πρέπει να εξειδικεύεται κάθε φορά στο επίπεδο κάθε δάσους ή και ευρύτερης ακόμα περιοχής. Το σύμβολο (+) αναφέρεται στην εξειδίκευση της βαθμολογίας για τη ζώνη των δασών δρυός - οξιάς και βέβαια και για το δάσος Παλαιοκάστρου.

Διαδικασία απογραφής και αξιολόγησης. Βήμα 1ο: Συλλογή στοιχείων. Δυο βασικές διαστάσεις χαρακτηρίζουν κάθε μεταβλητή, η οριζόντια και η κατακόρυφη διάρθρωση. Η πρώτη αναλύθηκε με τη βοήθεια χωρικών δεδομένων και υλοποιήθηκε με τη βοήθεια χαρτογραφικών τεχνικών και τη χρήση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Η κατακόρυφη διάρθρωση, που αφορά κυρίως τους εσωτερικούς παράγοντες, απογράφηκε με τη βοήθεια των κλασικών δοκιμαστικών επιφανειών, οι οποίες, όμως, πέραν των ξυλομετρικών στοιχείων πρέπει να δίνουν πληροφορίες και για το σύνολο των ορόφων μιας συστάδας (βλέπε σχετικό Υπόδειγμα στην εργασία Γκατζογιάννης

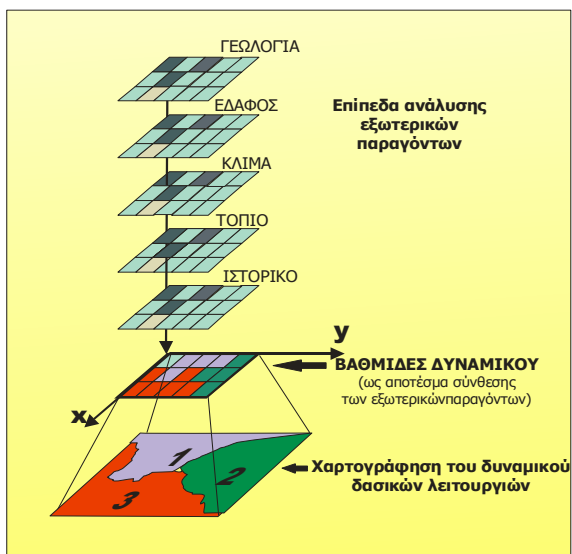
2009). Όσον αφορά τους εξωτερικούς παράγοντες, το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών τους ήταν ήδη διαθέσιμο στα υφιστάμενα διαχειριστικά σχέδια, τόσο χαρτογραφικά (γεωλογία, βλάστηση κλπ.) όσο και στα ΦΕΠ (Φύλλα Ειδικής Περιγραφής) των συστάδων των δασοπονικών μελετών. **Βήμα 2ο: Ταξινόμηση πληροφοριών.** Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν ταξινομήθηκαν σε επίπεδα πληροφοριών. Κάθε επίπεδο, ομοιογενών κατά βάση πληροφοριών, περιγράφεται από μια σειρά μεταβλητών, οι οποίες αφού καταγραφούν εντάσσονται σε εξειδικευμένες επιμέρους κατηγορίες (α,β,γ,...) με τη βοήθεια των κλειδιών αξιολόγησης (Πίνακες V, VI και Σχήμα 2).

Βήμα 3ο: Αξιολόγηση. Ανάλογα με την ένταξη κάθε μονάδας ανάλυσης χώρου στις κατηγορίες α,β,γ,δ ... κλπ., οι κλειδές έδωσαν στη συνέχεια την ποιοτική διάσταση, δηλαδή τη βαθμολογία (q=1, 2, 3 ή 4), ενώ αυτές στους πίνακες III και IV τη σχετική βαρύτητα αυτών (q%). Από τη σύνθεση της αξιολόγησης του συνόλου των επιπέδων ($N = \sum q_i * g_i$) και ακολούθως με διαδικασίες επικάλυψης στο γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών προέκυψε η συνολική αξιολόγηση και η χαρτογράφηση κάθε δασικής λειτουργίας. Η διαδικασία αυτή δίνεται σχηματικά στο σχήμα 3 για τους εξωτερικούς και στο



Σχήμα 2. Απογραφή των μεταβλητών του τοπίου και ένταξη σε βαθμίδες δυναμικού των δασικών λειτουργιών. Σε κάθε χωρική μονάδα ταξινομούνται οι κατηγορίες βλάστησης σε ζώνες (α, β, γ,...) και για κάθε μια εξ' αυτών αποδίδεται και μια κλάση ποιότητας (qi:1,2,3 ή 4) ως προς μια ορισμένη δασική λειτουργία

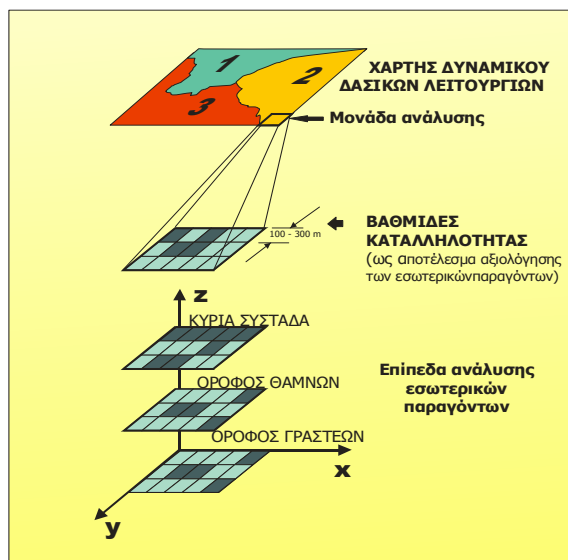
Figure 2. Inventory and mapping of landscape variables. Forest cover measurements are classified into categories (α, β, γ, . .) at which a quality class is assigned (qi: 1, 2, 3, 4)



Σχήμα 3. Πρότυπο αξιολόγησης εξωτερικών παραγόντων και χαρτογράφηση του δυναμικού μιας δασικής λειτουργίας

σχήμα 4 για τους εσωτερικούς παραγόντες και υλοποιήθηκε χωριστά για κάθε μονάδα ανάλυσης χώρου. Η μονάδες ανάλυσης χώρου πρέπει, για λόγους συγκρισιμότητας αποτελεσμάτων, να είναι κατά κανόνα ίδιες από πλευράς μεγέθους και σχήματος, και κοινές για τα διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών.

Ως προς το μέγεθος της μονάδας χωρικής ανάλυσης, αυτό, σύμφωνα με τη φύση των διαφόρων παραγόντων, μπορεί να κυμαίνεται από 20 έως 100 ha για τους εξωτερικούς παραγόντες και από 0,2 έως 0,5 ha για τους εσωτερικούς. Στην προκειμένη περίπτωση και για λόγους εναρμόνισης με τις μέχρι σήμερα εφαρμοζόμενες πρακτικές, χρησιμοποιήθηκαν ως μονάδες ανάλυσης χώρου η επιφάνεια του Υποτιμήματος για τους εξωτερικούς παραγόντες και οι Υποεπιφάνειες

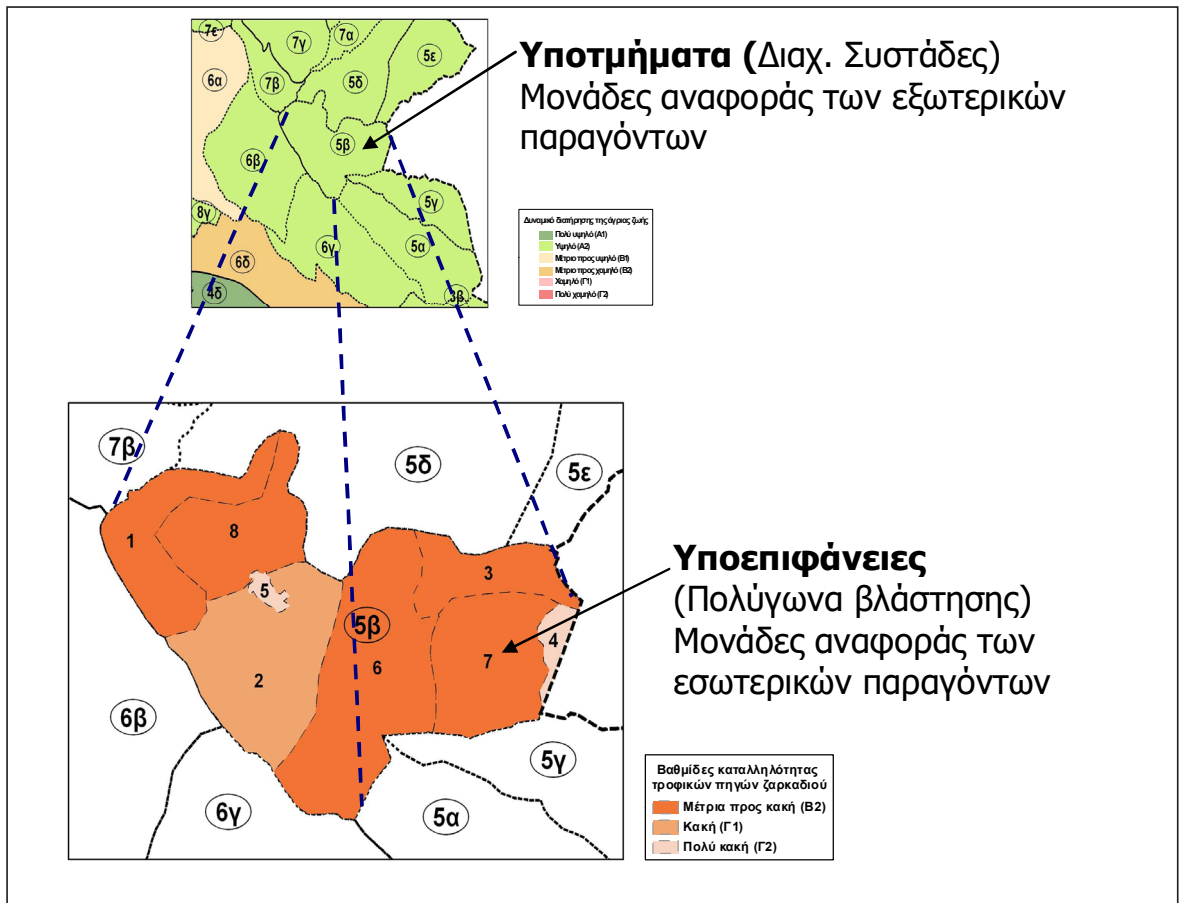


Σχήμα 4. Πρότυπο αξιολόγησης εσωτερικών παραγόντων και χαρτογράφηση της καταλληλότητας των δασικών σχηματισμών ως προς δεδομένη δασική λειτουργία

Figure 4. Assessment model of internal factors and forest function suitability mapping

(υποδιαρέσεις του Υποτιμήματος) ως μονάδες ανάλυσης των εσωτερικών παραγόντων (Σχήμα 5).

Τα Υποτιμήματα έχουν σταθερό μέγεθος που κυμαίνεται κατά κανόνα από 20 έως 100 ha και αξιοποιούνται ήδη ως μονάδες αναφοράς και ανάλυσης του μεγαλύτερου μέρους των εξωτερικών παραγόντων (βλέπε: Περιγραφή τόπου και συστάδων και Ιστορικά στοιχεία στην πρώτη σελίδα των ΦΠΣ των διαχειριστικών σχεδίων. Παπαδόπουλος και Γκατζογιάννης 2011). Οι Υποεπιφάνειες, καλούμενες και πολύγωνα βλάστησης, ικανοποιούν πλήρως τις ανάγκες ανάλυσης των εσωτερικών παραγόντων και αποτελούν τη βάση αναφοράς του δασοκομικού χειρισμού των συστάδων του δάσους. Η επιλογή των



Σχήμα 5. Μονάδες ανάλυσης χώρου (Υπομήματα και Υποεπιφάνειες) για την αξιολόγηση και χαρτογράφηση των δασικών λειτουργιών κατά την εκπόνηση διαχειριστικών σχεδίων

Figure 5. Area units for the analysis, evaluation and mapping of forest functions

μονάδων αυτών (Σχήμα 5) εξυπηρετεί και ανταποκρίνεται απόλυτα και στη διαδικασία απογραφής και ανάλυσης που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα στη δασοπονική πράξη.

Δημιουργία βάσεων δεδομένων και αξιολόγηση παραγόντων. Από τα στοιχεία τόπου και συστάδων, που δίνονται στα ΦΕΠ των διαχειριστικών μελετών, καθώς και από στοιχεία άλλων διαθέσιμων πηγών πληροφοριών, δημιουργήθηκε η Βάση Δεδομένων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΒΔΓΠ_Β) που είναι αναγκαία για την αξιολόγηση των εξωτερικών παραγόντων. Η βάση αυτή έχει τη δομή του πίνακα VII που αποτελείται α) από πεδία ή στήλες οι οποίες αντιστοιχούν στις θεματικές πληροφορίες κάθε επιπέδου (γεωλογία, εδαφικός τύπος κλπ) και β) από εγγραφές ή γραμμές που αντιστοιχούν στις μονάδες ανάλυσης χώρου (Υπομήματα 5α, 5β, ..). Αποσπάσματα της βάσης δεδομένων (ΒΔΓΠ_Β), όπου και

υλοποιήθηκε η διαδικασία αξιολόγησης, δίνονται στους πίνακες VII, VIII και IX.

Οι ομάδες θεματικών πληροφοριών των πινάκων αυτών, σε ότι αφορά τους εξωτερικούς παράγοντες και το δυναμικό των δασικών λειτουργιών, περιλαμβάνουν: α) Πληροφορίες βάσης: Στοιχεία ταυτότητας και γεωγραφικής ένταξης (στήλες 1, 2 και 3 στον πίνακα VII), πρωτογενείς πληροφορίες (στήλες 4 έως 7), περιγραφικές ή και ποσοτικές πληροφορίες προερχόμενες από περιγραφές των ΦΕΠ, χαρτογραφικές πηγές ή και αποτελέσματα απογραφής δοκιμαστικών επιφανειών, έκταση των Υπομημάτων (στήλη 8), και παράγωγες πληροφορίες, όπως η ένταξη πολυγώνων σε κατηγορίες μεταβλητών (α,β,γ,δ, : κοινή κωδικοποίηση ως προς όλες τις δασικές λειτουργίες) (στήλες 9 έως 12), β) Αποτελέσματα πρώτης αξιολόγησης: Αυτά προκύπτουν αυτόματα, σύμφωνα με τις σχετικές κλειδές (Πιν. V)

Πίνακας VII. ΒΑΓΠ_Β: Βάση Δεδομένων Γεωγραφικών Πληροφοριών σε επίπεδο Υποτιμημάτων. Πρωτογενείς πληροφορίες και ένταξη Υποτιμημάτων σε κατηγορίες (α,β,γ,δ, ..) (Μέρος Α)

Table VII. Geographic Information Database for the evaluation of the potential of forest functions. Primary information and integration of polygons into categories (α,β,γ,δ, ..) (Part A)

Στοιχεία ταυτότητας			Πρωτογενείς πληροφορίες				Έκταση (ha)	Ένταξη πολυγώνων σε κατηγορίες α, β, γ, δ, ..			
Υποτιμήματα	ΔΑΣΟΣ	Διαχ. Κλάση	[11] Γεωλογικοί σχηματ.	[21]. Εδαφικός τύπος	[22]. Βάθος εδάφους	[411]. Ζώνη βλάστησης		[11] Γεωλογικοί σχηματισμοί	[21]. Εδαφικός Τύπος	[22]. Βάθος εδάφους	[411]. Ζώνη βλάστησης
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5α	Παλαιοκ.	II	Σχιστόλιθος	Αμμοαργ.	Π.αβαθές	Δρυς	53,3	γ	β	δ	ε
5β	Παλαιοκ.	II	Σχιστόλιθος	Αμμοαργ.	Αβαθές	Δρυς	46,1	γ	γ	γ	ε
5γ	Παλαιοκ.	II	Σχιστ.-Ασβ.	Αμμοαργ.	Βαθύ	Δρυς	30,6	Γ,α	β	β	ε
5δ	Παλαιοκ.	II	Σχιστόλιθος	Αμμοαργ.	Βαθύ	Δρυς	44,5	γ	β	β	ε
5ε	Παλαιοκ.	I	Σχιστόλιθος	Αμμοαργ.	Βαθύ	Δρυς	36,8	γ	β	β	ε
6α	Παλαιοκ.	II	Σχιστ.-Ασβ.	Αμμοαργ.	Βαθύ	Δρυς	130,0	Γ,α	β	β	ε
..											

Πίνακας VIII. ΒΑΓΠ_Β: Ποιοτική αξιολόγηση και διαβάθμιση παραγόντων των Υποτιμημάτων σε βαθμίδες δυναμικού των δασικών λειτουργιών (απόσπασμα που αναφέρεται στην άγρια ζωή) (Μέρος Β)

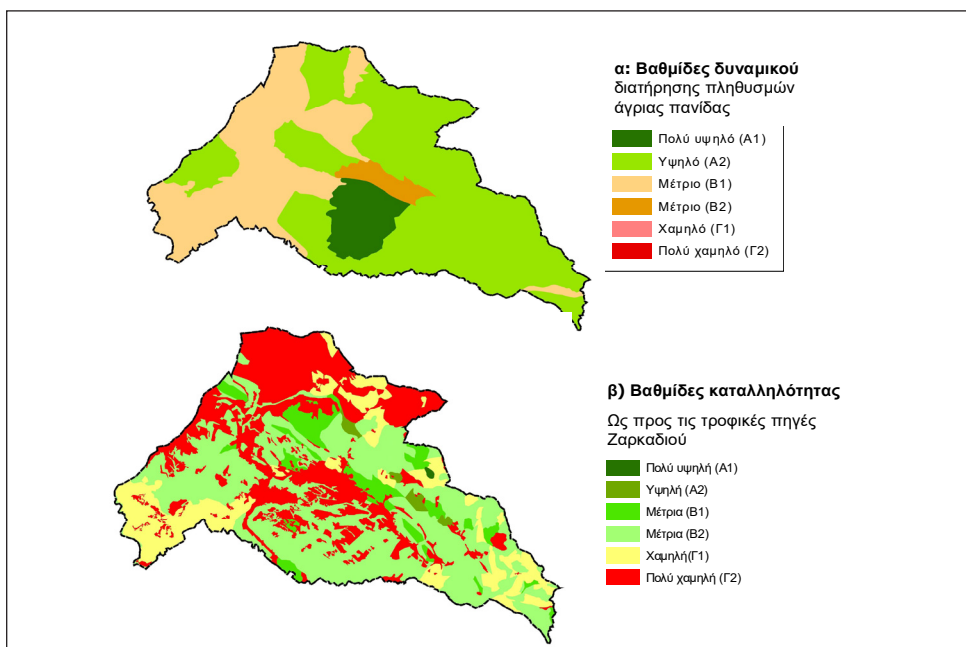
Table VIII. Geographic Information Database for the evaluation of the potential of forest functions (especially regarding wildlife conservation potential) (Part B)

Αποτελέσματα πρώτης αξιολόγησης μεταβλητών ως προς τη λειτουργία της ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ (βαθμολογία α: 1 έως 4)											
Υποτιμήματα	[311]. Επίσηο ύψος βροχής	[312]. Κατανομή βροχοπτώσεων	[35]. Δείκτης Ξηρασίας (Δείκτης Lang)	[411]. Κατηγορίες δασών (ομάδες δασοπον. ειδών)	[421]. Ποσοστό (%) δασοκάλυψης	[432]. Κλίση	[51]. Χρήσεις γης	[52]. Βαθμός οδικής διάνομιξης	[513]. Διαχειριστική μορφή	[53] Σύντημα/ συνθήκες συγκομιδής	[521] Συχνότητα πυρκαγιών
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
5α	3	4	2	4	3	3	3	2	3	3	4
5β	3	4	2	4	3	3	3	2	3	3	4
5γ	3	4	2	4	3	4	2	1	3	3	4
5δ	3	4	2	4	3	4	3	1	3	3	4
5ε	3	4	2	4	3	3	3	1	1	1	4
6α	2	4	1	4	2	4	2	1	3	3	4
..											

και την ένταξη των πολυγώνων σε ποιοτικές βαθμίδες (qi) για κάθε δασική λειτουργία, όπως δείχνουν τα στοιχεία του πίνακα VIII για την περίπτωση του δυναμικού διατήρησης της άγριας πανίδας (στήλες 13 έως 23). γ) Σύνθεση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης και εκτίμηση της συνολικής βαθμολογίας (N= Σqij*εj) για κάθε χωρική μονάδα (βλ. στήλες 25 έως

29 στον πίνακα IX) ως προς κάθε δασική λειτουργία και δ) Ένταξη των πολυγώνων σε βαθμίδες δυναμικού (Α, Β, Γ ή Α1, Α2, Β1, Β2, Γ1 και Γ2, στήλες 30 έως 34 στον πίνακα IX) σύμφωνα με το τελικό αποτέλεσμα (N) (στήλες 25 έως 29) και τη διαδικασία που περιγράφεται στο παράρτημα Ι.

Η βάση δεδομένων για την αξιολόγηση των εσω-



Σχήμα 6. Χαρτογράφηση δασικών λειτουργιών. Η κατά χώρο κατανομή α) του δυναμικού διατήρησης της άγριας ζωής (συνολικά του αγριόχοιρου, του ζαρκαδιού και του λαγού) και β) της καταλληλότητας (εσωτερικής συγκρότησης) των δασικών σχηματισμών αναφορικά με τις τροφικές πηγές του ζαρκαδιού στο δάσος Παλαιοκάστρου

Figure 6. Mapping of forest functions. The spatial distribution of a) wildlife potential classes and b) suitability classes of forest formations with respect to wildlife in Palaiokastro forest

Πίνακας ΙΧ. ΒΔΓΠ_Β: Συνολική αξιολόγηση των δασικών λειτουργιών και ένταξη των Υπομημάτων σε βαθμίδες δυναμικού Α₁, Α₂, Β₁, . . . (Μέρος Γ)

Table IX. Geographic Information Database for the evaluation of the potential of forest functions (integration of polygons into various forest function classes Α₁, Α₂, Β₁, . . .) (Part C)

Υπομήματα	Συνολική αξιολόγηση $N_j = \sum g_{ji} q_{ji}$					Ένταξη των Υπομημάτων σε Βαθμίδες δυναμικού δασικών λειτουργιών				
	ΔΙΗΘΗΣΗ	ΔΙΑΒΡΩΣΗ	ΠΥΡΚΑΓΓΙΑ	ΔΑΣ. ΑΝΑΨΥΧΗ	ΑΓΡΙΑ ΖΩΗ (ΠΑΝΙΔΑ)	Q _{ΔΙΗΘ} (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΗΘΗΣΗΣ)	Q _{ΔΙΑΒ} (ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ)	Q _{ΠΥΡΚ} (ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΥΡΚΑΓΓΙΑΣ)	Q _{ΕΤ-ΦΕ} (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΥΣ. ΕΜΠΕΡΙΣΙΩΝ)	Q _{ΠΑΝ} (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ)
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5α	245	197	240	295	325	B2	Γ1	B2	B1	A2
5β	240	204	245	295	325	B2	B2	B2	B1	A2
5γ	304	197	243	298	320	A2	Γ1	B2	B1	A2
5δ	258	189	252	290	325	B1	Γ1	B1	B1	A2
5ε	246	218	251	280	300	B2	B2	B1	B1	A2
6α	274	187	263	290	280	B1	Γ1	B1	B1	B1
7α	250	199	256	290	320	B1	Γ1	B1	B1	A2
..										

Πίνακας X. Κατανομή της έκτασης του δάσους Παλαιοκάστρου κατά βαθμίδες δυναμικού διατήρησης της άγριας Πανίδας
Table X. Distribution of the area of Palaiokastro forest in wild life conservation potential levels

Ζώνες βλάστησης (Δασοπονικά είδη)	Βαθμίδες δυναμικού διατήρησης της άγριας πανίδας (έκταση σε ha)				Συνολική έκταση (ha)
	A1: Πολύ υψηλό	A2: Υψηλό	B1: Μέτριο	B2: Μέτριο	
Αείφυλλα πλατύφυλλα		283,4	362,3	83,2	728,9
Δρυς	222,6	1320,8	575,6		2119,0
Δρυς, οξιά		73,4	18,3		91,7
Οξιά		97,1			97,1
Συνολική έκταση (ha)	222,6	1774,7	956,2	83,2	3036,7
%	7,3	58,4	31,5	2,7	100,0

Πίνακας XI. Κατανομή της έκτασης των εδαφοπονικών μορφών του δάσους Παλαιοκάστρου κατά βαθμίδες καταλληλότητας από άποψη τροφικών πηγών ζαρκαδιού

Table XI. Distribution of the area of Palaiokastro forest in wild life suitability classes (food sources of deer)

ΕΔΑΦΟΠΟΝΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ	ΑΓΡΙΑ ΠΑΝΙΔΑ - ΖΑΡΚΑΔΙ (ΤΡΟΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ) Βαθμίδες καταλληλότητας /Τρέχουσα κατάσταση						Έκταση (ha)
	A1: Πολύ καλή	A2: Καλή	B1: Μέτρια	B2: Μέτρια	Γ1: Κακή	Γ2: Πολύ κακή	
ΑΓΡΟΙ						554,6	554,6
ΓΥΜΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ						28,4	28,4
ΔΑΣΟΣΚΕΠΕΙΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ	3,3	30,5	80,3	1221,7	251,1	268,1	1855,0
ΘΑΜΝΟΤΟΠΟΙ				98,3	223,7		322,0
ΛΑΤΟΜΕΙΑ						6,9	6,9
ΜΕΡΙΚΩΣ ΔΑΣΟΣΚΕΠΕΙΣ			127,1				127,1
ΟΙΚΙΣΜΟΙ						57,2	57,2
ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΑ				9,0			9,0
Γενικό άθροισμα	3,3	30,5	207,4	1329,0	474,8	915,3	2960,3
%	0,1	1,0	7,0	44,9	16,0	30,9	100,0

τερικών παραγόντων και τη χαρτογράφηση της καταλληλότητας των δασικών σχηματισμών ως προς τις διάφορες δασικές λειτουργίες έχει δομή ανάλογη αυτής των εξωτερικών παραγόντων και αναπτύχθηκε σε επίπεδο πολυγώνων βλάστησης (Υποεπιφανειών) με τη βοήθεια πληροφοριών των δοκιμαστικών επιφανειών που απογράφηκαν σε κάθε πολύγωνο (βλ. Παπαδόπουλος κ. Γκατζογιάννης 2011).

Στατιστική απεικόνιση και Χαρτογράφηση των δασικών λειτουργιών: Επί τη βάσει των αποτελεσμάτων αυτών ακολούθησε στη συνέχεια η στατιστι-

κή απεικόνιση και η περιγραφή της κατάστασης του δάσους, ως προς τις διάφορες δασικές λειτουργίες, όπως ενδεικτικά μας δίνουν τα στοιχεία των πινάκων X και XI για την περίπτωση της άγριας πανίδας. Η κατά χώρο θέση των μονάδων ανάλυσης χώρου και η ένταξη των Υπομημάτων σε βαθμίδες δυναμικού και των Υποεπιφανειών σε βαθμίδες καταλληλότητας δίνουν τη δυνατότητα χωρικής απεικόνισης και χαρτογράφησης των δασικών λειτουργιών, όπως χαρακτηριστικά μας δείχνουν τα διαγράμματα στο σχήμα 6.

4. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Εξετάζοντας την πρακτική σημασία και την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου κατά την εκπόνηση των διαχειριστικών σχεδίων των δασών μπορούν να διατυπωθούν τα ακόλουθα. Η χαρτογράφηση του δυναμικού μιας λειτουργίας (Σχήμα 6) αποτελεί το πρώτο βήμα για την ιεράρχηση και κατανομή στο χώρο μέτρων διαχείρισης. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου διάβρωσης ($q=4$) έχουν πχ. σημαντική βαρύτητα (προτεραιότητα) στους διατιθέμενους πόρους προστασίας απέναντι σε αυτές με χαμηλό κίνδυνο ($q=1$). Επίσης, η διαπίστωση της δυνατότητας παρέμβασης είναι ένα δεύτερο στοιχείο που επηρεάζει τη λήψη της σχετικής απόφασης. Και εδώ ακριβώς έρχεται να συνεισφέρει ουσιαστικά η προτεινόμενη μεθοδολογία με το να διευθετεί το ποιος παράγοντας συμβάλλει στη διαμόρφωση του κινδύνου, σε ποιο βαθμό και ποια περιθώρια βελτίωσης υπάρχουν. Τον ίδιο ρόλο παίζει στη διαχείριση των δασών και η χαρτογράφηση της ικανότητας αντίστασης του δάσους απέναντι στον κίνδυνο διάβρωσης ή πυρκαγιάς και μάλιστα με πολύ μεγάλη σημασία για την εκτέλεση της λεπτομερούς δασοκομικής εργασίας στο επίπεδο της συστάδας. Η γνώση ότι μεταξύ των βασικών αιτιών για μειωμένη αντίσταση απέναντι στον κίνδυνο διάβρωσης, όπως πχ. ο χαμηλός βαθμός συγκόμωσης ή η έλλειψη ξηροτάπτητα, καθώς και το που (σε ποια περιοχή) εμφανίζεται η ευαισθησία αυτή, αποτελεί αυτό μια σημαντική βοήθεια στο δασοκόμο να προτείνει αλλά και να εξειδικεύσει χωρικά τα αναγκαία μέτρα που θα οδηγήσουν στη βελτίωση της κατάστασης.

Κάτω από συνθήκες πολλαπλής χρήσης, όπου ο ανταγωνισμός εμφανίζεται ως το κυρίαρχο πρόβλημα, η ποσοτικοποίηση και η διαδικασία αξιολόγησης που περιγράφηκε παραπάνω διευκολύνουν την επίλυση του προβλήματος αυτού. Ο σχεδιασμός της διαχείρισης δασών με πολλαπλές χρήσεις βασίζεται επίσης στην ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων, η αποδοτικότητα των οποίων εξετάζεται στη συνέχεια με βάση το αναμενόμενο αποτέλεσμα στην επιτυχία των διαφόρων στόχων, είτε στο επίπεδο του δυναμικού των διαφόρων δασικών λειτουργιών ή και στο επίπεδο της τρέχουσας κατάστασης (καταλληλότητας) των δασικών σχηματισμών. Οι λύσεις, δηλαδή, που οδηγούν σε ένα μεγαλύτερο επίπεδο ωφέλειας ($N=\sum q_i \cdot g_i$) ιεραρχούνται ως οι πλέον αποτελεσματικές ή αποδοτικές, από άποψη οικονομικότητας, και προετοιμάζονται κατόπιν προς υλοποίηση (Γκατζογιάννης 1988).

Με την παρούσα μεθοδολογία διανοίγεται μια νέα προοπτική για τη διαχείριση των δασών, δεδομένου ότι αποσαφηνίζεται ο τρόπος ενσωμάτωσης οικολογικών παραμέτρων στη διαχείριση των δασών και δίνονται ταυτόχρονα και οι διαδικασίες αλλά και οι κλίμακες αξιολόγησης των επιπτώσεων ενδεχόμενων χειρισμών πάνω στις δασικές λειτουργίες και κατ' επέκταση πάνω στο δασικό οικοσύστημα και το φυσικό περιβάλλον. Δημιουργείται επίσης και ένα είδος υποδομής για διεύρυνση της έννοιας της αειφορίας ώστε να καλύψει το σύνολο των δασικών λειτουργιών και να προσαρμοστεί έτσι η διαχείριση των δασών στις σύγχρονες ανάγκες τόσο της εθνικής όσο και της ευρωπαϊκής δασικής πολιτικής. Η τρέχουσα κατάσταση και το δυναμικό μιας δασικής λειτουργίας, καθώς και η απόκλιση της από ένα επιθυμητό ή εφικτό επίπεδο αποτελούν δείκτες ελέγχου της κατάστασης ισορροπίας του οικοσυστήματος και μπορούν, με την έννοια αυτή, να θεωρηθούν και ως δείκτες ελέγχου της αειφορίας των δασών.

Τέλος, οι κλειδες αξιολόγησης δασικών λειτουργιών, εκτός από την τεχνική/ λειτουργική σημασία που αναλύθηκε παραπάνω, έχουν και οικολογική σημασία, δεδομένου ότι διερμηνεύουν σχέσεις μεταξύ μεταβλητών ή παραμέτρων του οικοσυστήματος και των εκροών στις οποίες εστιάζει η παρούσα εργασία, δηλαδή στις δασικές λειτουργίες. Με την έννοια αυτή, οι κλειδες οι οποίες δημοσιοποιούνται (Πίνακες III, IV, V, VI & παραρτήματα) μπορούν να αποτελέσουν και μια γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων ειδικοτήτων της δασολογίας (και όχι μόνο), ώστε με διεπιστημονική πλέον έρευνα να μπορέσουν οι εμπειρικοί δείκτες που ενσωματώνονται στις κλειδες αυτές να βελτιωθούν και ενδεχομένως να υποκατασταθούν στο μέλλον από πειραματικά ερευνητικά αποτελέσματα.

Από τη δοκιμασία εφαρμογής της μεθόδου στο δάσος Παλαιοκάστρου προκύπτουν τα εξής ιδιαίτερα συμπεράσματα: Η εισαγωγή παραμέτρων των εκτός ξύλου δασικών λειτουργιών, σε μια κοινή διαδικασία απογραφής και αξιολόγησης του δάσους με την ξυλοπαραγωγική λειτουργία, είναι ευχερής και γίνεται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Η ανάλυση χώρου που διενεργείται για την αξιολόγηση βασίζεται και αξιοποιεί τις ίδιες μονάδες ανάλυσης χώρου και τα ίδια γεωγραφικά δεδομένα (Υπομήμα και πολύγωνα βλάστησης/ συστάδες) στα οποία στηρίζεται και η αξιολόγηση της παραγωγής ξύλου. Τα δασοκομικά μέτρα που εφαρμόστηκαν σε κάθε συ-

στάδα, όσον αφορά πχ. στην ένταση και το είδος (χαμηλές ή υψηλές) των αραιώσεων βασίστηκαν όχι μόνο στη μέχρι τώρα πρακτική που διδάσκει η δασοκομία, λαμβάνουσα υπόψη τις ανάγκες απόδοσης των συστάδων στον τομέα της ξυλοπαραγωγής, αλλά και στα αποτελέσματα αξιολόγησης των συστάδων αναφορικά με το σύνολο των δασικών λειτουργιών. Την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής διευκόλυνε τα μέγιστα και η νέα δομή των Φύλλων Ειδικής Περιγραφής (ΦΕΠ) όπου σημαντικές πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση (τρέχουσα καταλληλότητα) των συστάδων διευκολύνουν την ενσωμάτωση παραμέτρων των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών στην τρέχουσα δασοκομική εργασία. Με την έννοια αυτή, η διαδικασία σχεδιασμού, που εφαρμόστηκε στο εν λόγω δάσος, μπορεί να αποτελέσει οδηγό για μια γενικευμένη εφαρμογή στο σύνολο των δασών της χώρας, παρέχοντας ταυτόχρονα και μια σειρά από βοηθήματα και μέσα για μια τέτοια εφαρμογή, όπως είναι τα νέα ΦΕΠ, οι βάσεις

δεδομένων και ο τρόπος απεικόνισης πληροφοριών, η διαδικασία χαρτογράφησης κ.ά.

Αυτό που δεν κατέστη εφικτό στην προκειμένη περίπτωση ήταν η αναμόρφωση των βασικών και μακροπρόθεσμων διαχειριστικών αποφάσεων που ισχύουν στο εν λόγω δάσος, όπως είναι πχ. οι περίτροποι χρόνοι. Η ενσωμάτωση παραμέτρων των εκτός ξυλοπαραγωγής δασικών λειτουργιών στις αποφάσεις αυτές προϋποθέτει μεταξύ άλλων και τον εμπλουτισμό των πινάκων παραγωγής, που ισχύουν για τα δάση της περιοχής, με πληροφορίες που εξυπηρετούν την δυναμική αξιολόγηση των δασικών λειτουργιών, όπως είναι πχ. η αναμενόμενη μεταβολή της κατακόρυφης διάρθρωσης των συστάδων συναρτήσει της ηλικίας τους κ.ά. Αναμόρφωση χρειάζονται επίσης και οι κλείδες αξιολόγησης των δασικών λειτουργιών, που παρουσιάζονται στους σχετικούς πίνακες, δεδομένου ότι αυτές αναφέρονται στις συνθήκες των δασών οξιάς - δρυός και θα πρέπει να αναθεωρούνται και να προσαρμόζονται στις επικρατούσες κάθε φορά συνθήκες.

The evaluation and mapping of “non-timber forest functions” as decision making tools in forest management

Stylianos Gatzojannis*

ABSTRACT

Forest management is nowadays facing two practical problems, when goals regarding wood production, forest recreation and protection need to be met at the same time. The first problem is related to forest inventorying and evaluation, while the second one is the rivalry among the various functions and uses. The current paper deals with these problems, focusing on the non-wood forest functions (hydrologic or hydronomic function, wild fire threats, wildlife preservation and landscape aesthetics) and offers practical solutions to issues, arising from the need for integrating ecological parameters in forest management. It delivers results concerning: a) keys of evaluation as auxiliary patterns for analysing the forest functions, b) a complete inventorying, evaluation and mapping procedure of forest function and c) steps for applying and integrating the above mentioned output in the procedure of management planning.

Key words: Inventory, ecosystem services, hydronomic function, wild fire, wildlife preservation, landscape aesthetics, multiple use of forest.





*Doctor of Forestry. Forest Research Institute.

Παράρτημα Ι. Κλείδες αξιολόγησης της επίδρασης των εξωτερικών παραγόντων στη διαμόρφωση του δυναμικού των διαφόρων δασικών λειτουργιών στις ζώνες των δασών Δρυός και Οξιάς Παλαιοκάστρου Χαλκιδικής (Κλείδες αξιολόγησης εξωτερικών παραγόντων)

Annex I. Codification and evaluation keys of the External factors regarding various forest functions (for oak and beech forests)

Παράγοντες	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΗΘΗΣΗΣ				βαθμός	ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ				βαθμός	ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ				βαθμός	ΑΓΡΙΑ ΖΩΗ (ΠΑΝΙΔΑ) (ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ)				βαθμός	ΑΝΑΨΥΧΗ (ΔΥΝΑΜΙΚΟ Ε.Τ. & Φ.Ε.)				βαθμός	
	Βαθμίδες					Βαθμίδες					Βαθμίδες					Βαθμίδες										
	4	3	2	1		4	3	2	1		4	3	2	1		4	3	2	1		4	3	2	1		
[1]: ΠΕΤΡΩΜΑ																										
[11] Γεωλογικοί σχηματισμοί																										
α. Ασβεστόλιθος	(+)				4				(+)	1																
β. Φλύσχης		(+)			2			(+)		2																
γ. Σχιστόλιθος			(+)		1			(+)		3																
δ. Κρυσταλοπυριγενή πετρώματα			(+)		2			(+)		2																
ε. Νεογενείς αποθέσεις			(+)		2			(+)		3																
ζ. Αλλουβιακές αποθέσεις		(+)			3	(+)				4																
[2]: ΕΔΑΦΟΣ																										
[21]. Εδαφικός τύπος																										
α. Ελαφριά/ αμμώδη εδάφη					4				(+)	1																
β. Μετρίως ελαφριά		(+)			3			(+)		2																
γ. Μετρίως βαριά			(+)		2			(+)		3																
δ. Βαριά/ αργιλλώδη εδάφη				(+)	1	(+)				4																
[22]. Βάθος εδάφους																										
α. Πολύ βαθιά εδάφη (> 60cm)					4					1																
β. Βαθιά εδάφη (30 – 60 cm)					3					2																
γ. Αβαθή εδάφη (10 -30 cm)					2					3																
δ. Πολύ αβαθή εδάφη (< 10cm)					1					4																
[23]. Περιεχομένη εδαφική υγρασία																										
α. Ξηρά εδάφη					4					1																
β. Μετρίως ξηρά					3					2																
γ. Μετρίως υγρά					2					3																
δ. Υγρά / κάθυγρα εδάφη					1					4																
[24]. Συμπίεση εδάφους																										
α. Χωρίς εμφανή ίχνη συμπίεσης					4					1																
β. Εμφανή ίχνη συμπίεσης		(+)			3					2																
γ. Εκτεταμένα ίχνη συμπίεσης					1				(+)	3																
[25]. Κατάσταση επιφανείας (τραχύτητα)																										
α. Ομαλή – επίπεδη επιφάνεια					1					4																
β. Μετρίως τραχεία/ ανώμαλη επιφάνεια		(+)			3			(+)		2																
γ. Τραχεία-ανώμαλη επιφάνεια					4					1																
[26] Φαινόμενα διάβρωσης																										
α. Έντονα φαινόμενα διάβρωσης										4																
β. Μέτρια φαινόμενα διάβρωσης								(+)		3																
γ. Χωρίς ή περιορισμένα φαινόμενα διάβρωσης									(+)	1																
[3]: ΚΛΙΜΑ																										
[31]: Βροχοπτώσεις																										
[311]. Ετήσιο ύψος βροχής																										
α. Μέσο ετήσιο ύψος βροχής: >= 1800mm					4			(+)		4																
β. Μέσο ετήσιο ύψος βροχής: 1200–1800mm					3			(+)		3																
γ. Μέσο ετήσιο ύψος βροχής: 600–1200mm					2			(+)		2																
δ. Μέσο ετήσιο ύψος βροχής: < 600mm					1			(+)		1																
[312]. Κατανομή Βροχοπτώσεων																										
α. Κανονική κατανομή (στις 4 εποχές)		(+)			4					1																
β. Ακανόνιστη/ ενδιάμεση κατανομή			(+)		2			(+)		3																
γ. Ακραία κατανομή (σε μια εποχή)				(+)	1					4											(+)					
[313]. Καταρρακτώδης βροχόπτωση (μέγιστη 20ετίας)																										
α. < 60 χιλ.										1																
β. 60-100 χιλ.										2																
γ. 100-140 χιλ.										3																
δ. >= 140 χιλ.										4																
[314]. Βροχοπτώσεις θέρους																										
[32] Θερμοκρασίες																										
[321] Θερμοκρασίες θέρους																										
[322]. Θερμοκρασιακό εύρος																										
[323]. Δείκτης Ξηρασίας (Δείκτης Lang)																										
α. Δείκτης Lang: IL: < 1.7 (Έντονη Ξηρασία)										4											(+)					
β. IL: 1.8 - 5.0 (Μέτρια Ξηρασία)										3											(+)					
γ. IL : 5.1 - 13.3 (Μέτρια Ξηρασία)										2											(+)					
δ. IL : > 13.3 (Χαμηλή Ξηρασία)										1											(+)					

Παράρτημα Ι (συνέχεια)	ΔΙΤΗΘΗΣΗ	ΔΙΑΒΡΩΣΗ	ΠΥΡΚΑΓΙΑ	ΑΓΡΙΑ ΖΩΗ	ΑΝΑΨΥΧΗ
[331]. Ταχύτητα ανέμου α. ΤΑ: > 6 BF (>35 Km/h) β. ΤΑ: 4 - 5 BF (20-35 Km/h) γ. ΤΑ: 2 - 3 BF (5-20 Km/h) δ. ΤΑ: <1 BF (<5 Km/h)	[33] Άνεμος				
[332]. Διάρκεια ανέμου α. ΔΑ: > 3 ημέρες β. ΔΑ: 2 - 3 ημέρες γ. ΔΑ: 1 - 2 ημέρες δ. ΔΑ: <1 ημέρα					
[4]: ΦΥΣΙΚΟ ΤΟΠΙΟ [41] Δασοκάλυψη					
[411]. Ζώνη βλά/σης (κυριαρ. δασ. ειδών) α. Θερμόβια κωνοφόρα (PBR,PCH,PPI) β. Δάση μαύρης πεύκης γ. Δάση ψυχρ. κωνοφόρων δ. Δάση αιφυλλων πλατυφύλλων ε. Δάση θρύος και καστανιάς ζ. Δάση οξιές					
[412]. Ποσοστό (%) δασοκάλυψης α. Κ > 75% β. Κ 50 -75 % γ. Κ 25 - 50% δ. Κ < 25%					
[413] Συνέχεια/ ασυνέχεια δασοκάλυψης α. Συνεχής δασοκάλυψη (Πρότ.Α1 και Α2) β. Ασυνεχής δασοκάλυψη (Πρότ.Β3 και Β4)					
[42] Τοπογραφική διαμόρφωση/ γεωμορφολογία					
[421]. Έκθεση α. Β β. ΒΔ, ΒΑ, Δ γ. ΝΑ, ΝΔ, Α δ. Ν					
[422]. Κλίση α. 0 - 10% β. 11 - 30% γ. 31 - 80% δ. > 80%					
[423]. Υψομετρική ζώνη α. < 600 μ β. 601 - 1200 μ γ. 1201 - 1800 μ δ. > 1800 μ					
[424] Δυναμικό αναγλύφου Α. Πολύ έντονο ανάγλυφο (ΔΗ:>45 μ./50 ha) Β. Έντονο ανάγλυφο (ΔΗ:15 -45 μ./50 ha) Γ. Μέτριας έντασης ανάγλυφο(ΔΗ:5-15 μ./50 ha) Δ. Χαμηλής έντασης ανάγλυφο (ΔΗ:0-5 μ./50 ha)					
[43] Αξιόλογα στοιχεία φυσικής					
[431] Στοιχεία φυσικής κληρονομιάς α. Ιδιόμορφοι γεωλογικοί σχηματισμοί β. Μνημεία φύσης γ. Αισθητικά δάση δ. Φυσικά αποθέματα ε. Περιοχές προστασίας της φύσης ζ. Υδάτινοι σχηματισμοί η. Τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους					
[5]: ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ [51] Σύστημα διαχείρισης					
[511]. Μορφές χρήσεων γης α. Παραγωγή ξύλου β. Βόσκηση γ. Γεωργία δ. Δασική Αναψυχή ε. Προστασία (προστ/νες φυσικές περιοχές)					
[512]. Βαθμός οδικής διάνοιξης α. < 10 m/ha β. 10 - 20 m/ha γ. 20 - 30 m/ha δ. > 30 m/ha					

Παράρτημα Ι (συνέχεια)	ΔΙΗΘΗΣΗ				ΔΙΑΒΡΩΣΗ				ΠΥΡΚΑΓΙΑ				ΑΓΡΙΑ ΖΩΗ				ΑΝΑΨΥΧΗ			
[513] Διαχειριστική μορφή	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
α. Πρεμνοφυές δάσος				(+)	1	(+)			4			(+)	2				1			(+)
β. Σπερμοφυές		(+)			3		(+)		2		(+)		3		(+)		3		(+)	
γ. Διφυές	(+)				4		(+)		1	(+)			4	(+)			4	(+)		
[514] Σύστημα/ συνθήκες συγκομιδής					4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1				
α. Συστήματα φιλικά στο περιβάλλον								1				(+)	1		(+)		3			
β. Συνδυασμένα συστήματα						(+)			3		(+)		2		(+)		2			
γ. Μη φιλικά στο περιβάλλον								4		(+)			3			(+)	1			
[52]. Ιστορικό δασ. πυρκαγιών (20ετίας)																				
[521] Συχνότητα πυρκαγιών									4	3	2	1	4	3	2	1				
α. > 1.5 πυρκαγιές/ 100 km ²													4			(+)	1			
β. 1->1.5 πυρκαγιές/ 100 km ²													3			(+)	2			
γ. 0.5 ->1 πυρκαγιές/ 100 km ²													2		(+)		3			
δ. < 0.5 πυρκαγιές/ 100 km ²													1	(+)			4			
[522]. Καμμένη έκταση									4	3	2	1								
α. > 30Ha/έτος, 100 km ²													4							
β. 20 - 30Ha/έτος, 100 km ²													3							
γ. 10 - 20Ha/έτος, 100 km ²													2							
δ. < 10Ha/έτος, 100 km ²													1							
[523]. Αγρία πρόκλησης της πυρκαγιάς									4	3	2	1								
α. Εμπρησμός													4							
β. Αμέλεια													3							
γ. Ατύχημα													1							
δ. Κεραυνός													2							
[53]. Πολιτιστική κληρονομιά																				
[531]. Στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς																	4	3	2	1
α. Ιστορικοί οικισμοί																	(+)			4
β. Κτίσματα και κατασκευές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος																	(+)			4
γ. Θέσεις θρησκευτικού ενδιαφέροντος																	(+)			4
δ. Υποδομές αναψυχής																		(+)		3
ε. Αρχαιολογικοί χώροι																	(+)			4
στ. Παραδοσιακοί οικισμοί																	(+)			4
Διευκρινίσεις	<p>Κριτήριο [323]: Δείκτης Ξηρασίας (Lang Index): Ο λόγος της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης προς τη μέση μηνιαία θερμοκρασία των μηνών Ιουνίου, Ιουλ., Αυγ., και Σεπτ.</p> <p>Κριτήριο [331]: Ταχύτητα ανέμου (Qτα): Μέγιστη ταχύτητα ανέμου που παρατηρείται (κατά μέσο όρο) στους μήνες Ι, Ι, Α, Σ.</p> <p>Κριτήριο [332]: Διάρκεια ανέμου (Qδα): Ημέρες με ταχύτητα ανέμου > 6 BF (κατά τη θερινή περίοδο)</p> <p>Κριτήριο [413]: Συνέχεια- ασυνέχεια δασοκάλυψης (πρότυπα κατανομής δασοκάλυψης)</p> <p>Για ΠΔ > 50 % και για ΠΔ < 50 %</p> <p>Πρότυπο Α1  Πρότυπο Α2 </p> <p>Πρότυπο Α3  Πρότυπο Α4 </p>																			

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Avers, P. E. and E. F. Schatterer, 1991. Ecosystem Classification and Mapping on National Forests. In Symposium Proceedings on Systems Analysis in Forest Resources, Charleston, South Carolina, March 3-7, 1991. Comp.: Buford, M. A. USDA Forest Service. GTR-SE-74. Pp. 63-69.
- Backhaus, K., B. Erichson, W., Plinke, and R., Weiber, 2000. Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 9. Edition. Springer Verlag. 661 p.
- Bateman, I.J., Mace, G.M., Fezzi, C., Atkinson, G., Turner, K., 2010. Economic analysis for ecosystem service assessments. Working Paper - Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (1), pp. 1-49.
- Brown, C., Wetzstein, J., 2011. Timber Suitability, Long-Term Sustained Yield Capacity, and Allowable Sale Quantity Report Prescott National Forest. USDA, Forest Service.
- Galatsidas, S., 2001. Analysis of Non-Timber Functions of Forests in the Frame of Management Inventories. Freiburg: Mitteilungen der Abteilung Forstliche Biometrie, 2001: 01-2, 141p.
- Gatzojannis, S., 1984. Die Entwicklung eines ökonomischen Planungsinstrumentes für die multifunktionale Forstwirtschaft Griechenlands. Dissertation Forstwis. Fakultät der Georg-August Universität Göttingen (Γερμανίας). S. 309. (Η ανάπτυξη ενός οικονομικού σχεδιαστικού οργάνου για τη δασοπονία πολλαπλών σκοπών της Ελλάδος).
- Gatzojannis, S., 1997. Progress Report (2/3): Development and Harmonization of Monitoring Systems for Forest Resources Management in Europe, 73 p.
- Gatzojannis, S., Stefanidis, P., and Kalabokidis, K., 2001. An Inventory and Evaluation Methodology for Non-timber Functions of Forests. Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 2001-1. 49 p.
- Gatzojannis, S., Stefanidis, P., Galatsidas, S., 1997. An inventory and evaluation method for the water percolation function of forests. 3rd International conference on the development of forestry and wood science/ technology. V.1. Belgrade (Proceedings book of the 3rd ICFWST '97: 214-223). (Μια μέθοδος απογραφής και αξιολόγησης της υδρολογικής λειτουργίας και του δυναμικού διήθησης των δασών).
- Henne, A., 1976. Ziele, Zielgewichte and Nutzwertanalyse in der Mittelfristige forstliche Planung. AFZ, pp. 675-681.
- Kalabokidis, K., Gatzojannis, S., Galatsidas, S., 2002. Introducing wildfire into forest management planning: towards a conceptual approach. Elsevier, Forest Ecology and Management 158:41-50. (Εισαγωγή παραμέτρων φωτιάς στη διαχείριση των δασών).
- Kiemstedt, H., 1967. Zur Bewertung der Landschaft für die Erholung. Beiträge zur Landespflege, Sonderheft 1; Stuttgart.
- Kline, Jeffrey D.; Mazzotta, Marisa J., 2012. Evaluating tradeoffs among ecosystem services in the management of public lands. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-865. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 48 p.
- Koelle, H., H., 1975. Zur Berücksichtigung von Intedependenzen bei Entscheidungsprozessen. Analyse und Prognosen über die Welt von Morgen, H. 38/75.
- Pelz, D., Gatzojannis, S., Martinez-Millan, J., and Rondeux, J., 2000. Development and Harmonization of Monitoring Systems for Forest Resources Management in Europe. Mitt. Abtl. Forstl. Biometrie, Univ. Freiburg 2002-2. 251 p.
- Wullschlegel, E., 1982. Die Erfassung der Waldfunktionen. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Birmensdorf. Bericht No 238. 81 p.
- Zangemeister, C., 1971. Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 2. Auflage. Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Wittmannsche Buchhandlung, München, 369 p.
- Zundel, R., 1976. Vorschläge zur Ausscheidung and Abgrenzung von Naturparks in Baden-Württemberg. Landschaft + Stadt 1u.2.
- Γκατζογιάννης, Σ., 1987. Ένα σύστημα διαχείρισης για τα δάση αναφυχής. Επιστ. Επετ/δα του Τμήματος Δασολογίας και Φ.Π. Τόμος Λ, 5: 201-275.
- Γκατζογιάννης, Σ., 1988. Πολλαπλή χρήση και διαχείριση δασών. Πρακτικά Δ' Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου (Λάρισα, 5-7 Οκτ. 1988) της Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας (Σελ.29-49)
- Γκατζογιάννης, Σ., 2009. Σχέδιο προδιαγραφών σύνταξης σχεδίων διαχείρισης δασών/ Δασικών οικοσυστημάτων. Β' Έκδοση. ΙΔΕ/ ΕΘΙΑΓΕ.
- Παπαδόπουλος, Σ., Γκατζογιάννης, Σ., 2011. Διαχειριστικό σχέδιο του Δάσους Παλαιοκάστρου Χαλκιδικής (περιόδου 2008-2017). Δασαρχείο Πολυγύρου.

Πίνακες παραγωγής Ελάτης του δάσους Ταυγέτου

Στυλιανός Γκατζογιάννης*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη ενός συστήματος πινάκων παραγωγής για τις συστάδες Ελάτης των δασών του Ταυγέτου αποτελεί το αντικείμενο της εργασίας αυτής. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε με τη βοήθεια υλικού ανάλυσης κορμών και απογραφικά δεδομένα δοκιμαστικών επιφανειών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό τη μορφή δασοαποδοτικών προτύπων και εξισώσεων, καθώς και υπό μορφή των κλασσικών πινάκων παραγωγής. Οι πίνακες αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν ως μοντέλα προομοίωσης, αφενός μεν για την εκτίμηση της πορείας αύξησης και της μελλοντικής απόδοσης των συστάδων, κάτω από εναλλακτικούς δασοοικονομικούς χειρισμούς, και αφετέρου για τη δασική απογραφή και τη λήψη σειράς βασικών διαχειριστικών αποφάσεων σχετικών με τον κύκλο παραγωγής των συστάδων, την πρόβλεψη λίμματος και την αειφορία των δασών.

Λέξεις κλειδιά: Αύξηση και απόδοση συστάδων, υποποιοτήτες, δείκτης ποιότητας τόπου, πυκνότητα συστάδων, αυξητικές σειρές, κανονικά πρότυπα, διαχείριση δασών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα έρευνα αναφέρεται στις αμιγείς και ομήλικες συστάδες των δασών Ελάτης (*Abies chephalonica*) του ορεινού συγκροτήματος Ταυγέτου Μεσσηνίας. Τα δάση αυτά ευδοκμούν στη ζώνη *Abieti fagetum* (Ντάφης 1973) σε υψόμετρο από 400 έως 2000 μ.υ.υ και καταλαμβάνουν έκταση 2500 εκταρίων. Για τα δάση αυτά, όπως και γενικότερα για το σύνολο των δασών Ελάτης της χώρας, υπάρχει έλλειψη σε ολοκληρωμένα δασοαποδοτικά πρότυπα, όπως αυτά των πινάκων παραγωγής, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ληφθούν με βεβαιότητα σημαντικές διαχειριστικές αποφάσεις οργάνωσης της παραγωγής των δασών.

Για τα ελατοδάση της χώρας πραγματοποιήθηκαν μέχρι σήμερα αρκετές δασοαποδοτικές έρευνες, όπως αυτές των Απατσιδή (1990) και Panagiotidis (1965), οι οποίες εστιάζουν κυρίως στην εξέλιξη του ύψους των συστάδων και στην κατάρτιση σταθμοδεικτικών καμπυλών, χωρίς όμως να καλύπτουν συνολικά τα ζητήματα αύξησης του ξυλαποθέματος και απόδοσης των συστάδων.

Αντίστοιχα των πινάκων παραγωγής πρότυπα υπάρχουν μόνο για τα κηπευτά δάση ελάτης (Παναγιωτίδης 1978, Ταμείο Πανεπιστημιακών Δασών 1989), τα οποία όμως δεν μπορούν να εφαρμοστούν στα ομήλικα και σε μεγάλο τμήμα των υποκηπευτών δασών ελάτης της χώρας.

Οι ελλείψεις αυτές στοιχειοθετούν αδυναμίες σχεδιασμού και ορθολογικής οργάνωσης της διαχείρισης με άμεση επίπτωση στην παραγωγή και, κάτω από ορισμένες συνθήκες, και στη σταθερότητα των οικοσυστημάτων. Η χρησιμοποίηση πινάκων παραγωγής ελάτης άλλων χωρών, όπως αυτοί των Schober (1975) ή Marschall (1975), για την αντιμετώπιση της αδυναμίας αυτής, έπρεπε να αποκλειστεί, αφού δεν υπάρχει σχετική εμπειρία για το βαθμό ανταπόκρισης αυτών κάτω από ελληνικές συνθήκες. Ενόψει των ελλείψεων αυτών, επιχειρείται στην παρούσα εργασία η κατάρτιση ενός ολοκληρωμένου συστήματος πινάκων παραγωγής για τις ομήλικες και αμιγείς συστάδες ελάτης.

Η έρευνα αυτή διενεργήθηκε στο πλαίσιο ενός ευρύτερου προγράμματος συνεργασίας του Ινστιτούτου Δασικών Θεσσαλονίκης με τις Δασικές Υπηρεσίες της χώρας, το οποίο είχε ως στόχους, αφενός μεν την αναμόρφωση του συστήματος απογραφής, που εφαρμόζεται κατά την εκπόνηση των διαχειριστικών σχεδίων των διαφόρων δασών, και αφετέρου τη δημιουργία εισροών για δασοαποδοτική έρευνα. Μέχρι τώρα έχουν ανακοινωθεί σχετικά αποτελέσματα για τα είδη Δασική πεύκη (Γκατζογιάννης 1998), Ερυθρελάτη (Gatzojannis 1999a), Μαύρη πεύκη (Gatzojannis, 1999b) και Οξιά (Gatzojannis 1998), ενώ αναμένονται σχετικές ανακοινώσεις και για άλλα δασοπονικά είδη (Δρυς, Τραχεία πεύκη κ.ά.).

*Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, ΕΘΙΑΓΕ, E-mail: sगतzo@gmail.com

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η διερεύνηση της εξέλιξης των συστάδων στην οποία και εστιάζει η κατάρτιση των ζητούμενων πινάκων παραγωγής βασίστηκε: α) στην πορεία αύξησης του ύψους των συστάδων συναρτήσει της ηλικίας και της ποιότητας τόπου και β) στις σχέσεις που διαμορφώνονται, στην πορεία αύξησης των συστάδων, μεταξύ ανώτερου ύψους και λοιπών δασοαποδοτικών μεγεθών. Η εξέλιξη του ύψους των συστάδων ελάτης μελετήθηκε σε προηγούμενη εργασία (Gatzojannis 2000) με τη βοήθεια ανάλυσης δείγματος 70 δοκιμαστικών κορμών (βλέπε πίνακα I, περ. α) και οδήγησε στην ανάπτυξη μιας συνολικής δέσμης υψοκαμπυλών, ως υποδομή για την ταξινόμηση των συστάδων κατά ποιότητες τόπου, αλλά και ως αφετηρία για την παραπέρα δασοαποδοτική έρευνα, όπως αυτή επιχειρείται στην παρούσα εργασία.

Η μελέτη των σχέσεων μεταξύ του ύψους και των υπολοίπων δασοαποδοτικών μεγεθών έγινε με τη βοήθεια απογραφής 284 δοκιμαστικών επιφανειών (ΔΕ) συστηματικά κατανομημένων στη συνολική περιοχή έρευνας. Με πλήρη παχυμέτρηση όλων των δένδρων (με στηθ. διάμετρο > 7 cm) και μετρήσεις ύψους και στηθιαίας ηλικίας ικανού αριθμού δέντρων σε κάθε ΔΕ, προοδιορίστηκαν, με τη βοήθεια εξισώσεων ύψους και μαζοπινάκων διπλής εισόδου, τα χαρακτηριστικά εκείνα μεγέθη των συστάδων που αποτέλεσαν το υλικό της παρούσας έρευνας (βλέπε μεταβλητές και βασικά στατιστικά στον πίνακα I, περ. β).

Πίνακας I: Βασικά στατιστικά του υλικού της έρευνας

Table I: Data set for stand growth and yield modeling

Μεταβλητές – Variables	n	Min	Max	Mean	Std. Dev.
α) Των δοκιμαστικών κορμών - Stem analysis data					
Στηθιαία ηλικία - Breast height age (yrs)	380	0,00	144	36,9	31,5
Ύψος - Tree height (h, m)	380	1,3	26,9	10,1	6,3
Δείκτης ποιότητα τόπου - Site index (SI ₅₀)	70	7,6	24,4	14,0	3,9
β) Των δοκιμαστικών επιφανειών - Data set of the sample plots					
Δείκτης ποιότητας τόπου – Site Index (SI ₅₀)	284	5,1	19,7	10,4	2,9
Ανώτερο ύψος – dominant height (h ₀ , m)	284	7,1	19,4	13,5	2,5
Δείκτης πυκν. συστάδων–Stand Density Index (SDI)	284	93,5	1200,8	518,7	219,4
Μέση διάμετρος συστάδας – Mean diameter (d _g , cm)	284	12,5	42,7	22,8	5,1
Εγκάρσια κυκλική επιφάνεια – Basal area (G, m ² /ha)	284	4,0	61,1	24,7	11,4
Αριθμός κορμών – Number of stems (N/ha)	284	100,0	1400	626	261
Ξυλαπόθεμα – Stand volume (V, m ³ /ha)	284	13,2	404,4	138,6	79,4
Ηλικία κυριαρχούσας συστάδας - Stand age (T, yrs)	284	27,5	135,4	85,2	21,9

Η ανάπτυξη του συστήματος βασίστηκε στη διερεύνηση των τριών βασικών σχέσεων που διέπουν τη δομή της εξέλιξης των ομήλικων συστάδων και κατ'επέκταση και τη διάθρωση των πινάκων παραγωγής (Assmann 1970). Βασική σχέση I (σχέση ταξινόμησης): $h_0 = f(T, ΠΤ)$ το ανώτερο ύψος h₀, ως συνάρτηση της ηλικίας T και της ποιότητας τόπου. Βασική σχέση II (βοηθητική σχέση): $ΣΙv = f(h_0)$ η συνολική απόδοση των συστάδων ΣΙv ως συνάρτηση του ανώτερου ύψους h₀. Βασική σχέση III (τελική σχέση): $ΣΙv = f(T, ΠΤ)$ η συνολική απόδοση ΣΙv ως συνάρτηση της ηλικίας T και της ποιότητας τόπου (ΠΤ), καθώς και στη λογική των αυξητικών σειρών του Magin (1963), όπως αυτή αποτυπώνεται στη σχέση (1).

$$(1) \Sigma I_{v(t-t_0)} = V_a + \Sigma \Delta V_s + \Sigma Ndf_{(s)} * vm_{(s/2)} * k$$

όπου: $\Sigma I_{v(t-t_0)}$: Συνολική προσαύξηση (απόδοση) μιας συστάδας από τη δημιουργία της μέχρι μια ορισμένη ηλικία (t) ή ένα ορισμένο ύψος (h_t) το οποίο επιτυγχάνεται στην ηλικία αυτή, V_a: Ξυλαπόθεμα της συστάδας σε ηλικία a (ηλικία έναρξης αραιώσεων), ή σε ύψος h_a, ΔV_s : Διαφορά ξυλαποθεμάτων που έχουν οι συστάδες στην αρχή και στο τέλος ενός χρονικού διαστήματος s, Ndf_(s): Αριθμός δένδρων που απομακρύνονται με τις αραιώσεις στο χρονικό διάστημα s, $vm_{(s/2)}$: Όγκος του μέσου κορμού της κύριας συστάδας στο μέσο του χρονικού διαστήματος s, k: Συντελεστής διόρθωσης του Magin, ο οποίος εκφράζει τη σχέση όγκου του μέσου κορμού αραιώσεων προς αυτόν της κυρίας συστάδας και δίνεται από τη σχέση (2).

(2) $k = (N_{df}/N)^{b/c}$, όπου: $b = \ln(N^2/3000) / \ln V$ και $c =$ παράγοντας που εξαρτάται από την ένταση αραιώσεων και κυμαίνεται μεταξύ 2 και 7 (Marschall (1975). Για τον υπολογισμό της συνολικής προσάυξης των συστάδων ο Marschall συνέδεσε τον συντελεστή $c = 3$ με συστάδες μέτριας αραιώσης, ενώ ο Magin, σύμφωνα με τον Marschall (1975), προτείνει $c = 3$ για κανονικά διαχειριζόμενες συστάδες.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βασική σχέση I: Το σύστημα σταθμοδεικτικών καμπυλών, το οποίο αναπτύχθηκε σε προηγούμενη εργασία (Gatzojannis 2000) αναμορφώθηκε εδώ για να εξυπηρετήσει μια προσπάθεια δημιουργίας ενός νέου συστήματος αναφοράς και ένταξης των συστάδων όλων των δασοπονικών ειδών σε ένα ενιαίο σύστημα ποιότητας τύπου. Για το σκοπό αυτόν έγιναν οι εξής προσαρμογές: α) στο υλικό ανάλυσης των κορμών, στο οποίο βασίστηκε και το προηγούμενο σύστημα, προσαρμόστηκε ένα νέο μαθηματικό μοντέλο ικανό προσαρμογής σε κάθε περίπτωση και πλέον εύχρηστο, από πρακτική άποψη, δεδομένου ότι αντιτρέφεται και μπορεί να εξυπηρετεί άμεσα τον προσδιορισμό του δείκτη ποιότητας τύπου, με τρόπο μάλιστα μαθηματικό και για επιθυμητή ηλικία αναφοράς. Το μοντέλο αυτό είναι των McDill and Amateis (1992) και δίνεται από την εξίσωση (3) και την αντίστροφη της (3α):

(3) $H_o = 1,3 + M / (1 - (1 - M / (SI_{50} - 1,3))) * (50 / A)^{a1}$, όπου $H_o =$ το ανώτερο ύψος συστάδας, $SI_{50} =$ ο δείκτης ποιότητας τύπου, ως ύψος στην ηλικία αναφοράς ($A_o = 50$ έτη) και $M, a1 =$ συντελεστές της εξίσωσης, (3α) $SI_{50} = 1,3 + M / (1 - (1 - M / (h_i - 1,3))) * (a_i / 50)^{a1}$, όπου a_i η στηθαία ηλικία και h_i το ύψος κυριαρχούντων ή και συγκυριαρχούντων δένδρων των συστάδων που χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισαγωγής για την εκτίμηση του SI_{50} .

Το μοντέλο αναπτύχθηκε με μη γραμμικές διαδικασίες παλινδρόμησης και τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα II. Ακολούθησε ανάλυση των υπολοί-

πων (residual analysis) για την εκτίμηση διαφόρων δεικτών ως ακολούθως (βλ. Πίν. : III): Η μέση τιμή των αποκλίσεων ($Mres$: mean residual), ως δείκτης για το συστηματικό σφάλμα που παράγεται από την εφαρμογή του μοντέλου και το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων ($SSRes$: Residual sum of squares), όπως και η μέση τιμή των απόλυτων τιμών των αποκλίσεων ($AMRes$: Absolute mean residual), ως δείκτες ακρίβειας του μοντέλου. Ως μέτρο της αποτελεσματικότητας του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ($Mcf/R2$), ο οποίος μετράει το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται από το μοντέλο και το οποίο μέτρο είναι ισοδύναμο με τον συντελεστή προσδιορισμού ($R2$) που δίνει η παλινδρόμηση. Οι συντελεστές (α, β) του γραμμικού μοντέλου (linear regression: $obs_i = \alpha_i + \beta_i est_i$) μεταξύ των πραγματικών παρατηρήσεων/ μετρήσεων ύψους (obs_i : observations) και των θεωρητικών τιμών (est : estimated/ predicted values) δίνουν ταυτόχρονα ένα δείκτη για την αποτελεσματικότητα ή αποδοτικότητα του μοντέλου (Amaro et al 1997, Eriksson et al 1997).

Οι δείκτες αυτοί υπολογίστηκαν από την ανάλυση των υπολοίπων που προέκυψαν με την εφαρμογή των εξισώσεων, τόσο των MacDill & Amateis, όσο και του αρχικού μοντέλου, πάνω στο ίδιο πακέτο δεδομένων και τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα III.

Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι η ποιότητα προσαρμογής, όσο και η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια του νέου μοντέλου, είναι στο ίδιο επίπεδο με αυτή του αρχικού μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη ταύτιση (σχεδόν) των καμπυλών των δυο συστημάτων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 1.

β) Με ηλικία αναφοράς $A_o = 50$ έτη δημιουργήθηκε μια νέα κλίμακα ποιότητας τύπου που δίνεται στον πίνακα IV. Η αλλαγή αυτή κατέστη αναγκαία για να δημιουργηθεί μια νέα κλίμακα ποιότητας τύπου εναρμονισμένη με αυτήν που εφαρμόστηκε στο δάσος Ταξιάρχη του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Διοίκηση Δάσους Ταξιάρχη 2013) και είχε ως στόχο

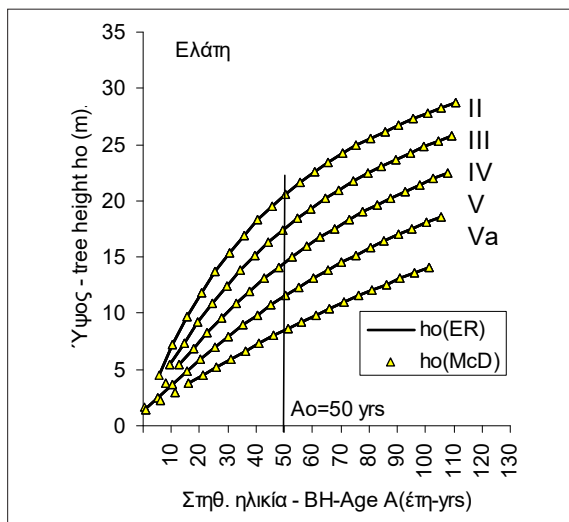
Πίνακας II: Αποτελέσματα παλινδρόμησης για την ανάπτυξη του συστήματος σταθμοδεικτικών καμπυλών ελάτης με τη βοήθεια του μοντέλου των McDill & Amateis

Table II: Estimated parameters and fit statistics for height growth modelling of Abies chephalonica stands with the help of McDill & Amateis model

Συντελεστής Parameter	Εκτιμητές Parameter estimates	Τυπικό σφάλμα Asymptot. std errors of parameters	Διάστημα εμπιστοσύνης Asymptotic 95 % conf. interval	Συντελεστής προσδιορισμού & Mean square
<i>Μη γραμμική διαδικασία παλινδρόμησης - non-linear regression model of McDill & Amateis</i>				
<i>M</i>	40,135	1,992	36,218 - 44,051	$R^2 = 0,98$
<i>a1</i>	1,072	0,028	1,018 - 1,126	MeanSq = 0,72

Πίνακας III: Αποτελέσματα ανάλυσης των υπολοίπων των μοντέλων του συστήματος σταθμοδεικτικών καμπυλών
Table III: Residual analysis results of the site index equations

Κριτήρια Criteria	Ιδεατές τιμές Ideal values	Model of McDill & Amateis	Αρχικό μοντέλο Model of Eriksson (Gatzojannis 2000)
<i>a) Ποιότητα προσαρμογής (δεδομένα ανάπτυξης των μοντέλων) - model fitting data set</i>			
Αριθμός παρατηρήσεων (<i>n</i>)		380	380
<i>MRes</i>	0	0,04	0,09
<i>AMRes</i>	0	0,57	0,57
<i>SSRes</i>	0	272,9	267,7
<i>R2</i>	1	0,98	0,97
<i>R2/Mef</i>	1	0,98	0,98
Mean Squares	0	0,72	0,70
Linear regression			
$r^2_{adj.}$	1	0,98	0,99
σ	0	0,075	0,0001
β	1	0,996	1,0091
<i>H0: normal</i>	Normal	Accept	Accept
Mean residual: $Mres = \sum_{i=1}^n \frac{(est_i - obs_i)}{n}$; Absolute mean residual: $AMRes = \sum_{i=1}^n \frac{ est_i - obs_i }{n}$ Residual sum of squares: $SSRes = \sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2$; Mean Squares=SSRes / <i>n</i> ; <i>R2</i> = Συντελεστής προσδιορισμού/coefficient of determination; Coefficient of determination model efficiency: $R2 / Mef = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_{pi} - h_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (h_{oi} - h_o^-)^2}$; Linear Regression: $obs_i = a_i + \beta_i est_i$. <i>obs</i> : Μετρήσεις ύψους - height measurements (<i>h_o</i>) - observations, <i>est</i> : θεωρητικές τιμές - predicted (<i>h_p</i>) - estimated) values for each tree (<i>i</i>).			



Σχήμα 1: Σύστημα σταθμοδεικτικών καμπυλών των συστάδων Ελάτης Ταϊγέτου (Καμπύλες παραγόμενες από τα μοντέλα των Eriksson (ho(ER)) και McDill & Amateis (ho(McD))

Figure 1: Site Index System for fir stands in Taygetos forest (height curves produced from the models of Eriksson (ho(ER)) και McDill & Amateis (ho(McD))

τη δημιουργία μιας ενιαίας, για όλα τα δασοπονικά είδη, «κλίμακας υποποιοτήτων» με τα χαρακτηριστικά που δίνονται στο σχήμα 1 και στον πίνακα IV. Διευκρινίζεται εδώ ότι το ενιαίο της κλίμακας αναφέρεται μόνο στην ηλικία αναφοράς και το εύρος των τιμών του δείκτη που ορίζει τα όρια των διαφόρων ποιοτήτων τύπου και δεν αφορά την πορεία εξέλιξης των υποκαμπυλών η οποία και παραμένει ανεξάρτητη και ιδιαίτερη για κάθε δασοπονικό είδος.

Το μοντέλο των McDill & Amateis και η τεχνητή αυτή κλίμακα χρησιμοποιήθηκαν για να διευκολύνουν τη σύγκριση της απόδοσης των σταθμών μεταξύ διαφόρων δασοπονικών ειδών χωρίς αυτή να συνδέεται ευθέως με την έννοια και το περιεχόμενο των διακρινόμενων μέχρι σήμερα ποιοτήτων τύπου από σταθμολογική άποψη. Για τους λόγους αυτούς χαρακτηρίζονται και οι εδώ διακρινόμενες ποιότητες τύπου ως «υποποιοότητες»¹, ενώ το περιεχόμενό τους, όσον αφορά την απόδοση των συστάδων και τις σταθμικές

¹ Η χρήση του όρου «Ποιότητες τύπου» στη συνέχεια της εργασίας έχει πάντοτε το νόημα των «Υποποιοτήτων», όπως εδώ ορίζονται.

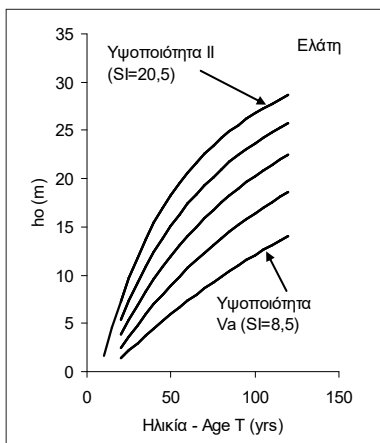
κατηγορίες που εκπροσωπούν, μέλει πλέον να προσδιοριστεί από τα στοιχεία απόδοσης των συστάδων, που θα ενταχθούν σε κάθε μια βαθμίδα της κλίμακας των υποποιοτήτων (Πίν. IV), καθώς και με πρόσθετες προς τούτο σταθμολογικές έρευνες. Στον πίνακα αυτόν δίνεται επίσης η αντιστοιχία των υποποιοτήτων με το αρχικό σύστημα ποιότητων τύπου.

Πίνακας IV: Κλίμακες ταξινόμησης των συστάδων σε Υποποιοτήτες (ΥΠ)
Table IV: Classification of forest stands in site qualities

Υποποιοτήτες (ΥΠ) - Site Qualities (SQ) =>	Ia	I*	II	III	IV	V	Va
Δείκτης ποιότητας τόπου (SI_{50}), ως ύψος στη στηθ. ηλικία αναφοράς $A_0 = 50$ έτη Site Index (height at breast height age $A_0 = 50$ yrs)	26,5 (25-28)	23,5 (22-25)	20,5 (19-22)	17,5 (16-19)	14,5 (13-16)	11,5 (10-13)	8,5 (7-10)
Αντιστοιχία με αρχικό σύστημα ποιότητων τόπου (Gatzojannis 2000)	-	-	I	II	III	IV	V

Η εκτίμηση τώρα του δείκτη ποιότητας τόπου γίνεται σημειακά ή σε επίπεδο δοκιμαστικών επιφανειών, κατά το δυνατόν μικρού μεγέθους, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια σταθμού στο εσωτερικό τους. Μετρήσεις στηθιαίας ηλικίας και ύψους (a_p, h_p) σε περιορισμένο αριθμό (τρία έως τέσσερα) κυρίαρχων ή/ και συγκυρίαρχων δένδρων κάθε ΔΕ επιτρέπουν τον υπολογισμό του SI_{50} για κάθε ζεύγος τιμών (a_p, h_p) με τη βοήθεια της εξίσωσης (3α).

Μεταωχηματίζοντας το σύστημα αυτό, έτσι ώστε στον άξονα των ηλικιών να έχουμε την πραγματική (T) αντί της στηθιαίας (A) ηλικίας, προκύπτει, σύμφωνα με τη σχέση που συνδέει τις δυο αυτές ηλικίες



Σχήμα 2: Η εξέλιξη του ανώτερου ύψους (h_0) συναρτήσει της ηλικίας (T) και του δείκτη ποιότητας τόπου (SI_{50}) ή της υποποιοτήτας τόπου (ΥΠ) των συστάδων Ελάτης Ταυγέτου.
Figure 2: Height growth of dominant trees of fir stands in Taygetos forest, by age (T) and site index (SI_{50})

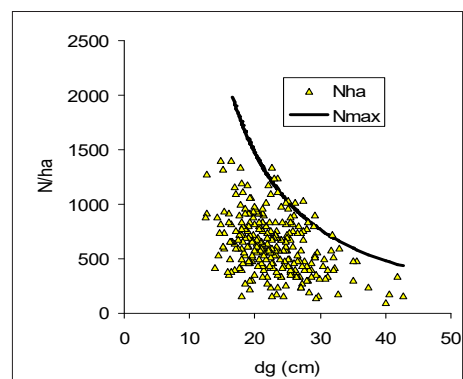
($T = A + 1,3 * (2,0689 + 105,9055/SI_{50})$, Gatzojannis, 2000), η δέσμη καμπυλών του σχήματος 2, που αποτελεί πλέον τη ζητούμενη Βασική σχέση I του συστήματος πινάκων παραγωγής.

Ταξινόμηση των συστάδων σε επίπεδα πυκνότητας: Η ταξινόμηση των συστάδων σε επίπεδα πυκνότητας βασίστηκε στην παραδοχή ότι, ο δείκτης

$SDI = N * (25/d_g)^{-1,605}$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο για τον σκοπό αυτόν και μάλιστα ανεξάρτητα από την ηλικία και την ποιότητα τόπου των συστάδων (Kramer, 1988). Το μέτρο αυτό έχει εφαρμογή όταν η σχέση (4), που συνδέει τον αριθμό κορμών (N) με τη μέση διάμετρο (d_g), μπορεί να εκφράσει με επιτυχία το μέγιστο επίπεδο πυκνότητας των συστάδων.

$$(4) \quad \ln(N) = b_0 - 1,605 * \ln d_g$$

Εφαρμόζοντας εναλλακτικές τιμές για τον συντελεστή b_0 στην εξίσωση αυτή τότε προκύπτει μια συνάρτηση $\ln N_{max} = 11,5 - 1,605 * \ln d_g$, η οποία είναι σε θέση να αντιπροσωπεύσει το αναμενόμενο μέγιστο επίπεδο πυκνότητας των συστάδων, όπως δείχνει η σχετική παράσταση στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Νέφος διασποράς των παρατηρήσεων ($d_g, N/ha$) και μέγιστο επίπεδο πυκνότητας (N_{max}) συστάδων, σε όρους αριθμού κορμών ανά εκτάριο
Figure 3: Scatter plot of the observations ($d_g, N/ha$) and maximum values of stand density, in term of number of stems per ha

Οι διαπιστώσεις αυτές έδωσαν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του SDI για τη διερεύνηση της σχέσης που συνδέει την κυκλική επιφάνεια (G) με το ανώτερο ύψος των συστάδων (h_o) και τον δείκτη SDI. Κατόπιν αυτού και με τη βοήθεια των παρατηρήσεων των δοκιμαστικών επιφανειών του δείγματος αναπτύχθηκε με γραμμικές διαδικασίες παλινδρόμησης η σχέση (5):

$$(5) G = b_0 + b_1 * SDI + b_2 * SDI / h_o, (n=284, R^2 = 0,98, F = 8035^{***}, SEE = 1,501),$$

όπου G: Η εγγάρσια κυκλική επιφάνεια των συστάδων (m^2/ha), h_o : Το ανώτερο ύψος των συστάδων (m), SDI: Ο δείκτης πυκνότητας συστάδων και οι συντελεστές της εξίσωσης $b_0 = -0,214$ ($t = -0,835^{**}$), $b_1 = 0,063$ ($t = 70,404^{***}$) και $b_2 = -0,195$ ($t = -14,294^{***}$).

Εισάγοντας στην εξίσωση αυτή την τιμή $SDI_{max} = 1100$, ως το σχετικά ανώτερο επίπεδο τιμών SDI, που παρατηρήθηκαν στο υλικό της έρευνας, προέκυψε η εξίσωση (6).

$$(6) G_{max} = -0,214 + 0,063 * 1100 - 0,195 * 1100 / h_o$$

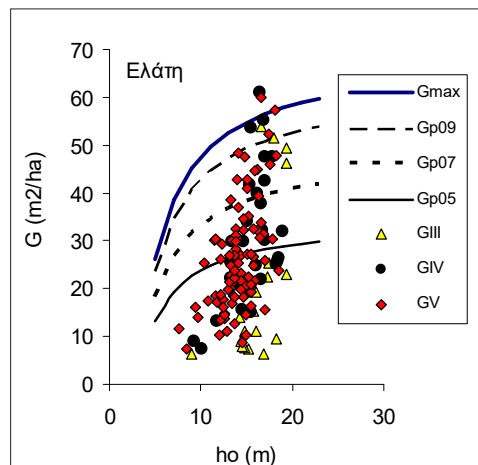
Η σχέση αυτή, εκφράζουσα το μέγιστο επίπεδο κυκλικής επιφάνειας (Σχήμα 4) που μπορούν να διατηρήσουν οι συστάδες στα διάφορα στάδια εξέλιξης (στα διάφορα ύψη), αποτέλεσε στη συνέχεια τον οδηγό για τη διαμόρφωση τριών επιπέδων πυκνότητας των συστάδων ($p_{09} = G_{p09} = 0,9 * G_{max}$, $p_{07} = G_{p07} = 0,7 * G_{max}$ και $p_{05} = G_{p05} = 0,5 * G_{max}$). Η διαβάθμιση αυτή, συνδεδεμένη και με αντίστοιχη διαβάθμιση των συστάδων από άποψη έντασης αραιώσεων, δίνεται αναλυτικά στον πίνακα V και στο σχήμα 4.

Το σύστημα αυτό ταξινόμησης έχει ως στόχο την ομαδοποίηση των συστάδων κατά αυξητικές σειρές, δηλαδή σύνολα συστάδων, όπου ο μελλοντικός χειρισμός μπορεί να διατηρηθεί ενιαίος τόσο από ποσοτική όσο και από ποιοτική άποψη. Το σύστημα αυτό αν και τεχνητό, εντούτοις αποκτά οικολογική/βιολογική και δασοκομική σημασία με την εξέλιξη. Η καμπύλη G_{max} πρέπει να εκφράσει τον «φυσιολογικό βαθμό ξυλοβρίθειας» (Assmann 1970) που αποκτούν συστάδες κανονικά αυξανόμενες και

κάτω από αδιατάρακτες συνθήκες (χωρίς κανένα δασοκομικό χειρισμό). Η καμπύλη αυτή αποτελεί, μάλιστα, ένα είδος «οροφής» για την κυκλική επιφάνεια, που μπορούν να επιτύχουν όλες οι συστάδες Ελάτης, ανεξάρτητα από την ποιότητα του σταθμού, όπου αυτές αναπτύσσονται, όπως αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.

Η καμπύλη $G_{max} = f(h_o, SDI_{max})$, αν και πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο ιδιαίτερης έρευνας, ώστε να πιστοποιηθεί με βεβαιότητα η εγκυρότητά της από βιολογική/οικολογική άποψη, εντούτοις δεν αποκλείει την επιχειρούμενη εδώ κατάταξη των συστάδων, δεδομένου ότι η κυκλική επιφάνεια (G) είναι ένα μέγεθος που μπορεί, στην πορεία αύξησης των συστάδων, να ρυθμίζεται επιθυμητά και ανάλογα με τους διαχειριστικούς και δασοκομικούς σχεδιασμούς.

Βοηθητικές σχέσεις των πινάκων παραγωγής:
Από τη στατιστική διερεύνηση του υλικού των δο-



Σχήμα 4: Νέφος διασποράς κυκλικής επιφάνειας (GIII, GIV, GV) συστάδων Ελάτης διαφορετικής υψοπιότητας (III,IV,V), συναρτήσει του ανώτερου ύψους (h_o) και ανάπτυξη καμπυλών τριών επιπέδων πυκνότητας Gp09, Gp07 και Gp05

Figure 4: Basal area of fir stands with different site quality (GII, GIV, GV) in relation to dominant height (h_o) and growth curves for three density levels (Gp09, Gp07 and Gp05)

Πίνακα V: Κατηγορίες έντασης αραιώσεων και σύνδεσή τους με επίπεδα πυκνότητας συστάδων Ελάτης (p09,p07,p05)
Table V: Intensity of thinning in connection of the density levels (p09,p07,p05) of fir stands

Κατηγορίες αραιώσεων – intensity of thinning	Επίπεδα πυκνότητας των συστάδων (p)
Συστάδες ασθενούς αραιώσης (weak thinning)	p09 (Gp09): $G/G_{max} = 0,9$ (0,8 -> 1,0)
Συστάδες μέτριας αραιώσης (moderate thinning)	p07 (Gp07): $G/G_{max} = 0,7$ (0,6 -> 0,8)
Συστάδες εντατικής/ ισχυρούς αραιώσης (heavy thinning)	p05 (Gp05): $G/G_{max} = 0,5$ (0,4 -> 0,6)

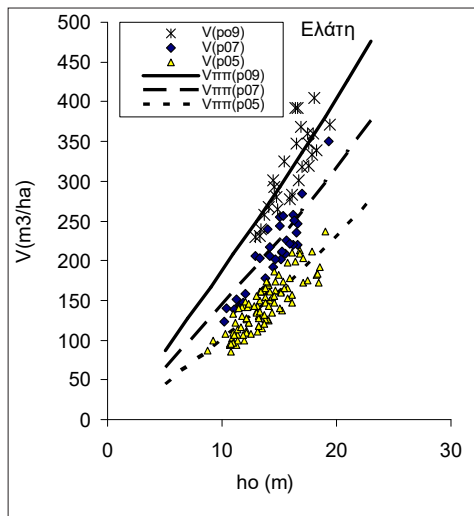
κιμαστικών επιφανειών προέκυψαν οι εξισώσεις (7), (8) και (9), οι οποίες συνδέουν βασικά δασοαποδοτικά μεγέθη (Ξυλαπόθεμα V, Μέσο ύψος h_m , και Μέση διάμετρο d_g) με την εξέλιξη του ανώτερου ύψους (h_o) και τις συνθήκες πυκνότητας (p) των συστάδων:

(7) $V = b_0 + b_1 \cdot p \cdot h_o + b_2 \cdot h_o^3$ ($n = 284, R^2 = 0,99, S.E.E. = 2,16, F = 189690^{***}, b_0 = -10,112$ ($t = -34,181^{***}$), $b_1 = 21,607$ ($t = 454^{***}$), $b_2 = 0,003154$ ($t = 26,69^{***}$))

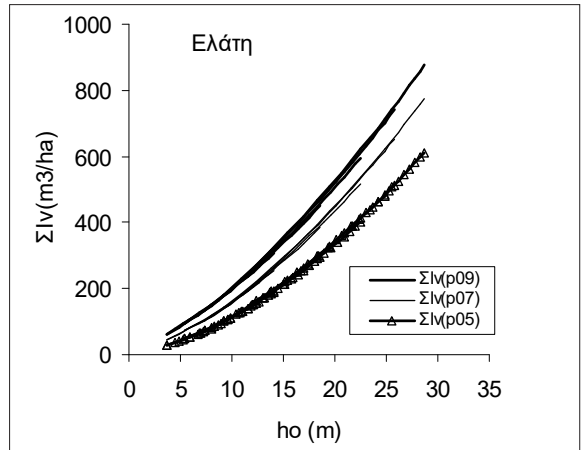
(8) $h_m = b_0 + b_1 \cdot h_o$ ($n = 284, R^2 = 0,96, S.E.E. = 0,45, F = 8317^{***}, b_0 = -2,224$ ($t = -14,98^{***}$), $b_1 = 0,985$ ($t = 91,203^{***}$))

(9) $D_m = b_0 + b_1 \cdot h_o + b_2 \cdot p \cdot Tk$ ($n=284, R^2=0,51, S.E.E.=3,58, F = 148^{***}, b_0 = 3,653$ ($t = 3,11^{**}$), $b_1 = 1,249$ ($t = 13.75^{***}$), $b_2 = 0,057$ ($t = 5,12^{**}$))

Μια εικόνα των βοηθητικών αυτών σχέσεων καθώς και της ανταπόκρισής τους στις πραγματικές παρατηρήσεις μας δίνει το διάγραμμα στο σχήμα 5. Εφαρμόζοντας σε κάθε συσταδικό τύπο χωριστά τη λογική των αυξητικών σειρών (της εξίσωσης 1) προκύπτει η συνολική απόδοση των συστάδων $\Sigma Iv = f(h_o, p)$, ως συνάρτηση του ανώτερου ύψους (h_o) και της πυκνότητας (p) των συστάδων, όπως εικονίζεται στο διάγραμμα του σχήματος 6.



Σχήμα 5: Νέφος διασποράς των παρατηρήσεων (h_o, V) των τριών επιπέδων πυκνότητας (p_{09}, p_{07} και p_{05}) συγκριτικά με τις καμπύλες Ξυλαποθέματος ($V_{\pi\pi}$) των πινάκων παραγωγής των αντίστοιχων επιπέδων πυκνότητας **Figure 5:** Stand volume (V): observations, $V_{\pi\pi}$: predicted values from yield tables in the three stand density levels of fir stands (p_{09}, p_{07}, p_{05})

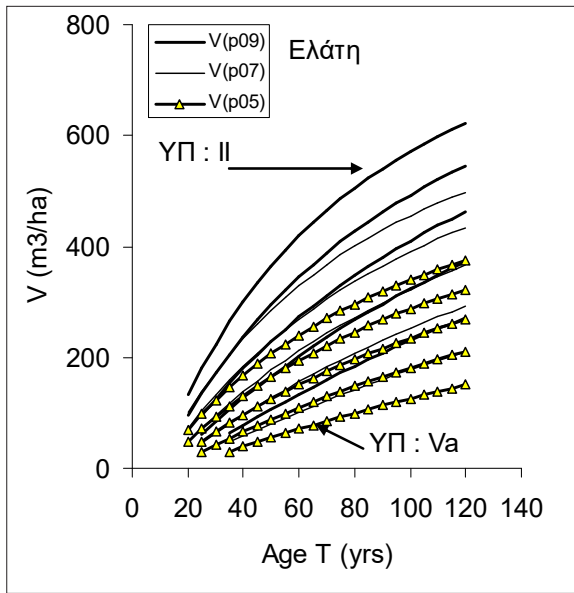


Σχήμα 6: Η εξέλιξη της συνολικής απόδοσης (ΣIv) συστάδων Ελάτης συναρτήσει του ανώτερου ύψους (h_o), για τρία επίπεδα πυκνότητας (p_{09}, p_{07}, p_{05})

Figure 6: Total yield in relation to dominant height of fir stands for three density levels (p_{09}, p_{07}, p_{05})

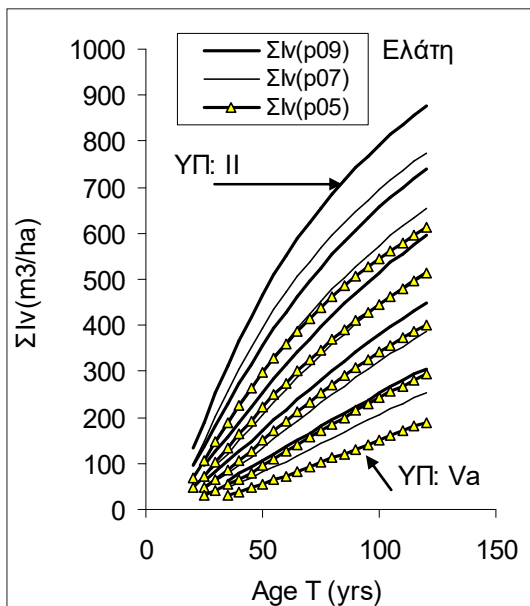
Οι τελικές σχέσεις του συστήματος: Από το συνδυασμό της βασικής σχέσης $I: h_o = f(T \& SI)$, όπως αυτή εικονίζεται στο σχήμα 2, και των παραπάνω βοηθητικών σχέσεων ($V, d_g, \Sigma Iv = f(h_o, p)$) προέκυψαν οι τελικές σχέσεις του συστήματος των πινάκων παραγωγής ($G, V, \Sigma Iv, Iv, Zu = f(T, SI, p)$), οι οποίες αποδίδουν την αναμενόμενη εξέλιξη και απόδοση των συστάδων (βλέπε διαγράμματα στα σχήματα 7, 8, 9 και 10) ως συνάρτηση πλέον της ηλικίας (T), της ποιότητας τόπου/ του δείκτη ποιότητας τόπου (SI) και της πυκνότητας ($p = G/G_{max}$) των συστάδων.

Οι Πίνακες Παραγωγής: Η πινακοποίηση των αποτελεσμάτων που εκπροσωπούν τα παραπάνω διαγράμματα οδηγούν στην κατάρτιση των ζητούμενων πινάκων παραγωγής. Στον πίνακα VI δίνονται οι πίνακες παραγωγής που προέκυψαν για τις αυξητικές σειρές: ACH/p09/II, ACH/p09/III, ACH/p09/IV, ACH/p09/V & ACH/p09/Va, δηλαδή για συστάδες ελάτης (ACH) κανονικής πυκνότητας $p = G/G_{max} = 0,9$ (0,8-1,0)/ ασθενούς αραίωσης, των υποποιότητων II, III, IV, V και Va αντίστοιχα. Η διαδικασία ανάπτυξης των πινάκων αυτών, καθώς και σχετικές επεξηγήσεις συμβόλων και σχέσεων δίνονται στο κείμενο που συνοδεύει τους εν λόγω πίνακες (Πίν. VI). Με τη διαδικασία που περιγράφεται στον πίνακα αυτόν μπορεί κανείς εύκολα να αναπαράγει τους πίνακες παραγωγής και των υπολοίπων αυξητικών σειρών, δηλαδή των συστάδων με $p = 0,7$ και $0,5$ και επιθυμητού δείκτη ποιότητας τόπου.



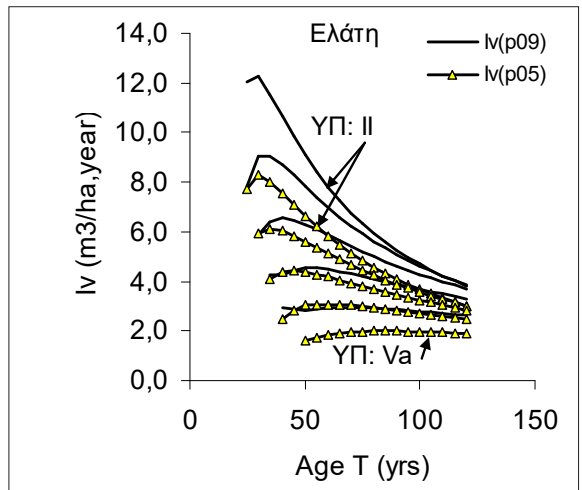
Σχήμα 7: Η εξέλιξη του ξυλαποθέματος συναρτήσει της ηλικίας και της υποποιότητας (ΥΠ) για τα τρία επίπεδα πυκνότητας (p09, p07, p05) των πινάκων παραγωγής των συστάδων Ελάτης

Figure 7: Development of stand volume (V) in relation to age and site quality for three density levels (p09, p05) of fir stands



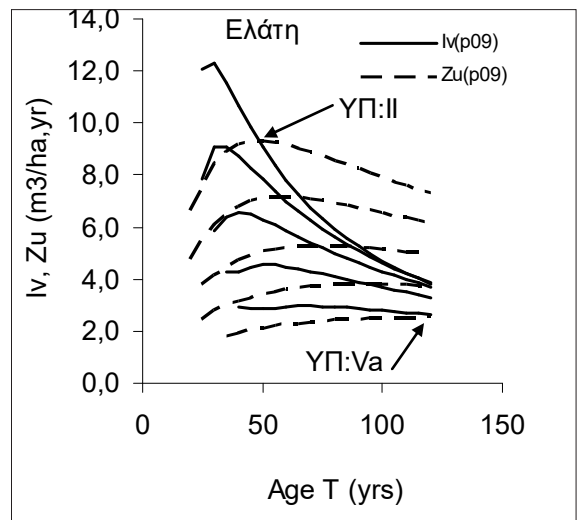
Σχήμα 8: Η εξέλιξη της συνολικής απόδοσης (ΣIv) συστάδων Ελάτης συναρτήσει της ηλικίας και της ποιότητας τόπου, για τα τρία επίπεδα πυκνότητας (p09, p07, p05)

Figure 8: Total yield in relation to age and site quality of fir stands for three density levels (p09, p07, p05)



Σχήμα 9: Η εξέλιξη της τρέχουσας προσαύξησης όγκου (Iv) συναρτήσει της ηλικίας και της υποποιότητας (ΥΠ) για τα επίπεδα πυκνότητας των συστάδων p09 και p05.

Figure 9: Annual volume increment (Iv) of fir stands in relation to stand age (T) and site quality for two stand density levels p09, p05



Σχήμα 10: Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης της τρέχουσας (Iv) και μέσης περιότρησης προσαύξησης (Zu) συστάδων ελάτης πυκνότητας p09, συναρτήσει της ηλικίας (T) και της υποποιότητας (ΥΠ)

Figure 10: Annual volume increment (Iv) and mean annual increment (Zu) of fir stands in relation to stand age (T) and site quality (ΥΠ) for the stand density level p09

Πίνακας VI: Πίνακες παραγωγής Ελάτης Ταυγέτου των συσταδικών τύπων ACH/p09/II, ACH/p09/III, ACH/p09/VI & ACH/p09/V (Συστάδες ελάτης κανονικής πυκνότητας/ αθηνούς αραίωσης $p = 0.9$ (0.8-1.0))

Table VI: Yield tables for fir stands in Taygetos forest (Stand density level $p = 0.9$)

p	SI₅₀	A	T	ho	hm	G	dg	V	N	Ndf	k	Vdf	Vdf%	ΣVdf	Vbef	ΣIv	Iv	Zu
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]
Υπονοϊότητα II - Site quality II (SI = 20.5 (19->22))																		
0,9	20,5	10,6	20	7,2	4,9	35,5	13,7	131,9	2401,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	131,9	131,9		6,6
0,9	20,5	15,6	25	9,7	7,3	42,2	17,0	180,5	1859,0	466,3	0,4	17,7	19,6	0,0	189,4	189,4	12,0	7,6
0,9	20,5	20,6	30	11,8	9,4	45,8	19,9	224,6	1468,4	328,3	0,4	20,2	18,0	17,7	234,7	252,4	12,3	8,4
0,9	20,5	25,6	35	13,7	11,3	48,1	22,6	264,5	1202,4	226,2	0,4	19,7	14,9	37,9	274,4	312,3	11,5	8,9
0,9	20,5	30,6	40	15,4	12,9	49,6	24,9	300,9	1016,1	160,9	0,4	18,6	12,3	57,7	310,2	367,9	10,7	9,2
0,9	20,5	35,6	45	16,9	14,4	50,8	27,1	334,2	880,6	118,7	0,4	17,3	10,3	76,2	342,8	419,1	9,8	9,3
0,9	20,5	40,6	50	18,3	15,8	51,6	29,1	364,7	778,6	90,5	0,4	16,1	8,8	93,5	372,7	466,2	9,1	9,3
0,9	20,5	45,6	55	19,5	17,0	52,3	30,8	392,8	699,7	70,9	0,4	15,0	7,6	109,6	400,3	509,9	8,4	9,3
0,9	20,5	50,6	60	20,6	18,1	52,8	32,5	418,7	636,9	56,8	0,4	14,0	6,7	124,6	425,7	550,3	7,8	9,2
0,9	20,5	55,6	65	21,6	19,1	53,3	34,0	442,7	586,0	46,5	0,4	13,1	5,9	138,6	449,2	587,8	7,3	9,0
0,9	20,5	60,6	70	22,6	20,0	53,6	35,4	464,9	544,0	38,7	0,4	12,3	5,3	151,7	471,1	622,8	6,8	8,9
0,9	20,5	65,6	75	23,4	20,8	53,9	36,7	485,6	508,6	32,7	0,4	11,6	4,8	164,0	491,4	655,4	6,3	8,7
0,9	20,5	70,6	80	24,2	21,6	54,2	38,0	505,0	478,6	28,0	0,4	11,0	4,3	175,6	510,4	686,0	5,9	8,6
0,9	20,5	75,6	85	24,9	22,3	54,4	39,1	523,0	452,7	24,2	0,4	10,4	4,0	186,5	528,2	714,8	5,6	8,4
0,9	20,5	80,6	90	25,6	23,0	54,6	40,2	539,9	430,2	21,1	0,4	9,9	3,7	197,0	544,8	741,8	5,3	8,2
0,9	20,5	85,6	95	26,2	23,6	54,8	41,2	555,7	410,4	18,7	0,4	9,4	3,4	206,8	560,5	767,3	5,0	8,1
0,9	20,5	90,6	100	26,8	24,1	55,0	42,2	570,6	392,9	16,6	0,4	9,0	3,2	216,3	575,1	791,4	4,7	7,9
Υπονοϊότητα III- Site quality III (SI = 17.5 (16->19))																		
0,9	17,5	9,44	20	5,4	3,1	26,3	11,4	95,1	2577,3						95,1	95,1		4,8
0,9	17,5	14,4	25	7,4	5,1	36,0	14,2	134,8	2288,1	348,3	0,2	4,9	7,3	0,0	137,3	137,3	7,9	5,5
0,9	17,5	19,4	30	9,2	6,9	41,2	16,7	171,7	1880,8	364,8	0,3	10,8	12,6	4,9	177,1	182,0	9,1	6,1
0,9	17,5	24,4	35	10,9	8,5	44,5	19,1	205,9	1558,5	281,4	0,3	12,7	12,3	15,7	212,2	227,9	9,1	6,5
0,9	17,5	29,4	40	12,4	10,0	46,6	21,2	237,6	1317,9	210,6	0,3	13,1	11,0	28,4	244,2	272,5	8,7	6,8
0,9	17,5	34,4	45	13,8	11,4	48,2	23,2	267,2	1137,2	159,6	0,3	12,9	9,7	41,4	273,6	315,1	8,3	7,0
0,9	17,5	39,4	50	15,1	12,7	49,4	25,1	294,7	998,7	123,4	0,3	12,5	8,5	54,4	301,0	355,3	7,8	7,1
0,9	17,5	44,4	55	16,3	13,8	50,3	26,8	320,4	890,3	97,5	0,3	12,0	7,5	66,9	326,5	393,3	7,4	7,2
0,9	17,5	49,4	60	17,4	14,9	51,1	28,4	344,5	803,7	78,5	0,3	11,6	6,7	78,9	350,3	429,2	7,0	7,2
0,9	17,5	54,4	65	18,4	15,9	51,7	30,0	367,1	733,3	64,4	0,3	11,1	6,0	90,5	372,6	463,1	6,6	7,1
0,9	17,5	59,4	70	19,3	16,8	52,2	31,4	388,3	675,0	53,6	0,3	10,6	5,5	101,5	393,6	495,2	6,2	7,1
0,9	17,5	64,4	75	20,2	17,7	52,6	32,7	408,3	626,2	45,2	0,3	10,2	5,0	112,1	413,4	525,5	5,9	7,0
0,9	17,5	69,4	80	21,0	18,4	53,0	34,0	427,1	584,7	38,6	0,3	9,7	4,6	122,3	432,0	554,3	5,6	6,9
0,9	17,5	74,4	85	21,7	19,2	53,3	35,2	444,9	549,0	33,3	0,3	9,4	4,2	132,0	449,5	581,6	5,3	6,8
0,9	17,5	79,4	90	22,4	19,9	53,6	36,3	461,7	518,0	29,0	0,3	9,0	3,9	141,4	466,2	607,6	5,1	6,8
0,9	17,5	84,4	95	23,1	20,5	53,8	37,4	477,6	491,0	25,5	0,3	8,7	3,6	150,4	481,9	632,3	4,8	6,7
0,9	17,5	89,4	100	23,7	21,1	54,0	38,4	492,7	467,0	22,6	0,4	8,4	3,4	159,1	496,8	655,9	4,6	6,6
Υπονοϊότητα IV - Site quality IV (SI = 14.5 (13->16))																		
0,9	14,5	7,82	20															
0,9	14,5	12,8	25	5,4	3,1	26,4	11,7	95,5	2466,7						95,5	95,5		3,8
0,9	14,5	17,8	30	6,9	4,6	34,2	13,8	125,1	2283,3						125,1	125,1	5,9	4,2
0,9	14,5	22,8	35	8,3	6,0	38,9	15,8	153,1	1980,7	287,6	0,3	5,6	7,3	0,0	156,0	156,0	6,4	4,5
0,9	14,5	27,8	40	9,6	7,2	42,1	17,7	179,7	1708,1	247,9	0,3	7,3	8,1	5,6	183,3	188,9	6,6	4,7
0,9	14,5	32,8	45	10,8	8,5	44,4	19,5	204,8	1484,9	201,2	0,3	8,0	7,8	12,9	208,8	221,7	6,5	4,9
0,9	14,5	37,8	50	12,0	9,6	46,1	21,2	228,6	1305,6	161,9	0,3	8,4	7,3	20,9	232,8	253,7	6,3	5,1
0,9	14,5	42,8	55	13,1	10,7	47,4	22,8	251,1	1161,2	131,0	0,3	8,5	6,8	29,3	255,3	284,6	6,1	5,2
0,9	14,5	47,8	60	14,1	11,6	48,5	24,3	272,5	1043,7	107,1	0,3	8,5	6,2	37,8	276,7	314,5	5,9	5,2
0,9	14,5	52,8	65	15,0	12,6	49,3	25,8	292,8	946,9	88,7	0,3	8,4	5,7	46,2	297,0	343,2	5,6	5,3
0,9	14,5	57,8	70	15,9	13,5	50,0	27,1	312,1	866,3	74,3	0,3	8,2	5,3	54,6	316,2	370,7	5,4	5,3
0,9	14,5	62,8	75	16,7	14,3	50,7	28,4	330,4	798,4	62,9	0,3	8,0	4,9	62,8	334,5	397,2	5,2	5,3
0,9	14,5	67,8	80	17,5	15,0	51,2	29,7	347,9	740,5	53,8	0,3	7,9	4,5	70,8	351,9	422,7	5,0	5,3
0,9	14,5	72,8	85	18,3	15,8	51,6	30,8	364,6	690,8	46,5	0,3	7,7	4,2	78,7	368,5	447,2	4,8	5,3
0,9	14,5	77,8	90	19,0	16,5	52,0	32,0	380,6	647,6	40,5	0,3	7,5	3,9	86,4	384,3	470,7	4,6	5,2
0,9	14,5	82,8	95	19,6	17,1	52,3	33,1	395,8	609,8	35,5	0,3	7,3	3,7	93,9	399,4	493,4	4,4	5,2
0,9	14,5	87,8	100	20,3	17,7	52,7	34,1	410,3	576,5	31,4	0,3	7,2	3,5	101,2	413,9	515,2	4,3	5,2

Υψοποιότητα V - Site quality V [SI = 11.5 (10->13)]																
0,9	11,5	5,34	20													
0,9	11,5	10,3	25	3,7	1,4	9,6	9,5	61,5	1353,6					61,5	61,5	2,5
0,9	11,5	15,3	30	4,8	2,5	22,1	11,2	83,9	2239,4					83,9	83,9	4,4
0,9	11,5	20,3	35	5,9	3,6	29,5	12,8	105,6	2282,7					105,6	105,6	4,3
0,9	11,5	25,3	40	7,0	4,6	34,5	14,4	126,4	2114,4					126,4	126,4	4,3
0,9	11,5	30,3	45	8,0	5,6	38,0	15,9	146,5	1907,2	201,8	0,2	3,1	4,3	0,0	148,1	148,1
0,9	11,5	35,3	50	8,9	6,6	40,6	17,4	165,9	1710,7	184,8	0,2	4,0	4,8	3,1	167,9	171,0
0,9	11,5	40,3	55	9,8	7,5	42,6	18,8	184,4	1537,6	160,9	0,2	4,6	4,9	7,1	186,7	193,9
0,9	11,5	45,3	60	10,7	8,3	44,2	20,1	202,3	1388,9	137,9	0,2	4,9	4,9	11,7	204,8	216,5
0,9	11,5	50,3	65	11,6	9,2	45,5	21,4	219,5	1261,8	117,8	0,3	5,2	4,7	16,6	222,0	238,7
0,9	11,5	55,3	70	12,3	9,9	46,5	22,7	236,0	1153,3	100,8	0,3	5,3	4,5	21,8	238,6	260,4
0,9	11,5	60,3	75	13,1	10,7	47,4	23,9	251,9	1060,2	86,7	0,3	5,4	4,3	27,1	254,6	281,6
0,9	11,5	65,3	80	13,8	11,4	48,2	25,0	267,2	979,9	75,0	0,3	5,4	4,1	32,5	269,9	302,4
0,9	11,5	70,3	85	14,5	12,1	48,9	26,2	281,9	910,1	65,3	0,3	5,5	3,9	37,9	284,7	322,6
0,9	11,5	75,3	90	15,2	12,7	49,5	27,2	296,2	849,2	57,2	0,3	5,4	3,7	43,3	298,9	342,2
0,9	11,5	80,3	95	15,8	13,4	50,0	28,3	309,9	795,6	50,5	0,3	5,4	3,5	48,8	312,6	361,4
0,9	11,5	85,3	100	16,4	13,9	50,4	29,3	323,1	748,3	44,7	0,3	5,4	3,3	54,2	325,8	380,1
Υψοποιότητα Va - Site quality Va [SI = 8.5 (7->10)]																
0,9	8,5	1,11	20													
0,9	8,5	6,11	25													
0,9	8,5	11,1	30													
0,9	8,5	16,1	35	3,7	1,5	10,7	10,1	62,9	1322,9					62,9	62,9	1,8
0,9	8,5	21,1	40	4,5	2,2	19,3	11,3	77,8	1915,6					77,8	77,8	2,9
0,9	8,5	26,1	45	5,2	2,9	25,4	12,5	92,3	2063,0					92,3	92,3	2,9
0,9	8,5	31,1	50	6,0	3,6	29,8	13,7	106,5	2031,9					106,5	106,5	2,9
0,9	8,5	36,1	55	6,7	4,3	33,2	14,8	120,4	1931,0	112,5	0,1	0,8	1,4	0,0	120,8	120,8
0,9	8,5	41,1	60	7,3	5,0	35,9	15,9	133,9	1806,9	125,5	0,1	1,4	2,1	0,8	134,6	135,5
0,9	8,5	46,1	65	8,0	5,7	38,1	17,0	147,1	1680,1	123,9	0,2	1,8	2,5	2,2	148,0	150,2
0,9	8,5	51,1	70	8,6	6,3	39,8	18,0	159,9	1559,2	116,2	0,2	2,1	2,7	4,0	161,0	165,1
0,9	8,5	56,1	75	9,3	6,9	41,3	19,1	172,5	1447,6	106,5	0,2	2,4	2,8	6,2	173,7	179,9
0,9	8,5	61,1	80	9,9	7,5	42,6	20,1	184,6	1346,2	96,4	0,2	2,6	2,8	8,6	186,0	194,6
0,9	8,5	66,1	85	10,4	8,1	43,7	21,1	196,5	1254,8	86,8	0,2	2,8	2,8	11,2	197,9	209,1
0,9	8,5	71,1	90	11,0	8,6	44,6	22,0	208,1	1172,6	78,0	0,2	2,9	2,8	14,0	209,6	223,6
0,9	8,5	76,1	95	11,6	9,2	45,5	23,0	219,4	1098,7	70,2	0,2	3,0	2,8	16,9	220,9	237,8
0,9	8,5	81,1	100	12,1	9,7	46,2	23,9	230,4	1032,3	63,2	0,2	3,1	2,7	20,0	231,9	251,9

Στοιχεία εισαγωγής: Στήλες [1]: Επίπεδο πυκνότητα συστάδας: $p = G/G_{max}$, [2]: Δείκτης ποιότητας τόπου (SI_{50}), [3]: Στηθαία ηλικία (A), [4]: Ηλικία συστάδας $T = A + 1,3 \cdot (2,0689 + 105,9055/SI_{50})$, [5]: Ανώτερο ύψος συστάδας (h_0).

Στοιχεία κυρίας συστάδας (χαρακτηρίζουν την πορεία αύξησης της συστάδας στο μέσο του διαστήματος μεταξύ δυο διαδοχικών αραιώσεων): Στήλες [6]: Μέσο ύψος συστάδας $hm(m) = -2,224 + 0,985 \cdot h_0$, [7]: Εγκάρσια κυκλική επιφάνεια $G = p \cdot (-0,214 + 0,063 \cdot SDI_{max} - 0,195 \cdot SDI_{max}/h_0)$, $SDI_{max} = 1100$, [8]: Μέση διάμετρος συστάδας $dg = 3,653 + 1,249 \cdot h_0 + 0,057 \cdot p \cdot T$, [9]: Το ζυλαπόθεμα συστάδων $V = G / (0,7854 \cdot dg^2 / 10000)$ και [16]: Το ζυλαπόθεμα των συστάδων πριν την αραιώση σε δεδομένη ηλικία t : $V_{bef}(t) = V(t) + 0,5 \cdot V_{df}(t)$.

Στοιχεία αραιώσεων: Στήλες [11]: Αριθμός κορμών (N_{df}) που απομακρύνεται με τις αραιώσεις σε ηλικία T (και για διάστημα 5ετίας), προσδιοριζόμενος από την με το χρόνο επερχόμενη απομείωση του αριθμού κορμών (στήλη 10) των συστάδων: $N_{df}(t) = (N(t-5) - N(t+5))/2$, [12]: Συντελεστής διόρθωσης του Magin: $k = (N_{df}/N)^b$, όπου $b = LN(N^2/3000)/(c \cdot LN(V))$ και $c = 2,3$ και 4 για συστάδες με πυκνότητα $p = 0,9, 0,7$ και $0,5$ αντίστοιχα, [13]: Ο όγκος των ενδιαμέσων καρπώσεων: $V_{df} = N_{df} \cdot (V/N) \cdot k$, [14]: Το ποσοστό κάρπωσης των συστάδων για δεκαετή χρόνο περιφοράς: $V_{df}\% = 2 \cdot 100 \cdot V_{df}/V$, [15]: Αθροισμα των ενδιαμέσων καρπώσεων που πραγματοποιούνται από την ηλικία έναρξης ενδιαμέσων καρπώσεων μέχρι την ηλικία t ($\Sigma V_{df}(t) = \Sigma V_{df}(t-5) + V_{df}(t-5)$).

Προσαύξηση και Συνολική απόδοση: Στήλες: [17]: Η συνολική προσαύξηση ή συνολική απόδοση των συστάδων ως άθροισμα του ζυλαποθέματος και των συνολικών ενδιαμέσων καρπώσεων που πραγματοποιούνται από την ίδρυση μιας συστάδας μέχρι μια ορισμένη ηλικία t : $\Sigma Iv(t) = V_{bef}(t) + \Sigma V_{df}(t)$, [18]: Η τρέχουσα προσαύξηση όγκου των συστάδων $Iv(t) = (\Sigma Iv(t+5) - \Sigma Iv(t-5)) / 10$ ($m^3/ha, yr$), [19]: Η μέση (ετήσια) προσαύξηση των συστάδων που προκύπτει από το ηλικίο της συνολικής προσαύξησης προς το χρόνο που χρειάστηκε αυτή για να παραχθεί: $Zu(t) = \Sigma Iv(t) / t$. Όταν ο χρόνος t ταυτίζεται με τον χρόνο τελικής κάρπωσης των συστάδων (τον περίτροπο χρόνο, $t = u$) τότε η προσαύξηση αυτή καλείται και μέση περίτροπη προσαύξηση, εκφράζουσα ταυτόχρονα και το παραγωγικό δυναμικό των συστάδων που ταξινομούνται στην αυξητική σειρά του αντίστοιχου πίνακα παραγωγής.

$p =$ Stand density, $SI_{50} =$ Site Index (for base age $A_0 = 50$ yrs), $A = bh$ age (yrs), $T =$ Age (yrs), $h_0 =$ Height of WEISE's top height tree in m, $hm =$ Height of average basal area tree in m, $G =$ basal area in m^2/ha , $dg =$ Diameter of average basal area tree in cm, $V =$ Stand volume in m^3 , $N =$ Number of stems/ha, $k =$ Correction factor, $\Sigma Iv =$ Total yield in m^3/ha , $Iv =$ Annual volume increment in $m^3/ha, yr$, $Zu =$ mean annual volume increment in $m^3/ha, yr$.

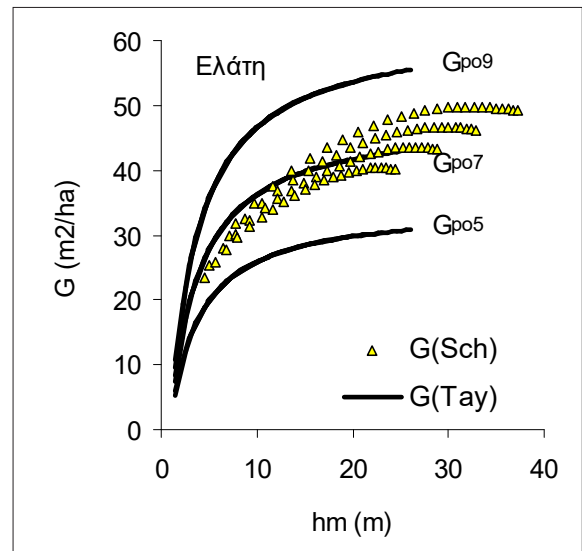
ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύστημα των πινάκων παραγωγής, που δημιουργήθηκε στην εργασία αυτή, είναι το πρώτο ολοκληρωμένο μοντέλο πρόβλεψης της απόδοσης για ομίλκα δάση ελάτης της χώρας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθιστούν πλέον δυνατή την πρόβλεψη της μελλοντικής εξέλιξης και της απόδοσης των συστάδων, όταν γι' αυτές είναι διαθέσιμα τα ακόλουθα στοιχεία: η στηθαία ηλικία (A), το ανώτερο ύψος (h_0) και η κυκλική επιφάνεια (G). Το σύστημα των πινάκων παραγωγής που αναπτύχθηκε έχει την ικανότητα προσαρμογής και πρόβλεψης κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες των συστάδων. Η ιδιότητα αυτή και ειδικά η συμμετοχή της πυκνότητας των συστάδων στα στοιχεία εισαγωγής, αποτελεί σήμερα ένα πλεονέκτημα έναντι των κλασικών πινάκων παραγωγής, αφού εξασφαλίζει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης παραμέτρων του συνόλου των δασικών λειτουργιών (Gatzojannis et al 2001) και όχι μόνο της ξυλοπαραγωγής, στη διαχείριση των δασών. Η δυνατότητα αυτή διευκολύνει την αναγκαία διεύρυνση της αιφορίας των δασών, έτσι ώστε αυτή να καλύψει το σύνολο των δασικών λειτουργιών, όπως ορίζουν σχετικές κατευθυντήριες γραμμές της ΕΕ (European Community 1993, Mäkelä et al 2012, Franklin et al 2012).

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης των μοντέλων που μας οδήγησαν στην κατάρτιση των πινάκων παραγωγής, προκύπτει ότι το σύνολο των εξισώσεων, τόσο των σχέσεων ταξινόμησης, όσο και των βοηθητικών εξισώσεων του συστήματος, είναι στατιστικά σημαντικές (κριτήριο F), οι συντελεστές αυτών διάφοροι του μηδενός (διάστημα εμπιστοσύνης ή κριτήριο t), με καλή ποιότητα προσαρμογής (R^2) και ικανοποιητική ακρίβεια (κριτήρια SEE: τυπικό σφάλμα εκτίμησης και Mean Squares: Μέσα τετράγωνα). Τα θετικά αυτά αποτελέσματα επικυρώνονται και από το τελικό αποτέλεσμα των πινάκων παραγωγής, ως αυξητικών πλέον προτύπων, δηλαδή από τις καμπύλες προσαύξησης (ΣΙv, Iv, Zu). Αυτές ανταποκρίνονται στους νόμους αύξησης και σε βασικές απαιτήσεις της δασικής αποδοτικότητας (Kramer, 1998, Assmann, 1970). Οι καμπύλες συνολικής προσαύξησης (Σχήμα 8) εκκινούν πχ. από το σημείο μηδέν, έχουν σιγμοειδή μορφή και διαβαθμίζονται κατά τρόπο ώστε οι παράγωγες αυτών καμπύλες τρέχουσας προσαύξησης, σε συνδυασμό και με αυτές της μέσης προσαύξησης, να εμφανίζουν την κλασική εικόνα που προκύπτει από τα διαγράμματα των σχημάτων 9 και 10. Έχουμε,

δηλαδή, πτώση των καμπυλών σε κατώτερα επίπεδα και μετατόπιση του σημείου μεγιστοποίησης αυτών προς τα δεξιά, όσο η ποιότητα τύπου χειροτερεύει, ενώ τα σημεία τομής μεταξύ τρεχουσών και μέσων προσαύξεσεων ταυτίζονται με τα σημεία μεγιστοποίησης των τελευταίων (Σχ.10, Πίν. VI).

Συγκρίνοντας τώρα τα αποτελέσματα της εργασίας με τα δεδομένα των πινάκων παραγωγής ελάτης της Γερμανίας (Schober 1975) προκύπτει ότι η εξέλιξη της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας, συναρτήσει του μέσου ύψους των συστάδων, δείχνει, στις δυο αυτές περιπτώσεις, συγκεκριμένες ομοιότητες και αντιστοιχίες (Σχ. 11). Αποδεχόμενοι ότι η εξέλιξη της κυκλικής επιφάνειας (G) μπορεί να αποτελέσει τη βάση αναφοράς, για την αξιολόγηση της έντασης των αραιώσεων, τότε μπορούμε να παραβάλουμε (για ένα ευρύ φάσμα τιμών h_m) τις συστάδες μέτριας αραιώσης των συστάδων ελάτης της Γερμανίας G(Sch), με αυτές μέτριας αραιώσης (Gp07) των συστάδων Ταϊγέτου G(Tay)(Σχ. 11). Αυτές οι αντιστοιχίες αποτέλεσαν και τη βάση για την επιλογή (στην εξίσωση 2) των τιμών του παράγοντα $c = 2, 3$ και 4 για συστάδες των δασών ελά-



Σχήμα 11: Η εξέλιξη της εγκάρσιας κυκλικής επιφάνειας G(Tay) των συστάδων Ελάτης Ταϊγέτου (Gp09, Gp07, Gp05) σε σύγκριση με τις προβλέψεις των πινάκων παραγωγής του Schober για μέτρια αραιώση G(Sch)

Figure 11: The development of basal area G(Tay) in relation to mean height (hm) of fir stands in Taygetos forest (Gp09, Gp07, Gp05) in comparison to the yield tables of Schober G(Sch)

της με πυκνότητα p09, p07 και p05 αντίστοιχα, με τη διευκρίνιση ότι, ο παράγοντας c είναι πάντοτε μια μεταβλητή που πρέπει να ελέγχεται στην πορεία αύξησης των συστάδων και να αναπροσαρμόζεται ανάλογα με το χειρισμό στον οποίο υποβάλλονται αυτές (βλέπε πίνακα VI). Επισημαίνεται επίσης ότι

για αλλαγή του c κατά μια μονάδα προκύπτουν μεταβολές στη συνολική απόδοση των συστάδων (ΣΙv) που είναι της τάξης του 5 %, με διακύμανση από 1 έως 10 % ανάλογα με το ύψος των ενδιαμέσων καρπώσεων που πραγματοποιούνται σε κάθε συσταδικό τύπο.

Yield tables for fir stands of Taygetos forest, Greece

Stylios Gatzojannis*

ABSTRACT

The construction of an integrated yield tables system for *Abies chephalonica* even aged stands at the forest of Taygetos is the aim of the present paper. The research material came from stem analysis data and temporary sample plots. The development of the system was based on the investigation of the basic yield relations which rule the growth of pure even-aged stands and on the theory of Magin's growth series. The results, in the form of models, diagrams and tables, illustrate the development of the basic forest yield parameters of stands in relation to stand age, site quality and stand density. The entire system is characterized by flexibility and adaptability to the changing conditions of stands, whereas it gives the potential of simulating alternative treatments and different conditions of the stand growth. The gradation of the yield tables based on the stand density gives an opportunity, parameters from the areas outside the wood production, such as landscape, aesthetics and protection functions (wildlife, erosion, forest fire, filtration in air and soil), to be considered in the sustainable planning.

Key words: *Abies chephalonica*, site index, stand density, growth and yield, growth series, forest management.

*Doctor of Forestry. Forest Research Institute.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amaro, A., Reed, D., Tomé, M., & Themido, I. 1997. Modelling Dominant Height Growth: Eucalyptus Plantations in Portugal. *For. Sci.* 44: 37-46.
- 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.
- Eriksson, H., Johansson, U. & Kiviste, A. 1997. A Site-index Model for Pure and Mixed Stands of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 12: 149-156.
- European Community 1993. General Guidelines for the sustainable management of forests in Europe. Ministerial Conference on the protection of forests in Europe (16-17 June 1993 in Helsinki).
- Franklin, O., Moltchanova Elena, Kraxner, F., Seidl, R., Böttcher, H., Rokityansky, D., Obersteiner, M., 2012. Large-Scale Forest Modelling: Deducing Stand Density from Inventory Data. *International Journal of Forestry Research*. Volume 2012. Article ID 934974, 13 pages.
- Gatzojannis, S., 1998. Ertragstafeln für Buchenbestände in Griechenland. *Allg.Forst-u.J.-Ztg.*, 12:219-224.
- Gatzojannis, S. 1999a. Ertragstafeln für Fichtenbestände Griechenlands. *Forstw. Cbl*, 118: 129-144.
- Gatzojannis, S. 1999b. Ertragstafeln für Schwarzkiefernbestände in Griechenland. *Forstarchiv* 70: 98-102.
- Gatzojannis, S. 2000. Site index Modell for *Abies Cephalonica* in the Taygetos Forest in Greece. *Scandinavian Journal for Forest Research*.15:326-333. (Σύστημα δεικτών ποιότητας τόπου για την κεφαλληνιακή ελάτη των δασών Ταυγέτου).
- Gatzojannis, S., Stefanidis, P., Kalabokidis, K. 2001. An inventory and evaluation methodology for non-timber functions of forests. *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau. Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie* 2001, s. 49.
- Kramer, H., 1988. *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul – Parey, Hamburg und Berlin. S. 374.
- Magin, R., 1963. Standortsgerechte Ertragsermittlung als Teil der Forsteinrichtung. *AFZ* 18, S. 128-130.
- Mäkelä, A., Miren del Rvo, Hynynen, J., Hawkins, M., Reyer, C., Soares, Paula, Oijen, M., Tome, Margarida, 2012. Using stand-scale forest models for estimating indicators of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 285, 164 – 178.
- Marschall, J., 1975. *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*. Österreichischer Agrarverlag Druck- und Verlagsges. m.b.H, Nfg. KG, Sturzgasse IA, A-1141. Wien.
- McDill, M. E., Amateis, R. L., 1992. Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function. *For. Sci.* 38, 409–429
- Panagiotidis, N. 1965. Die Tannenplenterwälder in Griechenland. *Forstwiss. Forschungen*. Heft 21. 97pp. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Schober, R., 1975. *Ertragstafeln wichtiger Baumarten*. Frankfurt /M.
- Απατσίδης, Λ., 1990. Ανακατάρτιση των δεκαμερών συστημάτων ογκομετρικών και προσαυξητικών πινάκων της Ελάτης και της Μαύρης πεύκης και των συστημάτων ποιότητας τόπου αυτών και της οξυάς μας. *Πρακτικά Συνεδρίου ΕΔΕ*, σελ. 309-339.
- Γκατζογιάννης, Σ. 1998. Αύξηση και απόδοση των συστάδων Δασικής πεύκης Ελατιάς Δράμας. *Γεωτ. Επιστ. Θέματα*, 3:21-35.
- Διοίκηση Δάσους Ταξίαρχη, 2013. Σχέδιο Διαχείρισης του Πανεπιστημιακού Δάσους Ταξίαρχη – Βραστάμων, περιόδου 2013 - 2023.
- Ντάφης, Σ., 1973. Ταξινομήσεις της δασικής βλάστησης στην Ελλάδα. *Επιστημονική Επετηρίδα Γεωπονικής και Δασολογικής Α.Π.Θ.* 15:75-90.
- Παναγιωτίδης Ν., 1978. Η αυξητική και οικονομική ώριμη διάμετρος στα ελάτινα δάση της Ελλάδας (Με 5 απεικονίσεις και 11 πίνακες). *Ανακοίνωση ΙΔΕΑ*, 1978, (2): 211-254.
- Ταμείο Πανεπιστημιακών Δασών, 1989. *Διαχειριστικό σχέδιο Πανεπιστημιακού δάσους Πετρουλίου 1989 -1998*.

Νέες τάσεις στη Δασική Οικονομική: η περίπτωση της Κοστολόγησης Ροής Υλικών

Κωνσταντίνος Γ. Παπασπυρόπουλος & Δημήτριος Καραμανώλης*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Δασική Οικονομική είναι μια εφαρμοσμένη επιστήμη των οικονομικών η οποία παραδοσιακά, από τον 19^ο αιώνα, έχει ασχοληθεί με την εκτίμηση του οικονομικά βέλτιστου χρόνου υλοτομίας μιας συστάδας για μεγιστοποίηση της αξίας του δάσους. Από το 2003 και μετά γίνεται προσπάθεια να διευρυνθεί το επιστημονικό πεδίο της Δασικής Οικονομικής εμπλέκοντας αντικείμενα, μεταξύ πολλών άλλων, από την Λογιστική ή την Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη. Σε αυτή την κατεύθυνση κινείται η παρούσα εργασία. Αρχικά παρουσιάζεται ένα μέρος των νέων τάσεων στη Δασική Οικονομική επιστήμη, ενώ στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση της μεθόδου της Κοστολόγησης Ροής Υλικών. Η μέθοδος αυτή εμφανίστηκε πρόσφατα στο χώρο της περιβαλλοντικής επιστήμης και θεωρείται τμήμα της Περιβαλλοντικής Διοικητικής Λογιστικής. Στόχος της είναι να υποβοηθήσει τη βιομηχανία, τις εταιρίες και οργανισμούς, ή τις εφοδιαστικές αλυσίδες στο να διαχειριστούν με οικολογικά και οικονομικά αποδοτικό τρόπο τις εισροές της παραγωγικής διαδικασίας (υλικά, ενέργεια), ώστε αυτή να παράγει λιγότερες μη επιθυμητές εκροές. Η παρούσα εργασία επεξηγεί γιατί η Κοστολόγηση Ροής Υλικών είναι μια σχετική μέθοδος με τη Δασική Οικονομική και την επιστήμη της Δασολογίας γενικότερα, παρουσιάζοντας και ένα παράδειγμα εφαρμογής.

Λέξεις Κλειδιά: Περιβαλλοντική Κοστολόγηση, Δασική Υπηρεσία, Δειφορική Δασική Διαχείριση, Διαχείριση Υλικών και Ενέργειας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παραδοσιακή Δασική Οικονομική σκέψη στις ΗΠΑ, τον Καναδά, την Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη θεωρεί το δάσος ως ένα μακροπρόθεσμο κεφαλαιουχικό αγαθό για το οποίο πρέπει να εκτιμηθεί η χρονική εκείνη στιγμή που η υλοτομία του θα αποφέρει στον ιδιοκτήτη τη μεγιστοποίηση της ωφέλειας σε αυτόν, δηλαδή ο οικονομικά άριστος περίτροπος χρόνος (Brazee, 2003). Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα ο γερμανός δασολόγος Gottlieb Konig προσπάθησε να δημιουργήσει μια οικονομική θεωρία γύρω από το θέμα του βέλτιστου περίτροπου χρόνου (Στάμιου, 1985), αλλά δεν τα κατάφερε αφού δεν συμπεριέλαβε την έννοια του κόστους ευκαιρίας της γης στο μοντέλο του (Amacher et al., 2009). Το 1849 ο επίσης γερμανός δασολόγος Martin Faustmann δημοσίευσε τη δική του εκδοχή στο παραπάνω πρόβλημα, δείχνοντας ότι ως βέλτιστος περίτροπος χρόνος οποιαδήποτε συστάδας μπορεί να επιλεγεί εκείνος που μεγιστοποιεί την καθαρή παρούσα αξία της γης (Faustmann, 1849). Ο Max Pressler και ο Bertil Ohlin

απέδειξαν αργότερα με μαθηματικές μεθόδους το μοντέλο του Faustmann και γι αυτό και οι τρεις αυτοί επιστήμονες (Faustmann-Pressler-Ohlin) θεωρούνται οι ιδρυτές της παραδοσιακής Δασικής Οικονομικής σκέψης (Amacher et al., 2009). Ο Νομπελίστας οικονομολόγος Paul Samuelson επιβεβαίωσε την ορθότητα της προσέγγισης του Faustmann (Samuelson, 1976), ενώ ο Hartman (1976) συμπεριέλαβε στο μοντέλο του Faustmann τη δυνατότητα να λαμβάνει υπόψη του αυτό την παραγωγή επιπλέον προϊόντων από το δάσος.

Ο Kant (2003), αλλά και μετέπειτα μια σειρά από εκδόσεις που αφορούν την επιστήμη της Δασικής Οικονομικής (Kant 2013, Kant και Alavalapati 2014), θεωρούν ότι τα παραπάνω μοντέλα ερμηνεύουν τη δασική διαχείριση από την άποψη της μεγιστοποίησης μόνο της καθαρής παρούσας αξίας του εδάφους και στηρίζονται στη νεοκλασική οικονομική θεωρία, η οποία έχει ως πρότυπο το ορθολογικό άτομο (Chicago man) που κάνει πάντα τις σωστές επιλογές. Όμως, μια τέτοια κατάσταση απλοποιεί

* Εργαστήριο Δασικής Οικονομικής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, ΤΘ 242, 54124, +302310992341, fax: +302310992695, e-mail: kodafype@for.auth.gr

πολύ τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λαμβάνονται οι αποφάσεις και δεν ταιριάζει στις πραγματικές συνθήκες. Η νεοκλασική οικονομική θεώρηση της Δασικής Οικονομικής ταίριαζε κυρίως στην εποχή της διαχείρισης του δάσους που είχε ως στόχο την επίτευξη του μέγιστου αειφορικού ξυλώδους λήμματος (Kant, 2004). Τώρα πια, όμως, η σύγχρονη ανάγκη για αειφορική διαχείριση των δασών μέσω μιας δασοπονίας πολλαπλών σκοπών δημιουργεί την απαίτηση για εκσυγχρονισμό της Δασικής Οικονομικής επιστήμης (Kant και Lee, 2004). Άλλοι κλάδοι της οικονομικής επιστήμης, όπως η συμπεριφορική οικονομική, μπορούν να ερμηνεύσουν καλύτερα τις επιλογές των ατόμων και να επηρεάσουν τη λήψη αποφάσεων στο κομμάτι της διαχείρισης των δασών (Kant και Alavalapati, 2014).

Σε αυτήν την κατεύθυνση έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια σημαντικές προσπάθειες διεύρυνσης της Δασικής Οικονομικής εξετάζοντας θέματα, μεταξύ άλλων, που σχετίζονται με τη Λογιστική σε μέγρο- (Gundimeda, 2014) και μικρο- (Παπασπυροπούλου 2010, Papaspyropoulos et al. 2012) οικονομικό επίπεδο, την Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη (Li και Toppinen, 2011), την Κλιματική Αλλαγή (van Kooten et al. 2014, Λαζαρίδου κ.ά. 2015), τη Δασική Βιομάζα (Lal και Alavalapati, 2014), την Καινοτομία (Trigkas et al., 2012) καθώς και τη Δασική Πιστοποίηση (Papadopoulos et al. 2010, Toppinen et al. 2014).

Ο Nautiyal (2012) χωρίζει τη Δασική Οικονομική επιστήμη σε δύο επιμέρους κλάδους: α) τη Δασική Οικονομική με έμφαση στη Βιομηχανία, και β) τη Δασική Οικονομική με έμφαση στη Διαχείριση του δάσους. Η πρώτη ασχολείται με την μελέτη της παραγωγής ξυλείας από τα δάση και τη μετατροπή της σε χρήσιμα προϊόντα, ενώ η δεύτερη με την παραγωγή όλων των προϊόντων του δάσους, όπως ξυλεία, θηράματα, νερό, ή αναψυχή. Στην Ελλάδα, η Δασική Οικονομική, όπως διδάχτηκε τα τελευταία 30 χρόνια στους φοιτητές Δασολογίας από το βιβλίο του Στάμου (1985), αναλύει θέματα που ανήκουν και στους δύο παραπάνω κλάδους. Για παράδειγμα τα μαθήματα κοστολόγησης της ξυλείας, ή αμοιβής της εργασίας, μπορούν να αντιστοιχηθούν στον πρώτο κλάδο, ενώ τα μαθήματα Ανάλυσης Κόστους-Οφέλους στον δεύτερο. Υπάρχει μια μεγαλύτερη κατανομή μαθημάτων στον πρώτο κλάδο, ενώ σε σχέση με τη διεθνή βιβλιογραφία, δεν δίνεται τόση έμφαση στο μοντέλο του Faustmann. Κάτι τέτοιο, όμως, μοιάζει λογικό αφού στη χώρα το δάσος δι-

αχειρίζεται με έναν συνδυασμό του οικονομικά με τον βιολογικά άριστο περίτροπο χρόνο (Καραμανώλης και Καρτέρης, 2011), ενώ πρόσφατα (Αλμπάνης κ.ά. 2014) εκδόθηκε οδηγός εκτίμησης της αξίας της γης για τα ελληνικά δασικά οικοσυστήματα. Σε αυτό μπορεί να έπαιξε ρόλο και το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ελληνικών δασών είναι δημόσια (Στάμου, 1985), κάτι που ίσως μείωσε την ανάγκη της Πολιτείας να εμπορευτεί δασοσυστάδες και να εκτιμήσει με κάποιο οικονομικό μοντέλο την καθαρή παρούσα αξία της δασικής γης. Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται ότι στην Ελλάδα είναι αρκετά γόνιμο το έδαφος για να ασχοληθούν οι δασο-οικονομολόγοι με θέματα που ξεφεύγουν του μοντέλου του Faustmann.

Για το λόγο αυτό στην παρούσα εργασία προτείνεται η προσθήκη μιας ακόμα μεθόδου στην ευρεία γκάμα της μετά-Faustmann Δασικής Οικονομικής (όρος του Kant (2013)). Πρόκειται για τη μέθοδο της Κοστολόγησης Ροής Υλικών (Material Flow Cost Accounting) που ανήκει στον επιστημονικό κλάδο της Λογιστικής και ιδιαίτερα της Περιβαλλοντικής Διοικητικής Λογιστικής (Guenther et al., 2015). Η μέθοδος αυτή φαίνεται ότι μπορεί να υποβοηθήσει και τους δύο κλάδους της Δασικής Οικονομικής του Nautiyal (2012), και αυτό θα φανεί και στο παράδειγμα εφαρμογής που θα παρουσιαστεί στο τέλος του κεμένου. Πριν από αυτό, παρουσιάζονται μερικές από τις νέες τάσεις στη Δασική Οικονομική.

2. ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΑΣΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ

Ο Newman (2002) διαπίστωσε ότι στο χώρο της Δασικής Οικονομικής επιστήμης υπήρξε μια άνευ προηγουμένου προσήλωση στο μοντέλο του Faustmann μετά την επιβεβαίωση της εγκυρότητάς του από τον Samuelson (1976). Έτσι, βρήκε ότι μέχρι το 2001 είχαν δημοσιευτεί 313 εργασίες που χρησιμοποιούσαν το μοντέλο αυτό, άγχετα, όπως λέει ο Kant (2013), αν ταίριαζε ή όχι στην εργασία. Δημιουργήθηκε, λοιπόν, η ανάγκη για τη διεύρυνση των ορίων της Δασικής Οικονομικής. Αυτό έγινε τόσο από ερευνητές που υπηρετούν την παραδοσιακή δασική οικονομική, για παράδειγμα όπως οι εργασίες στον τόμο των Helles et al. (2003), όσο και από ερευνητές που εργάζονται για τη διεπιστημονική διεύρυνση της επιστήμης αυτής, όπως οι Kant et al. (2013). Στην πρώτη περίπτωση υπήρξαν ερευνητές που βρήκαν ότι δεν ισχύει πάντοτε ότι οι ιδιοκτήτες δασικής γης υλοτομούν τη συστάδα τους όταν το οριακό όφελος της καθυστέρησης υλοτομίας για ένα

χρόνο από τον αυξανόμενο ξυλώδη όγκο ισούται με το οριακό κόστος από την απώλεια τόκου του χρηματικού κεφαλαίου και του ενοικίου της γης, όπως υπαγορεύει το μοντέλο του Faustmann, αλλά υλοτομούν τη συστάδα τους όταν χρειάζεται να αγοράσουν ένα καινούριο Volvo (Brazee, 2003)! Δηλαδή, όταν θέλουν να αγοράσουν ένα φορτηγό μεταφοράς της ξυλείας, ή έχουν κάποιο άλλο μη δασοπονικό έξοδο και έχουν ανάγκη για ρευστότητα. Έτσι, δημιουργήθηκε η έννοια του θεωρήματος Volvo στην παραδοσιακή δασική οικονομική.

Στον αντίποδα, υπάρχει μεγάλη πια βιβλιογραφία που σχετίζεται με την προσπάθεια δασοοικονομολόγων και οικονομολόγων να εντάξουν διεπιστημονικά θέματα στη Δασική Οικονομική τα οποία σχετίζονται με την αειφορική διαχείριση των δασών από την πλευρά της παραγωγής πολλαπλών υπηρεσιών και μη ξυλωδών προϊόντων. Πιο πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η έκδοση των Kant και Alavalapati (2014) όπου παρουσιάζεται η διευρυνόμενη θεματολογία της Δασικής Οικονομικής. Αυτή διακρίνεται: α) στην οικονομική των δασικών οικοσυστημάτων, η οποία σχετίζεται με τις μεθόδους οικονομικής αποτίμησης αυτών (Boyle και Holmes, 2014) και τους μηχανισμούς πληρωμών για τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος, όπως η θήρα (Gong et al. 2014, Munn και Hussain 2014), β) στην οικονομική της κλιματικής αλλαγής και της βιοενέργειας, που σχετίζεται με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα (Sohnngen, 2014), αλλά και την επίδραση των δασικών οικοσυστημάτων στην μείωση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής (van Kooten et al., 2014), καθώς και σε θέματα που σχετίζονται με τον εφοδιασμό της αγοράς σε δασική βιομάζα (Lal και Alavalapati, 2014), γ) στην οικονομική των κινδύνων και φυσικών διαταραχών, δηλαδή την επίδραση των φυσικών φαινομένων, όπως οι δασικές πυρκαγιές (Amacher και Brazee, 2014), δ) στην οικονομική της δασικής ιδιοκτησίας και της δασικής πιστοποίησης, όπου συζητούνται θέματα που σχετίζονται με το πώς επιδρά η ιδιοκτησία στην αποδάσωση (Sills, 2014) και θέματα πιστοποίησης της αειφορικής διαχείρισης των δασών και της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης (Toppinen et al., 2014), και ε) ακόμα πιο νέα θέματα που σχετίζονται με τη λογιστική (Gundimeda, 2014), τη νεοθεσμική οικονομική (Wang et al., 2014), καθώς και μοντέλα από τη θεωρία παιγνίων που σχετίζονται με τη δασοπονία (Kumar και Kant, 2014).

Όλα τα παραπάνω, δείχνουν την ευρύτητα που

προτείνεται να έχει η Δασική Οικονομική. Με βάση την παραπάνω θεματολογία, παρουσιάζεται στη συνέχεια η μέθοδος της Κοστολόγησης της Ροής Υλικών, ως μεθοδολογία που εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της Λογιστικής επιστήμης, και επιδεικνύεται γιατί είναι άμεσα σχετική με το αντικείμενο της Δασικής Οικονομικής.

3. Η ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η Κοστολόγηση Ροής Υλικών (Material Flow Cost Accounting) είναι μια καινοτόμος μέθοδος στο χώρο της περιβαλλοντικής επιστήμης και θεωρείται τμήμα της Περιβαλλοντικής Διοικητικής Λογιστικής (Burrirt et al 2002, Jasch 2009). Στόχος της είναι να υποβοηθήσει τη βιομηχανία, τις εταιρίες και οργανισμούς, ή τις εφοδιαστικές αλυσίδες στο να διαχειριστούν με οικολογικά και οικονομικά αποδοτικό τρόπο τις εισροές της παραγωγικής διαδικασίας (υλικά, ενέργεια), ώστε αυτή να παράγει λιγότερες μη επιθυμητές εκροές (Christ και Burrirt, 2015), δηλαδή απόβλητα. Η μέθοδος ξεκίνησε από τη Γερμανία στα τέλη της δεκαετίας του 1990 (Wagner, 2015), αλλά οι ρίζες της βρίσκονται στη μεθοδολογία της ανάλυσης εισροών-εκροών (Lamberton, 2005) που ήδη συζητούνταν από το 1920 (Wagner, 2015). Η μέθοδος γνώρισε ιδιαίτερη άνθιση στη βιομηχανία της Ιαπωνίας (Kokubu και Kitada, 2015) και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την προτυποποίησή της το 2011 από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης με το ISO14051:2011 (ISO, 2011).

Η Κοστολόγηση Ροής Υλικών ορίζεται ως εκείνο το εργαλείο που ποσοτικοποιεί τις ροές και τα αποθέματα υλικών στην παραγωγική διαδικασία, τόσο σε φυσικές, όσο και σε χρηματικές μονάδες (Rieckhof et al., 2015). Ο ISO (2011) περιγράφει τη μέθοδο ως μια που μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους οργανισμούς που χρησιμοποιούν υλικά και ενέργεια στην παραγωγική διαδικασία, ανεξάρτητα από το τι προϊόντα ή υπηρεσίες παράγουν. Σύμφωνα με τους Schmidt et al. (2015) η Κοστολόγηση Ροής Υλικών μπορεί να εκτελεστεί σε τρία βήματα: α) τη μοντελοποίηση της δομής των ροών υλικών και ενέργειας, β) την ποσοτικοποίηση των παραπάνω ροών και, γ) την κοστολόγησή τους

Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τον καθορισμό των ορίων του συστήματος, δηλαδή για το ποιες εισροές και ποιες εκροές είναι υπεύθυνος ο οργανισμός που εφαρμόζει τη μεθοδολογία. Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση όλων των υλικών που έχουν εισρεύσει στην παραγωγική διαδικασία κα-

θώς και όλων των εκροών που έχουν παραχθεί από αυτή κατά προϊόν (είτε επιθυμητό, είτε ανεπιθύμητο). Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την κοστολόγηση της παραγωγής του κάθε προϊόντος. Το στοιχείο κόστους που εκτιμώνται είναι: α) κόστος υλικών, β) κόστος ενέργειας, γ) κόστος συστήματος, δ) κόστος διαχείρισης αποβλήτων.

Το κόστος υλικών είναι το μόνο άμεσο κόστος που είναι γνωστό, αφού πρόκειται για το κόστος αγοράς των υλικών που εισρέουν στη διαδικασία. Το κόστος ενέργειας είναι έμμεσο, γιατί σχετίζεται με την παραγωγή όλων των προϊόντων ή υπηρεσιών. Το κόστος συστήματος σχετίζεται με το κόστος εργασίας και τις αποσβέσεις της παραγωγικής διαδικασίας. Τέλος, το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων σχετίζεται με το κόστος χειρισμού των μη επιθυμητών προϊόντων, όπως είναι οι εκπομπές αερίων (Schmidt et al., 2015).

Αυτό που επιτυγχάνει η Κοστολόγηση Ροής Υλικών μέσω της παραπάνω διαδικασίας είναι να αντιστοιχίσει τα απόβλητα και τις εκπομπές αερίων της παραγωγικής διαδικασίας με το κόστος παραγωγής τους και να αποκαλύψει τη μη αποδοτική χρήση των εισροών (Rieckhof et al., 2015), η οποία έχει ως αποτέλεσμα και την επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Άρα, με βάση την εφαρμογή της Κοστολόγησης Ροής Υλικών μπορούν να ληφθούν μέτρα για την βελτίωση της οικονομικής και περιβαλλοντικής επίδοσης του οργανισμού (Wan et al., 2015).

Η διαφορά της παραδοσιακής κοστολόγησης σε σχέση με την κοστολόγηση ροής υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα Ι.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα Ι, η Κοστολόγηση Ροής Υλικών δίνει τη δυνατότητα να διαπιστωθεί ποιο είναι το κόστος των απωλειών υλικών και ενέργειας σε απόβλητα (1500 € στο συγκεκριμένο παράδειγμα). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική χρήση πρώτων υλών, μέσω καινοτομίας στην παραγωγική διαδικασία που θα κάνει πιο αποδοτική τη χρήση τους, ή θα οδηγήσει σε μείωση της αγοράς υλικών. Κάτι τέτοιο προκαλεί τόσο περιβαλλοντικά οφέλη, μέσω μειωμένης χρήσης φυσικών πόρων που χρησιμοποιούνται σαν πρώτη ύλη, αλλά και βελτίωση της αρχής της οικονομικότητας του οργανισμού, αφού με τα ίδια μέσα μπορεί να παραχθεί μεγαλύτερη ποσότητα επιθυμητών εκροών, ή η ίδια ποσότητα επιθυμητών εκροών με τη χρήση λιγότερων μέσων.

Οι Papaspyropoulos et al. (2012), μιλώντας για την Περιβαλλοντική Διοικητική Λογιστική, παρουσίασαν το γεγονός ότι ένας οργανισμός μπορεί να έχει και θετικά μη προϊόντικά παράγωγα (όπως αλλιώς λέγονται τα απόβλητα σε μια παραγωγική διαδικασία, δηλαδή οι μη επιθυμητές εκροές) και σε αυτή τη βάση θα κινηθεί στη συνέχεια η συσχέτιση της Κοστολόγησης Ροής Υλικών με τη Δασοπονία και τη Δασική Οικονομική.

4. ΔΑΣΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τα οφέλη από τη διαχείριση των δασών είναι πολλαπλά και γνωστά, τόσο στην περίπτωση των αγαθών που εμπορεύονται στην αγορά (όπως η ξυλεία) όσο και σε αυτή των μη εμπορεύσιμων αγα-

Πίνακας Ι. Διαφορές παραδοσιακής κοστολόγησης με κοστολόγηση ροής υλικών
Table I. Differences between conventional and material flow cost accounting

	Παραδοσιακή Κοστολόγηση	Κοστολόγηση Ροής Υλικών
Πωλήσεις	15.000 €	15.000 €
Κόστος παραγωγής πωληθέντων	4.500 €	3.000 €
Κόστος παραγωγής αποβλήτων	-	1.500 €
Ακαθάριστα έσοδα	10.500 €	10.500 €
Λοιπά έξοδα (πχ διοικητικά έξοδα)	8.000 €	8.000 €
Καθαρό κέρδος	2.500 €	2.500 €

(Πηγή: ISO (2011), τροποποίηση από συγγραφείς)

θών και υπηρεσιών. Ένα από τα χαρακτηριστικά της δασοπονίας είναι ότι υπάρχουν πολλές θετικές εξωτερικότητες, δηλαδή οφέλη για την κοινωνία που προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία των δασών, χωρίς όμως η κοινωνία να χρειάζεται να πληρώσει για αυτά (Παπασιτυρόπουλος, 2010). Για παράδειγμα, ακόμα και μια φύτευση δασικών ειδών σε αγροτικό περιβάλλον με κύριο σκοπό την παραγωγή ξυλείας, προκαλεί τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα, τη δημιουργία δασικής βιομάζας, την παροχή κάλυψης για την άγρια πανίδα, ή τη συγκράτηση των εδαφών, θετικές δηλαδή κατά κύριο λόγο εξωτερικότητες-αξίες μη εμπορεύσιμες και μη συμμετέχουσες στον μηχανισμό της αγοράς. Βέβαια, η υλοτομία σαν διαδικασία έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αυτές έχουν αναφερθεί συχνά στη βιβλιογραφία (Gonzalez-Garcena et al. 2009, Dias και Arroja 2012, Gonzalez-Garcena et al. 2014). Αυτές περιλαμβάνουν την εκπομπή CO₂ και των λοιπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και υγρά απόβλητα, όπως οξείδια του αζώτου. Στην παρούσα εργασία, όμως, δεν θα ληφθούν υπόψη στο παράδειγμα εφαρμογής.

Όλες οι παραπάνω εκροές, είτε αρνητικές για το περιβάλλον και την κοινωνία, είτε θετικές, δεν έχουν κοστολογηθεί με κάποια μέθοδο. Ένα από τα βασικά πεδία της Δασικής Οικονομικής είναι η κοστολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας και ο υπολογισμός του κόστους παραγωγής κάθε προϊόντος. Στο βιβλίο του Στάμου (1985), δίνονται διάφορες μεθοδολογίες παραδοσιακών κοστολογικών

συστημάτων, όπως είναι η πλήρης και η μερική κοστολόγηση, και επί μέρους μέθοδοι πλήρους κοστολόγησης, όπως η απλή ή η σταθμική διαιρετική κοστολόγηση. Η Κοστολόγηση Ροής Υλικών είναι μια μέθοδος πλήρους κοστολόγησης, η οποία μπορεί να βασιστεί τόσο σε απολογιστικά στοιχεία, όσο και σε προϋπολογιστικά (Schaltegger και Zvezdon, 2015).

Στην παρούσα εργασία, για να γίνει κατανοητή η δυνατότητα που δίνει η Κοστολόγηση Ροής Υλικών, όπως φάνηκε και από τον Πίνακα I, και το πώς αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στη Δασοπονία, θα ληφθεί υπόψη το παράδειγμα σταθμικής διαιρετικής κοστολόγησης που υπάρχει στον Στάμου (1985, σελίδες 240-242). Σύμφωνα με τον συγγραφέα, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν με τις ίδιες πρώτες ύλες παράγονται περισσότερα του ενός προϊόντα. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι το πώς θα κατανεμηθούν οι κοινές δαπάνες σε κάθε φορέα κόστους (προϊόν) και για αυτό υπάρχουν κάποιοι δείκτες στάθμισης (όπως για παράδειγμα η τιμή πώλησης). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ο Στάμου (1985) χρησιμοποιεί έξι δασικά προϊόντα που παρήχθησαν από μια δασική εκμετάλλευση, όπως φαίνεται στον Πίνακα II. Ο επιμερισμός των κοινών δαπανών έχει γίνει από τον Στάμου (1985) αξιοποιώντας τις τιμές διαθέσεως των προϊόντων (τρίτη στήλη του πίνακα). Με βάση το παράδειγμα αυτό, διαφαίνεται ποια είναι τα πιο κερδοφόρα προϊόντα για τη δασική εκμετάλλευση, ενώ διαπιστώνεται ότι η παραγωγή του ξύλου θρυμματισμού ήταν ζημιογόνα.

Για να διαπιστωθεί η διαφοροποίηση που επι-

Πίνακας II. Παράδειγμα σταθμικής διαιρετικής κοστολόγησης
Table II. Weighted cost accounting example

Προϊόν	Παραγθεϊσα	Τιμή	Άμεσες	Κοινές	Συνολικές	Κέρδος
	ποσότητα	διαθέσεως	δαπάνες	δαπάνες	δαπάνες	(ζημία)
	(m ³)	(€/m ³)	(€/m ³)	(€/m ³)	(€/m ³)	(€/m ³)
Στρογγύλη > 2m A´	3,560	32,50	6,20	18,61	24,81	7,69
Στρογγύλη > 2m B´	1,520	26,44	6,15	15,14	21,29	5,15
Στρογγύλη < 2m	844	24,50	4,20	14,03	18,23	6,27
Κιβωτοποιίας	1,200	12,20	3,80	6,99	10,79	1,41
Θρυμματισμού	1,400	11,50	5,20	6,58	11,78	-0,28
Καυσόξυλο	1,820	12,00	3,40	6,87	10,27	1,73

(Πηγή: Στάμου (1985), οι τιμές από δραχμές στο κανονικό παράδειγμα τροποποιήθηκαν σε € διαιρώντας με το 100 στην τελευταία, ηλεκτρονική έκδοση του βιβλίου)

τυγχάνεται με την Κουστολόγηση Ροής Υλικών, θα ενταχθεί στο συγκεκριμένο παράδειγμα ένα μη προϊόντικο παράγωγο της παραγωγικής διαδικασίας της δασικής εκμετάλλευσης που δεν εμπορεύεται ακόμα από τη Δασική Υπηρεσία, αλλά έχει μεγάλη σημασία πια στον τομέα των βιοκαυσίμων και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Πρόκειται για τα υπολείμματα της υλοτομίας που συνθέτουν μέρος της Δασικής Βιομάζας. Ο Μάτης (1994) αναφέρει ότι η διαφορά μεταξύ του εμπορεύσιμου όγκου ενός δέντρου με τον μικτό όγκο που περιλαμβάνει τα κλαδιά και άλλα μη εμπορεύσιμα τμήματα του δέντρου μπορεί να είναι 10-30% χωρίς να λαμβάνονται υπόψη απώλειες κατά τις εργασίες συγκομιδής τμημάτων τα οποία είναι υγιή. Εδώ πέρα διαπιστώνεται ότι υπάρχει ένα σημαντικό και θετικό για το περιβάλλον μη προϊόντικο παράγωγο το οποίο δεν λογίζεται ούτε στο παράδειγμα του Στάμου (1985), αλλά ούτε και από τη Δασική Υπηρεσία. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα ποσοστό μπορεί να παραμείνει στο δάσος για οικολογικούς σκοπούς και ανατροφοδότηση του συστήματος, θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια διαφορά μικτού με εμπορεύσιμο όγκο στο 25% περίπου. Ο Πίνακας III δείχνει πώς θα ήταν ο Πίνακας II μετά την εφαρμογή της Κουστολόγησης Ροής Υλικών.

Η ποσότητα της Δασικής Βιομάζας εκτιμήθηκε ως το 25% της αθροιστικής ποσότητας των παρα-

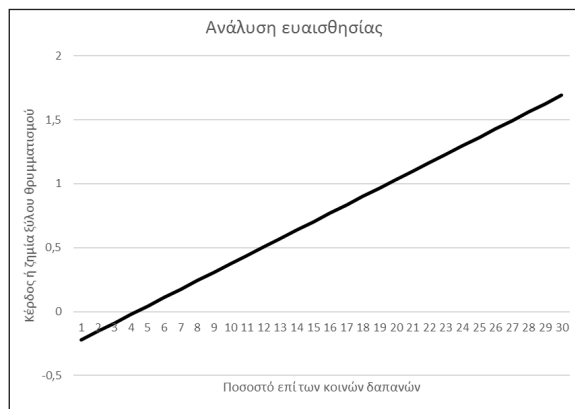
γόμενων προϊόντων στον Πίνακα II. Για το προϊόν αυτό δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε τις άμεσες δαπάνες. Οι δαπάνες αυτές θα σχετίζονται με τη συλλογή και διαμόρφωση της ποσότητας για τη μεταφορά της στο συσκευαστήριο. Οι κοινές δαπάνες στο παράδειγμα του Πίνακα II κατανεμήθηκαν από τον Στάμου (1985) με σταθμικό δείκτη την τιμή πώλησης. Επειδή κάτι τέτοιο είναι επίσης άγνωστο, εδώ κατανεμήθηκε ένα ποσοστό 25% των κοινών δαπάνων των υπόλοιπων προϊόντων. Όπως φαίνεται από τις στήλες Συνολικές δαπάνες και Κέρδος (ζημία), η δαπάνη ανά προϊόν έχει μειωθεί και το κέρδος ανά προϊόν έχει αυξηθεί κατά μια σημαντική ποσότητα, όπως αυτή αποτυπώνεται στην τελευταία στήλη του Πίνακα III.

Σημαντική διαφοροποίηση υπάρχει στην Ξυλεία θρυμματισμού. Διαπιστώνεται ότι με τη συμπερίληψη της βιομάζας στην κουστολόγηση έγινε εμφανές ότι η Ξυλεία θρυμματισμού στην κουστολόγηση δεν είναι στην πραγματικότητα ζημιόγωνα για τη δασική εκμετάλλευση, αλλά επικερδής. Ζημιόγωνα την έκανε το γεγονός ότι το παραδοσιακό σύστημα κουστολόγησης που εφαρμόζεται στον Πίνακα II δεν λαμβάνει υπόψη του όλες τις εκροές και δεν τις κοστολογεί αντίστοιχα. Το κέρδος της Ξυλείας θρυμματισμού επιβεβαιώθηκε ακόμα και για μικρότερη απόληψη βιομάζας μετά την υλοτομία. Με βάση διάφορα ποσοστά που χρησιμοποιήθηκαν, βρέθηκε

Πίνακας III. Το παράδειγμα του Πίνακα II μετά την εφαρμογή της Κουστολόγησης Ροής Υλικών
Table III. The example of Table II after applying Material Flow Cost Accounting

Προϊόν	Παραγθεύσιμα ποσότητα (m ³)	Τιμή διαθέσεως (€/m ³)	Άμεσες δαπάνες (€/m ³)	Κοινές δαπάνες (€/m ³)	Συνολικές δαπάνες (€/m ³)	Κέρδος (ζημία) (€/m ³)	Διαφορά σε σχέση με Πίνακα II
Στρογγύλη > 2m A'	3,560	32,50	6,20	13,96	20,16	12,34	↑ 4,65
Στρογγύλη > 2m B'	1,520	26,44	6,15	11,35	17,50	8,94	↑ 3,79
Στρογγύλη < 2m	844	24,50	4,20	10,52	14,72	9,78	↑ 3,51
Κιβωτοποιίας	1,200	12,20	3,80	5,24	9,04	3,16	↑ 1,75
Θρυμματισμού	1,400	11,50	5,20	4,94	10,14	1,36	↑ 1,64
Καυσόξυλο	1,820	12,00	3,40	5,15	8,55	3,45	↑ 1,72
Βιομάζα	3,448	Άγνωστη	Άγνωστες	9,51	Άγνωστες	Άγνωστο	

ότι έως μόλις 5% απόληψη, η ξυλεία θρυμματισμού παραμένει επικερδής. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για το παραπάνω για ποσοστά από 1 έως 30%, όπου φαίνεται χαρακτηριστικά το κατώφλι του 5%.



Σχήμα 1. Ανάλυση ευαισθησίας για την εφαρμογή της κοστολόγησης ροής υλικών

Figure 1. Sensitivity analysis for the material flow cost accounting application

Γίνεται φανερό, δηλαδή, ότι η αγνόηση θετικών ή αρνητικών εκροών από την κοστολόγηση μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα τη δασική εκμετάλλευση και αυτό διορθώνεται με τη χρήση της Κοστολόγησης Ροής Υλικών. Η χρήση της μεθόδου αυτής στη Δασική Υπηρεσία θα μπορούσε να προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα στην κοστολόγηση της ξυλείας με το σύστημα της ΚΕΔ, ενώ ακόμα και οι ίδιοι οι Δασικοί Συνεταιρισμοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα μετά από κάποιου είδους εκπαίδευση, ή παροχή προς αυτούς εύκολα χρησιμοποιούμενου λογισμικού που θα εκτελεί την κοστολόγηση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έρευνα έγινε μια ανάλυση της παραδοσιακής Δασικής Οικονομικής σκέψης και της αναγκαιότητας που υπάρχει για εκσυγχρονισμό της και διεπιστημονικής συνεργασίας της για την αειφορική διαχείριση των δασών, όπως για παράδειγμα με τη μέθοδο της Κοστολόγησης Ροής Υλικών. Διαπιστώθηκε ότι η παραδοσιακή δασοοικονομική επιστημονική σκέψη στο εξωτερικό έχει κυριαρχηθεί

από το μοντέλο του Faustmann, ενώ στην Ελλάδα δεν δίνεται τόσο βάρος σε αυτό. Επιπλέον, αποδείχτηκε ότι η τάση που υπάρχει πια διεθνώς είναι να προσεγγιστεί η δασοοικονομική σκέψη με περισσότερα διεπιστημονικά αντικείμενα. Για το λόγο αυτό προτάθηκε η εισαγωγή της Κοστολόγησης Ροής Υλικών, μιας μεθόδου κοστολόγησης προερχόμενης από το επιστημονικό πεδίο της Περιβαλλοντικής Διοικητικής Λογιστικής, η οποία μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα των επιχειρήσεων και οργανισμών, υπολογίζοντας κόστος και στα μη επιθυμητά ή συμπαράγωγα προϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας. Επεξηγήθηκε γιατί αυτή η μέθοδος είναι άμεσα σχετική με τη Δασοπονία και τη Δασική Οικονομική, ενώ με παράδειγμα κοστολόγησης που αντλήθηκε από τον Στάμου (1985), παρουσιάστηκε πώς η Κοστολόγηση Ροής Υλικών μπορεί να φανερώσει καλύτερα ποια είναι τα επικερδή προϊόντα και πώς η δασική εκμετάλλευση μπορεί να κερδίσει από την συμπερίληψη ωφέλιμων προϊόντων, όπως η Δασική Βιομάζα. Με την ανάλυση ευαισθησίας που έγινε διαφάνηκε ότι με ελάχιστη απόληψη βιομάζας στο 5% της ποσότητας που αφήνεται ανεκμετάλλευτη μετά τις υλοτομίες, η Κοστολόγηση Ροής Υλικών αναδεικνύει καλύτερα το πραγματικό κέρδος από τα υπόλοιπα δασικά προϊόντα που παράγονται. Βέβαια, η μέθοδος έχει στόχο κυρίως να αποκαλύψει το κόστος των αποβλήτων μιας παραγωγικής διαδικασίας και γι αυτό το λόγο σε μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εκτιμηθεί και το κόστος της παραγωγής αέριων εκπομπών από τις υλοτομίες. Προτείνεται η μέθοδος αυτή να χρησιμοποιηθεί από τη Δασική Υπηρεσία για βελτίωση της κοστολόγησης παραγωγής δασικών προϊόντων με το σύστημα της ΚΕΔ, ενώ θα μπορούσε το παράδειγμα εφαρμογής να συμπεριληφθεί σε κάποια μελλοντική έκδοση βιβλίου Δασικής Οικονομικής για την εκπαίδευση φοιτητών και σπουδαστών των ελληνικών ΑΕΙ στη μέθοδο. Τέλος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις δασικές βιομηχανίες (ξύλο, έπιπλο, χαρτί) για την εκτίμηση του κόστους των αποβλήτων.

Ευχαριστίες

Η έρευνα χρηματοδοτήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος «ΥΠΟΤΡΟΦΙΕΣ ΑΡΙΣΤΕΙΑΣ I.K.Y. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ –ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SIEMENS».

New trends in Forest Economics: The case of Material Flow Cost Accounting

Konstantinos G. Papaspyropoulos & Dimitrios Karamanolis*

ABSTRACT

Forest Economics is an applied discipline of economics with special attributes relevant to the production of primary forest products through long rotation periods. The mainstream Forest Economics approach is based on the neoclassical economics; however, recently there is a trend of linking Forest Economics with behavioral economics, which better brings theory closer to practice. The classical approach estimates the optimal rotation for a forest stand, based on maximization of forest value, while the second approach takes into account an integrated sustainable forest management and is based on multidisciplinary solutions. From 2003 onwards, researchers around the globe propose the extension of forest economics boundaries and, among other disciplines, solutions from accounting and corporate social responsibility are suggested. The present paper is influenced by the latter approach and, after presenting some of the new trends in forest economics, it proposes the methodology of Material Flow Cost Accounting as relevant to Forest Economics and Forestry in general. Thus, a presentation of the method takes place, together with a case study.

Keywords: Environmental cost accounting, Forest Service, Sustainable Forest Management, Material and Energy efficiency

* Laboratory of Forest Economics, Department of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, PO Box 242, Post Code 54124, tel+302310992341, fax: +302310992695, e-mail: kodafype@for.auth.gr

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amacher, G. S., Ollikainen, M., & Koskela, E. (2009). *Economics of forest resources*. Cambridge: Mit Press.
- Amacher, G.S. and Brazee, R.J. (2014). Risk and uncertainty in forest resources decision making. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge., 309-321.
- Boyle, K. and Holmes, T.P. (2014). Choice experiments and valuing forest attributes. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 135-148.
- Brazee, R. J. (2003). The Volvo Theorem: From myth to behavior model. In Helles, F., Strange, N., & Wichmann, L. (Eds.). *Recent accomplishments in applied forest economics research (Vol. 74)*. Springer Science & Business Media, Netherlands. (pp. 39-48).
- Burritt, R.L., Hahn, T., Schaltegger, S., (2002). Towards a comprehensive framework for environmental management accounting. Links between business actors and environmental management accounting tools. *Australian Accounting Review*, 12 (2), 39-50.
- Christ, K. L., & Burritt, R. L. (2015). ISO 14051: A new era for MFCA implementation and research. *Revista de Contabilidad*, 19(1): 1-9.
- Dias, A. C., & Arroja, L. (2012). Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 37, 368-376.
- Faustmann, M. (1849). Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst-und Jagd-Zeitung*, 15, 7-44.
- Gong, Y., Hegde, R. and Bull, G.Q. (2014). Payment for ecosystem services: Lessons from developing countries. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge., 210-224.
- González-García, S., Berg, S., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2009). Environmental impacts of forest production and supply of pulpwood: Spanish and Swedish case studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(4), 340-353.
- González-García, S., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Arroja, L. (2014). Divergences on the environmental impact associated to the production of maritime pine wood in Europe: French and Portuguese case studies. *Science of the Total Environment*, 472, 324-337.
- Guenther, E., Jasch, C., Schmidt, M., Wagner, B., & Ilg, P. (2015). Material Flow Cost Accounting—looking back and ahead. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1249-1254.
- Gundimeda, H. (2014). Forest resources accounting. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 504-519.
- Hartman, R., (1976). The harvesting decision when standing forest has a value. *Economic Inquiry* 14, 52–58
- Helles, F., Strange, N., & Wichmann, L. (Eds.). (2003). *Recent accomplishments in applied forest economics research (Vol. 74)*. Springer Science & Business Media.
- ISO, (2011). *ISO 14051, Environmental Management – Material Flow Cost Accounting – General Framework*. ISO, Geneva.
- Jasch, Ch, (2009). *Environmental and Material Flow Cost Accounting: Principles and Procedures*. Springer, Berlin.
- Kant, S. (2003). Extending the boundaries of forest economics. *Forest Policy and Economics*, 5(1), 39-56.
- Kant, S. (2004). Economics of sustainable forest management. *Forest Policy and Economics*, 6(3), 197-203.
- Kant, S. (2013). *Post-Faustmann forest resource economics*. Springer Netherlands.
- Kant, S., & Alavalapati, J. (2014). *Handbook of forest resource economics*. Routledge.
- Kant, S., & Lee, S. (2004). A social choice approach to sustainable forest management: an analysis of multiple forest values in Northwestern Ontario. *Forest Policy and Economics*, 6(3), 215-227.
- Kokubu, K., & Kitada, H. (2015). Material flow cost accounting and existing management perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1279-1288.
- Kumar, P. and Kant, S. (2014). Game theoretic modeling in forest economics. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 490-503.
- Lal, P. and Alavalapati, J. (2014). Economics of forest biomass-based energy. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 275-289.
- Lamberton, G., (2005). Sustainability accounting: a brief history and conceptual framework. *Accounting Forum* 29 (1), 7-26.
- Li, N., & Toppinen, A. (2011). Corporate responsibility and sustainable competitive advantage in forest-based industry: Complementary or conflicting

goals?. *Forest Policy and Economics*, 13(2), 113-123.

Munn, I.A. and Hussain, A. (2014). Hunting leases: Markets and economic implications. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 175-187.

Nautiyal, J.C. (2012). *Forest Economics. Principles and Applications*. Natraj Publishers, New Delhi.

Newman, D. H. (2002). Forestry's golden rule and the development of the optimal forest rotation literature. *Journal of Forest Economics*, 8(1), 5-27.

Papadopoulos, I., Karagouni, G., Trigkas, M., & Platogianni, E. (2010). Green marketing: The case of Greece in certified and sustainably managed timber products. *EuroMed Journal of Business*, 5(2), 166-190.

Papaspyropoulos, K. G., Blioumis, V., Christodoulou, A. S., Birtsas, P. K., & Skordas, K. E. (2012). Challenges in implementing environmental management accounting tools: the case of a nonprofit forestry organization. *Journal of Cleaner Production*, 29, 132-143.

Rieckhof, R., Bergmann, A., & Guenther, E. (2015). Interrelating material flow cost accounting with management control systems to introduce resource efficiency into strategy. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1262-1278.

Samuelson, P. A. (1976). Economics of forestry in an evolving society. *Economic inquiry*, 14(4), 466-492.

Schaltegger, S., & Zvezdov, D. (2015). Expanding material flow cost accounting. Framework, review and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1333-1341.

Schmidt, M. (2015). The interpretation and extension of Material Flow Cost Accounting (MFCA) in the context of environmental material flow analysis. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1310-1319.

Sills, E. (2014). Economics of the evolution of the Amazon frontier. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 403-416.

Sohngen, B. (2014). Forests and Climate Change: Economic perspectives. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 227-242.

Toppinen, A., Cabbage, F., & Moore, S. (2014). Economics of forest certification and corporate so-

cial responsibility. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 444-458.

Trigkas, M., Papadopoulos, I., & Karagouni, G. (2012). Economic efficiency of wood and furniture innovation system. *European Journal of Innovation Management*, 15, 150-176.

van Kooten G.C., Johnston, C., and Xu, Z. (2014). Economics of forest carbon sequestration. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 243-257.

Wagner, B. (2015). A report on the origins of Material Flow Cost Accounting (MFCA) research activities. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1255-1261.

Wan, Y. K., Ng, R. T., Ng, D. K., & Tan, R. R. (2015). Material flow cost accounting (MFCA)-based approach for prioritisation of waste recovery. *Journal of Cleaner Production*, 107, 602-614.

Wang, S., Bogle, T. and van Kooten, G.C. (2014). Forestry and the new institutional economics. In Kant, S., & Alavalapati, J. *Handbook of forest resource economics*. Routledge, 461-473.

Αλμπάνης, Κ., Ξανθόπουλος, Γ., Σκουτέρη, Α., Θεοδωρίδης, Ν. και Χριστοδούλου, Α. (2014). Οδηγός εφαρμογής του υποδείγματος εκτίμησης της αξίας της δασικής γης στην Ελλάδα. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα.

Καραμανώλης, Δ. και Καρτέρης, Μ. (2011). Δασική Διαχειριστική II. Μέθοδοι και τεχνικές διαχείρισης δασών και φυσικού περιβάλλοντος, ΑΠΘ.

Λαζαρίδου, Δ., Παπασπυρόπουλος, Κ., Παππάς, Ι., Καραχρήστος, Χ. και Καραμανώλης, Δ., (2015). Διερεύνηση της προθυμίας για εθελοντική αγορά δασικών αντισταθμισμάτων άνθρακα από τις επιχειρήσεις στην Ελλάδα. Πρακτικά 17ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, Αργιστόλι.

Μάτης, Κ. (1994). Δασική Βιομετρία II. Δενδρομετρία. Εκδόσεις Πήγασος, Θεσσαλονίκη.

Παπασπυρόπουλος, Κ.Γ. (2010). Περιβαλλοντική κοστολόγηση σε επίπεδο οργανισμού: η περίπτωση της κτηνοτροφικής ομοσπονδίας Μακεδονίας Θράκης. Εργαστήριο Δασικής Οικονομικής, ΑΠΘ.

Στάμιου, Ν. (1985). Οικονομική των Δασικών Εκμεταλλεύσεων. Δασική Οικονομική Ι. Θεσσαλονίκη, ΑΠΘ.

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ και ΟΔΗΓΙΕΣ

προς τους συγγραφείς επιστημονικών εργασιών του περιοδικού “ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ”

Γεωτεχνικοί και άλλοι επιστήμονες, που επιθυμούν να δημοσιεύσουν εργασίες στο επιστημονικό περιοδικό του ΓΕΩΤ.Ε.Ε. (ερευνητικές εργασίες, συνθετικές εργασίες ή άρθρα ανασκόπησης), πρέπει κατά τη σύνταξη των εργασιών να έχουν υπόψη τους τα εξής:

- 1.** Οι προς δημοσίευση εργασίες πρέπει να είναι πλήρεις από κάθε άποψη και να είναι δακτυλογραφημένες σε διπλό διάστημα με ευρέα περιθώρια και αρίθμηση κάθε σειράς. Οι λέξεις (επιστημονικά ονόματα φυτών, ζώων, μικροβίων κλπ.) που πρέπει να τυπωθούν με λοξά γράμματα να υπογραμμίζονται. Θα υποβάλλεται το πρωτότυπο και δύο φωτοαντίγραφα.
Εφόσον κριθεί δημοσιεύσιμη θα πρέπει να σταλεί το τελικό κείμενο σε ένα αντίγραφο καθώς και δισκέτα 3.5" που θα το περιέχει σε μορφή αρχείου γραμμένου σε word for windows.
- 2.** Το μέγεθος - έκταση των εργασιών δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 20 δακτυλογραφημένες σελίδες, συμπεριλαμβανομένων των πινάκων, διαγραμμάτων, φωτογραφιών κ.ά.
- 3.** Τα σύμβολα και οι μονάδες διαφόρων μετρικών συστημάτων θα είναι τα διεθνώς χρησιμοποιούμενα του δεκαδικού διεθνούς συστήματος και όχι του αγγλοσαξωνικού.
- 4.** Κάθε εργασία θα συνοδεύεται από μία ξεχωριστή σελίδα στην οποία θα αναγράφονται:
 - Ο τίτλος της εργασίας
 - Τα ονόματα των συγγραφέων
 - Το ίδρυμα ή ο φορέας στον οποίο εργάζονται οι συγγραφείς
 - Πλήρης διεύθυνση και τηλέφωνο του κύριου συγγραφέα.
- 5.** Κάθε ερευνητική εργασία θα πρέπει να έχει ορισμένη δομή και θα πρέπει να περιλαμβάνει:
 - α) Ελληνική περίληψη εκτάσεως 15-30 σειρών στην αρχή του κειμένου.
 - β) Εισαγωγή
 - γ) Υλικά και μέθοδος
 - δ) Αποτελέσματα
 - ε) Συζήτηση - Συμπεράσματα.
 - στ) Ξενόγλωσση περίληψη (abstract, κατά προτίμηση στην αγγλική) με τον πλήρη τίτλο και τα ονόματα των συγγραφέων.
- 6.** Οι πίνακες θα πρέπει να δακτυλογραφούνται σε ξεχωριστή σελίδα και να αριθμούνται κατά τη σειρά εμφανίσεώς τους στο κείμενο. Η αρίθμηση θα γίνεται με λατινικούς αριθμούς (I,II,III,IV, κλπ.). Στο επάνω μέρος του πίνακα θα υπάρχει συνοπτικός περιγραφικός τίτλος. Επεξηγήσεις θα δίνονται στο κάτω μέρος και θα αριθμούνται ως α,β,γ, κλπ. Θα πρέπει να αποφεύγεται η παράθεση ευμεγέθων πινάκων με πάρα πολλούς αριθμούς.
- 7.** Τα γραμμικά σχέδια - σχήματα (επίσης χημικοί τύποι ή πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις) θα είναι επιμελώς σχεδιασμένα. Τα γράμματα και οι αριθμοί θα πρέπει να είναι ανάλογου μεγέθους, ώστε να παραμένουν ευανάγνωστα σε περίπτωση σμίκρυνσης του σχήματος. Το ελάχιστο μέγεθος των σχεδίων πρέπει να είναι 9x12 εκ. και το μέγιστο 18.5x24 εκ. Τα σχέδια πρέπει να αριθμούνται με αραβικούς αριθμούς ύστερα από τη λέξη “σχήμα” (π.χ. Σχήμα 1). Ο τίτλος (λεζάντα) των σχημάτων και των εικόνων (φωτογραφιών) θα δακτυλογραφείται σε ξεχωριστή σελίδα και όχι επάνω στο σχήμα.
Οι φωτογραφίες πρέπει να είναι καλής ποιότητας και να έχουν καλό κοντράστ και ευκρίνεια.
- 8.** Οι λεζάντες των σχημάτων, των πινάκων και των φωτογραφιών που θα υπάρχουν στην εργασία θα πρέπει **ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ** να είναι γραμμένες εκτός από την ελληνική γλώσσα και στην ξένη γλώσσα την οποία ο συγγραφέας ή οι συγγραφείς έχουν χρησιμοποιήσει για να γράψουν και την περίληψη της εργασίας τους.
- 9.** Η βιβλιογραφία, θα πρέπει να δίνεται - τόσο εντός κειμένου όσο και στο τέλος - με ορισμένο τρόπο. Συνιστάται να ακολουθείται το σύστημα HARVARD, οι βασικές αρχές του οποίου είναι:
 - α) Εντός του κειμένου οι βιβλιογραφικές αναφορές θα περιλαμβάνουν το όνομα του συγγραφέα και τη χρονολογία, αμφότερα εντός παρενθέσεως ή μόνο τη χρονολογία. Σε περίπτωση δύο συγγραφέων θα αναφέρονται και οι δύο (π.χ. Βασιλείου και Παύλου, 1988). Εάν οι συγγραφείς είναι περισσότεροι των δύο, τότε η καταχώρηση γίνεται ως Βασιλείου κ.α. (1988). Το ίδιο γίνεται και για τα ξένα ονόματα.
Εάν υπάρχουν περισσότερες της μίας βιβλιογραφικές αναφορές σε συνέχεια, τότε η παράθεσή τους γίνεται κατά

χρονολογική σειρά (π.χ. Jones 1982, Reter 1984, Demeter και Peterson 1987).

Εάν υπάρχουν από τον ίδιο συγγραφέα περισσότερες από μία δημοσιεύσεις του ίδιου έτους, τότε αριθμούνται ως α,β,γ, (π.χ. Jones 1988α, Jones 1988β).

- 10.** Η παράθεση της βιβλιογραφίας στο τέλος της εργασίας θα ακολουθεί τους εξής κανόνες:
 - α) Η σειρά παράθεσης θα γίνεται με απόλυτη αλφαβητική σειρά του ονόματος του ίδιου συγγραφέα. Δεν θα υπάρχει αρίθμηση.
 - β) Κάθε βιβλιογραφία θα έχει τα ονόματα των συγγραφέων, τη χρονολογία δημοσίευσής, τον τίτλο της εργασίας, τον τίτλο του περιοδικού (διεθνώς αναγνωρισμένο συντομευμένο τίτλο), τον τόμο και την πρώτη και τελευταία σελίδα. Εργασίες μη δημοσιευμένες δεν θα καταχωρούνται ως βιβλιογραφική αναφορά, εκτός εάν έχουν γίνει αποδεκτές προς δημοσίευση σε κάποιο περιοδικό. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αναφέρεται π.χ. "προς δημοσίευση Journal of Agriculture, Τεύχος 10". Σε περίπτωση ανακοίνωσης σε Επιστημονικό Συνέδριο θα αναγράφεται ο τίτλος της εργασίας, το θέμα του συνεδρίου και ο τόμος και η σελίδα των πλήρων πρακτικών ή των περιλήψεων των πρακτικών στην οποία υπάρχει η ανακοίνωση. Βιβλιογραφικές αναφορές από περιοδικό τύπο θα αναγράφουν τον τίτλο της δημοσίευσης, το όνομα του εντύπου, το έτος, τον αριθμό τεύχους και τον αριθμό σελίδας.
- 11.** Οι εργασίες που συντάσσονται και υποβάλλονται στο ΓΕΩΤ.Ε.Ε. με βάση τις ισχύουσες "οδηγίες συγγραφής", παίρνουν κατά την εισαγωγή τους έναν αύξοντα αριθμό με τον οποίο και στη συνέχεια ακολουθούν την όλη διαδικασία κρίσης, δημοσίευσης.
- 12.** Η Συντακτική Επιτροπή (Σ.Ε.), στην πρώτη μετά την υποβολή εργασίας συνεδρίαση, ορίζει δύο κριτές, εξειδικευμένους γεωτεχνικούς στο σχετικό με την εργασία ή το συγγενέστερο γνωστικό πεδίο. Οι κριτές δεν επιτρέπεται να προέρχονται από τον ίδιο εργασιακό χώρο.
- 13.** Στους ορισθέντες κριτές στέλνεται αντίγραφο της εργασίας καθώς και έντυπο ερωτηματολόγιο κρίσης - αξιολόγησής της, το οποίο συντάχθηκε από τη Σ.Ε.
- 14.** Στους κριτές ορίζεται ημερομηνία παράδοσης - επιστροφής της κρίσης και της εργασίας και όποιων άλλων παρατηρήσεων και υποδείξεων.
- 15.** Ενδεχόμενες παρατηρήσεις, υποδείξεις και προτάσεις, ενός ή και των δύο κριτών για διόρθωση και βελτίωση σημείων της εργασίας, στέλνονται στον συγγραφέα για κατάλληλη επεξεργασία, επαναδιατύπωση και διόρθωση.
- 16.** Η διορθωμένη από τον συγγραφέα εργασία, εφόσον πρόκειται για σημαντικές διορθώσεις, στέλνεται και πάλι στον κριτή ή και στους δύο κριτές για να διαπιστωθεί εάν έχουν γίνει οι προταθείσες διορθώσεις.
- 17.** Στις περιπτώσεις που μια από τις δύο κρίσεις είναι αρνητική, η εργασία συνοδευμένη και από τις δύο κρίσεις, στέλνεται σε τρίτο κριτή για τελική θετική ή αρνητική κρίση.
- 18.** Στις περιπτώσεις απορριπτικών κρίσεων, επιστρέφεται στον συγγραφέα η εργασία, με διευκρινιστική επιστολή του προέδρου του ΓΕΩΤ.Ε.Ε. στην οποία επισυνάπτονται και τα κείμενα των κρίσεων.
- 19.** Τα ονόματα των συγγραφέων και των κριτών δεν είναι σε καμία περίπτωση ανακοινώσιμα.
- 20.** Μετά την ολοκλήρωση όλων των σταδίων προετοιμασίας εκτυπώνονται τα δοκίμια, τα οποία στέλνονται στον συγγραφέα για τελική διόρθωση. Κατά την διόρθωση των δοκιμίων δεν επιτρέπονται αλλαγές κειμένου. Η σειρά δημοσίευσης εξαρτάται πλέον από την ταχύτητα διόρθωσης και επιστροφής των δοκιμίων από τον συγγραφέα.
- 21.** Δεν επιτρέπεται η δημοσίευση εργασιών οι οποίες έχουν δημοσιευθεί σε άλλα περιοδικά ή πρακτικά συνεδρίων.
- 22.** Τέλος σ' ότι αφορά το περιεχόμενο του κάθε τεύχους, παρ' ότι η Σ.Ε. επιδιώκει να υπάρχουν εργασίες όλων των κλάδων, συχνά ολοκληρώνεται η απαραίτητη ύλη για έκδοση τεύχους με περισσότερες εργασίες από ένα κλάδο. Αυτό δεν αποτελεί εμπόδιο για την Σ.Ε. στην προώθηση της έκδοσης των τευχών.

