

# Ενεργειακή Αξιοποίηση Δασικής Βιομάζας: Η περίπτωση του Μετσόβου

Ελ. Μπουτέτσιου, Διαχείριση Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Ν. Κατσουλάκος, Μηχανολόγος Μηχανικός, Υπ.Δρ. Ε.Μ.Π., ΜΔΕ «Περιβάλλον και  
Ανάπτυξη»,

## Περίληψη

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καλούνται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο συνεχώς μεταβαλλόμενο γεωπολιτικό χάρτη της ενέργειας. Η βιομάζα έχει αναγνωρισθεί ως μια από τις πιο σημαντικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων που απορρέουν τόσο από την παραγωγή αλλά και από την αξιοποίηση της για ενέργεια και άλλα προϊόντα. Η ιδιαίτερη σημασία που αποδίδεται σε αυτή αντανακλάται στα επίσημα ευρωπαϊκά έγγραφα ενεργειακής πολιτικής<sup>1</sup>.

Η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο (δασική βιομάζα, φυτικά υπολείμματα, απορρίμματα και ενεργειακές καλλιέργειες) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών ή/και υγρών καυσίμων. Ο ρόλος της στη μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων θα είναι καθοριστικός αφού έως το 2010 η βιομάζα θα πρέπει να καλύπτει το 8% των ενεργειακών αναγκών από 4% που είναι σήμερα (Οδηγία 2003/30/ΕΚ)

Η διαθέσιμη δασική βιομάζα, για ενεργειακούς σκοπούς, συνίσταται στα καυσόξυλα, τους ξυλάνθρακες, τα υπολείμματα των δασικών υλοτομιών, τα προϊόντα καθαρισμών του δάσους και τα υπολείμματα, που προκύπτουν από την επεξεργασία του ξύλου.

Η παρούσα εισήγηση αποτελεί εισαγωγικό μέρος της διπλωματικής εργασίας η οποία εκπονείται στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη των Ορεινών περιοχών» του Ε.Μ.Π. στην οποία παρουσιάζονται λεπτομερέστερα όλα τα μέρη της παρούσας και γίνεται η προσπάθεια χωροθέτησης μιας μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης της δασικής βιομάζας στην περιοχή του Μετσόβου λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες.

Όσον αφορά στα περιεχόμενα της παρούσας εργασίας, αυτά περιλαμβάνουν εισαγωγή στην έννοια της βιομάζας και ειδικότερα της δασικής βιομάζας, παρουσίαση του κύκλου αξιοποίησης της ξυλείας για ενεργειακούς σκοπούς, και ειδικότερα αξιολόγηση του ενεργειακού δυναμικού των δασικών ειδών που φύονται στην περιοχή του Μετσόβου.

## 1. Εισαγωγή

Η λύση του ενεργειακού προβλήματος αποτελεί τη σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα. Η στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, αναμφίβολα δεν αποτελεί επιλογή, αλλά μια επιβεβλημένη ανάγκη για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών μας. Οι ΑΠΕ αναδεικνύονται πλέον, μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας, όχι μόνο ως ο βασικός πυλώνας της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και ως ένα ιδιαίτερα δυναμικό επενδυτικό μέσο για την τόνωση της ανάπτυξης (κυρίως της απασχόλησης) και για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης.

Η ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έφθασε τα 280 GW το 2008 σημειώνοντας αύξηση 16 % από την ποσότητα που παρήχθη (240 GW) παγκοσμίως το 2007 (REN21, 2009). Ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσον αφορά το έτος

<sup>1</sup> Λευκή Βίβλος, για την ενέργεια, Λευκή Βίβλος για τις ΑΠΕ, Πράσινη Βίβλος για την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, Οδηγία για ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ, Πρωτόκολλο του Κιότο.

2010, είναι να γίνουν εκείνα τα βήματα που θα επιτρέψουν να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές το 12% των ενεργειακών αναγκών των χωρών-μελών της. Επιπλέον, στόχος για την Ε.Ε. είναι ο διπλασιασμός του ποσοστού ΑΠΕ από 6% σε 12% της εγχώριας παραγωγής ενέργειας έως το 2012. Ο δεσμευτικός στόχος για την Ελλάδα καθορίζεται ως συμμετοχή 18% των Α.Π.Ε. στην κάλυψη της εθνικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020, με έτος βάσης το 2005 (Βασιλάκος, 2008), στο οποίο η αντίστοιχη καταγεγραμμένη συμμετοχή των Α.Π.Ε. ανέρχεται σε 6,9% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας.

### **1.1. Βιομάζα**

Ως βιομάζα θεωρούνται: *τα προϊόντα, τα παραπροϊόντα και τα κατάλοιπα της γεωργικής, δασικής και ζωικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα, από τη βιομηχανική επεξεργασία των παραπάνω προϊόντων, τα αστικά λύματα και σκουπίδια και οι οργανικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση, τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου.*

Η βιομάζα ως μέλος της οικογένειας των Α.Π.Ε και μέρος της λύσης του ενεργειακού προβλήματος, μπορεί να διαδραματίσει ένα σημαντικό και διατηρήσιμο ρόλο καθώς αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο).

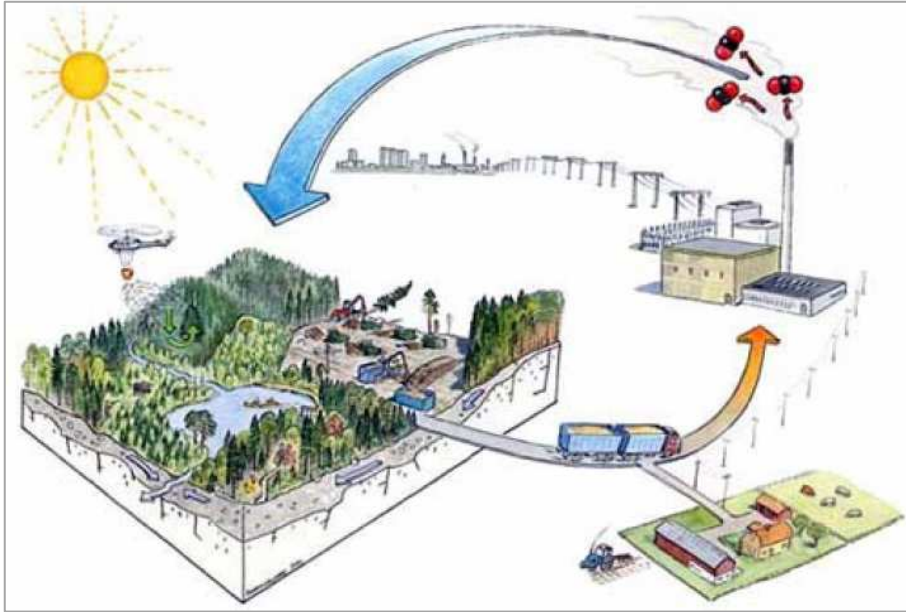
Η χρήση της βιομάζας για ενέργεια σήμερα υπολογίζεται στο 14% περίπου της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας, με το μεγαλύτερο ποσοστό να χρησιμοποιείται στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου η βιομάζα καλύπτει μέχρι το 1/3 των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων (Bauen & Kaltschmitt, 2001).

Στη χώρα μας, μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας (ΚΑΠΕ). Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλιάνθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (Κίττας, Γέμτος, Φουντάς, & Μπαρτζάνας, 2007).

Τα ανανεώσιμα αποθέματα βιομάζας, ως προς πηγές από τις οποίες προέρχονται, διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (Demirbas, 2001)

- ξύλο και απόβλητα ξυλείας 64 %
- αστικά απόβλητα 24 %
- αγροτικά/ζωικά απόβλητα 5 %
- αέρια ΧΥΤΑ 5 %

Ο φυσικός ενεργειακός κύκλος της βιομάζας (εικόνα 1) βασίζεται στην αέναη χρήση των φυσικών ενεργειακών ροών, μιμείται τους οικολογικούς κύκλους της Γης και ελαχιστοποιεί την εκπομπή ρύπων στον αέρα, τους ποταμούς και τους ωκεανούς. Το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα για την δημιουργία της προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και αργότερα επιστρέφει σε αυτήν. Οι θρεπτικές ουσίες για την δημιουργία της λαμβάνονται από το έδαφος και στη συνέχεια επιστρέφουν σε αυτό. Τα υπολείμματα ενός σταδίου του κύκλου συνιστούν τις εισροές του επόμενου σταδίου.



**Εικόνα 1.** Ενεργειακός κύκλος βιομάζας από την πηγή μέχρι την τελική κατανάλωση  
**Image 1.** Biomass energy circle

Αυτόν τον κύκλο θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το παράδειγμα της δασικής βιομάζας, της ποσότητας δηλαδή που προέρχεται από τις δασοπονικές διαδικασίες καθαρισμού και αναζωογόνησης ενός δάσους καθώς και από τα υπολείμματα αυτής προερχόμενα από τις κατά τόπους βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου και τις οικοδομικές δραστηριότητες.

Επίσης, θα αναφερθούμε στις μορφές εμφάνισης της προς ενεργειακή εκμετάλλευση ξυλείας, στους τρόπους ενεργειακής αξιοποίησης αυτής και τέλος, λαμβάνοντας σαν παράδειγμα την περιοχή του Μετσόβου, θα δούμε αν η αλλαγή εκμετάλλευσης της ξυλείας είναι οικονομικά συμφέρουσα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια εναλλακτική αναπτυξιακή πρόταση στην περιοχή.

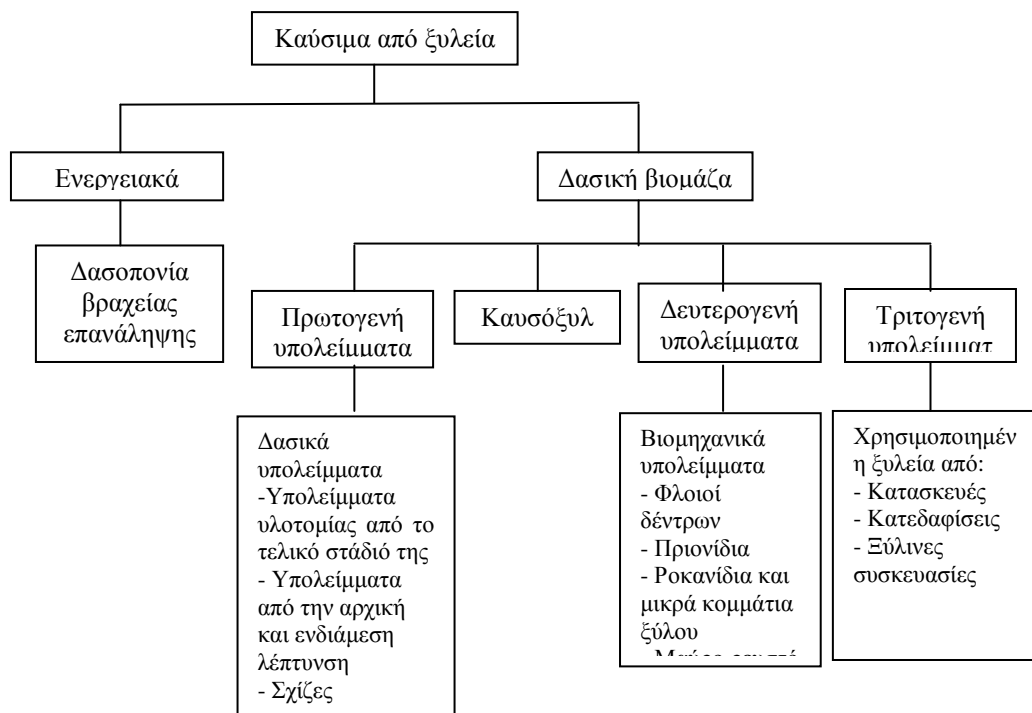
### **1.2. Δασική Βιομάζα**

Τα δάση καταλαμβάνουν το 1/3 της επιφάνειας της γης (FAO, 2000) και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλαπλά επίπεδα. Από οικονομική σκοπιά, ο δασικός τομέας αποτελεί σημαντική πηγή εισοδημάτων με την ξυλεία να χρησιμοποιείται σε πληθώρα κατασκευαστικών, οικιακών και βιομηχανικών εργασιών. Παράλληλα, από την πλευρά του περιβάλλοντος, είναι καθοριστικής σημασίας για τη διαφύλαξη της βιοποικιλότητας και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, όχι μόνο για τη δέσμευση του άνθρακα αλλά και λόγω της παραγωγής βιομάζας και των δυνατοτήτων που προσφέρουν όσον αφορά τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Τέλος, τα δάση έχουν ιδιαίτερη σημασία από κοινωνική και πολιτιστική σκοπιά. Περισσότεροι από 1.6 δισεκατομμύρια άνθρωποι (IUCN) εξαρτώνται, σε διαφορετικό βαθμό, από αυτά για τη διαβίωσή τους. Είναι επίσης ιδιαίτερα ελκυστικά για τους αστικούς πληθυσμούς, επιτρέπουν την ανάπτυξη ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων ή δραστηριοτήτων χρήσιμων για την υγεία και αντιπροσωπεύουν σημαντική πολιτιστική κληρονομιά.

Τα δάση αποτελούν πηγή ενέργειας με τη μετατροπή της δασικής βιομάζας σε συμβατικά στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. Σήμερα, τα δάση συμβάλλουν στο 14% της παγκόσμιας τροφοδοσίας ενέργειας και έχουν την ικανότητα να φτάσουν και μέχρι το 50% των απαιτήσεων σε ενέργεια παγκοσμίως κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα (Hall, 2002).

Περίπου το 55% της ποσότητας ξυλείας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως (ΚΑΠΕ) (η οποία αγγίζει τα 4 δις m<sup>3</sup>), χρησιμοποιείται σαν ξυλεία ή κάρβουνο για τις καθημερινές ανάγκες σε ενέργεια όσον αφορά στη θέρμανση και το μαγείρεμα σε αναπτυσσόμενες χώρες. Στη χώρα μας, μέχρι τη δεκαετία του 1950, το 15% της ενέργειας προερχόταν από το δάσος (Κομπελίτου & Κοσκινά, 2004), υπό μορφή καυσόξυλων και ξυλανθράκων. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 όμως, τα ελληνικά νοικοκυριά στράφηκαν σε άλλες πηγές ενέργειας και έτσι η κατανάλωση δασικής βιομάζας, για ενεργειακούς σκοπούς, συνεχώς μειώνεται.

Τα περισσότερα καύσιμα που προέρχονται από την εκμετάλλευση της ξυλείας προέρχονται από δέντρα που μεγαλώνουν φυσικά σε δάση. Μια μικρή εξαίρεση αποτελεί η δασοπονία βραχείας επανάληψης, στην οποία καλλιεργούνται είδη βραχείας ανάπτυξης με μικρές επαναλήψεις σε πρώην γεωργική γη με μόνο στόχο τη χρησιμοποίησή τους σαν καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται ο διαχωρισμός αυτός της ξυλείας και αναφέρονται και τα είδη αυτής (Röser, Asikainen, Stupak, & Pasanen, 2008). Έτσι βλέπουμε ότι η δασική βιομάζα μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες, πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή υπολείμματα υλοτομίας (Berndes, 2001). Οι βασικές πηγές πρωτογενών υπολειμμάτων οφείλονται στη συνήθη υλοτομική διαδικασία. Στα δευτερογενή υπολείμματα έχουμε τα βιομηχανικά υπολείμματα τα οποία περιλαμβάνουν φλοιούς δέντρων, πριονίδια, ροκανίδια, μικρά κομμάτι ξύλου και μαύρου ρευστού (Ranta, 2003). Τέλος, τα τριτογενή υπολείμματα αποτελούνται από παραπροϊόντα κατεδαφίσεων, κατασκευών και διαδικασιών συσκευασίας.



**Εικόνα 2.** Απεικόνιση των διαφόρων τύπων καυσίμων από ξυλεία

**Image 2.** Types of forest fuels

Ανεξάρτητα από την πηγή από την οποία προέρχεται, η δασική βιομάζα που χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς, εμφανίζεται σε τρεις μορφές:

- Τεμάχια συμπαγούς ξύλου (καυσόξυλα) Τεμάχια ξύλου ποικίλου μήκους ανάλογα με τον τύπο του λέβητα για τον οποίο προορίζονται. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι είναι υλικό διαθέσιμο παντού, ενώ μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός ότι απαιτείται χειρωνακτική φόρτωσή τους και παρατηρείται δυσκολία αποθήκευσής τους. Η απόδοση

καύσης τους δεν ξεπερνά το 75 %. το ποσοστό ανακτώμενης ενέργειας από τη χρήση καυσόξυλων είναι της τάξης των 3-70kW.

- Συσσωματώματα πριονιδίου (πελλέτες). Είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια συμπιεσμένης βιομάζας διαφόρων μεγεθών. Αναφέρονται σε ξερό ξύλο από υπολείμματα της επεξεργασίας ξύλου το οποίο δεν περιέχει μολυντές ή πρόσθετα. Έχουν υγρασία 8-10% και θερμική αξία περί τα 17-21MJ/kg, ανάλογα με το είδος της βιομάζας. Η μετατροπή γίνεται με απλή μηχανική επεξεργασία και δεν απαιτείται κανενός είδους χημική ή άλλη επεξεργασία. Επίσης, η διαχείριση και η χρήση συμπιεσμένης βιομάζας σε μορφή πελλέτας είναι εξαιρετικά εύκολη. Η ανακτώμενη ενέργεια από τη χρήση πελλετών κυμαίνεται μεταξύ 8-500kW.
- Θρύμματα ξύλου Αναφερόμαστε σε μηχανικώς επεξεργασμένα κομμάτια ξύλου, των οποίων το μέγεθος ποικίλει από 1 έως 100 mm. Προκύπτουν από το τρόχισμα των αποληφθέντων δασικών προϊόντων, των βιομηχανικών υπο-προϊόντων, των καυσόξυλων και του ξύλου που ανακτάται από τα ξύλινα προϊόντα των οποίων η διάρκεια ζωής έχει λήξει. Πλεονέκτημα αποτελεί η εύκολη διάθεση του και υπάρχουν πολλοί αυτοματισμοί συλλογής, φόρτωσης και αποθήκευσής του. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούμε να έχουμε σωστό έλεγχο της ποιότητάς του. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται είναι 30-200kW.

Ανάλογα λοιπόν με τη χρήση επιλέγεται και η βέλτιστη μορφή καυσίμου.

### **1.3. Ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας**

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δισεκ. τόνους ξηρού υλικού (Κίττας, Γέμτος, Φουντάς, & Μπαρτζάνας, 2007), με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα (ΚΑΠΕ) και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.) .

Οι δυνατότητες της βιομάζας για το έτος 2050 για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 25 υπολογίζεται να βρίσκεται περίπου σε 600.000 ktoe/έτος (Κομπελίτου & Κοσκινά, 2004). Η ολική εγκατεστημένη ισχύς από βιομάζα ήταν 17 GW το 2005 στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 (EurObserv'Er, 2008).

Στην Ελλάδα, το ξύλο με 39,488 TJ συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, αποτελεί την πιο «ισχυρή» μορφή βιομάζας (ΚΑΠΕ).

Οι κυριότερες εφαρμογές παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα είναι οι εξής:

- Θέρμανση θερμοκηπίων.
- Θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων.
- Ξήρανση γεωργικών προϊόντων.
- Κάλυψη αναγκών θερμότητας, ψύξεως και ηλεκτρισμού σε γεωργικές ή άλλες βιομηχανίες, που βρίσκονται κοντά σε πηγές παραγωγής βιομάζας.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στους τόπους παραγωγής της βιομάζας για κάλυψη τοπικών αναγκών ή για τροφοδοσία του εθνικού ηλεκτρικού δικτύου
- Κάλυψη αναγκών τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης χωριών και πόλεων που βρίσκονται κοντά σε τόπους παραγωγής βιομάζας.

Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές κατευθύνσεις στον τομέα της βιομάζας, έχουν επικεντρωθεί τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο, στην ενεργειακή αξιοποίηση κυρίως των φυτικών υπολειμμάτων(π.χ. θρυμματισμένο ξύλο) με την ανάπτυξη νέων και βελτιωμένων τεχνολογιών ενεργειακής μετατροπής με υψηλούς βαθμούς απόδοσης.

Οι μέθοδοι της ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας είναι διάφορες. Διακρίνονται σε θερμοχημικές (ξηρές), σε βιοχημικές (υγρές) και σε χημικές. Οι θερμοχημικές μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην περίπτωση της δασικής βιομάζας, περιλαμβάνουν αντιδράσεις, που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, για διαφορετικές συνθήκες οξειδωσης. Οι διεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N<30 και υγρασία >50% και αναλύονται στη συνέχεια.

### *1.3.1. Άμεση Καύση Βιομάζας.*

Είναι η κύρια διεργασία για την εκμετάλλευση της βιομάζας. Οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνεται η καύση της βιομάζας κυμαίνονται στους 1000-1500°C ενώ η ανάφλεξη της βιομάζας απαιτεί θερμοκρασίες τουλάχιστον 550°C. Η βιομάζα μπορεί να καεί σε μικρής κλίμακας μοντέρνους λέβητες ατμού για σκοπούς θέρμανσης ή σε μεγαλύτερους λέβητες για τη παραγωγή ηλεκτρισμού ή συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP). Το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στο κύκλο Rankine (στρόβιλος ατμού).

Η ενέργεια που απελευθερώνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ηλεκτρισμό, για μαγείρεμα, για θέρμανση χώρων και στην βιομηχανία. Η θερμική ενέργεια που αποδίδει η βιομάζα κατά τη καύση της εξαρτάται από τη θερμογόνο δύναμη της που είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας της σε άνθρακα. Οι πιο σημαντικές τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας με απ' ευθείας καύση, είναι αυτή τη στιγμή η καύση σε εσχάρα και η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη.

Στον ακόλουθο πίνακα αναφερόμαστε στα συνήθη χαρακτηριστικά μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας από καύση ανάλογα με τη χρήση στην οποία αποσκοπούμε βλέποντας επίσης και τις αποδόσεις αυτών.

### *1.3.2. Αεριοποίηση Βιομάζας*

Η αεριοποίηση είναι μία διεργασία μερικής οξειδωσης, κατά την οποία, μία στερεά, αέρια η υγρή πρώτη ύλη αντιδρά με οξυγόνο ή και ατμό και μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης, το οποίο αποτελείται κυρίως από υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Ανάλογα με το είδος του αεριοποιητή και των συνθηκών αντίδρασης, είναι δυνατόν να παραχθούν αέρια καύσιμα χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμογόνου δύναμης.

Επειδή η αεριοποίηση της βιομάζας είναι η πλέον σύγχρονη μέθοδος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, έχουν σχεδιαστεί σταθμοί ισχύος μέχρι 50 MWe. Τα συστήματα όμως που βασίζονται στην αεριοποίηση της βιομάζας και την καύση του παράγωγου καυσίμου ίσως παρουσιάσουν πλεονεκτήματα συγκρινόμενα με τη απευθείας καύση της, όσον αφορά τις οικονομίες κλίμακας και καθαρής και επαρκούς λειτουργίας.

### *1.3.3. Πυρόλυση Βιομάζας*

Ως πυρόλυση αναφέρεται η θερμική αποικοδόμηση των ανθρακούχων ενώσεων σε θερμοκρασίες μεταξύ 400-800°C, είτε με πλήρη απουσία οξυγόνου, είτε με μερική παρουσία του, τόσο ώστε η αεριοποίηση να μην είναι σημαντική. Η διεργασία είναι πολύ αργή και με μικρό βαθμό απόδοσης. Τα προϊόντα της πυρόλυσης μπορεί να είναι αέρια (πυρολυτικά αέρια), υγρά (πυρολυτικά υγρά) ή στερεά (ξυλάνθρακας), οι δε σχετικές αναλογίες κάθε προϊόντος εξαρτώνται από τη μέθοδο της πυρόλυσης και τις παραμέτρους αντίδρασης (θερμοκρασία, χρόνο παραμονής αερίων και ταχύτητα ψύξης τους). Η θερμαντική αξία του αερίου που παράγεται κατά την πυρόλυση της βιομάζας κυμαίνεται στα 1780-2500 Kcal/kg (Βουρδούμπας, 2002).

## 2. Μεθοδολογία

Στο πρώτο μέρος της εργασίας θα ασχοληθούμε με το δυναμικό της δασικής βιομάζας στην περιοχή του Μετσόβου. Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε γενικές γραμμές για τον υπολογισμό του δυναμικού βιομάζας μιας περιοχής ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- Σύντομη περιγραφή της πρωτογενούς παραγωγής στην περιοχή
- Αναφορά στις γεωργικές και δασικές εκτάσεις
- Αναφορά στις αποδόσεις σε γεωργικά και δασικά προϊόντα.
- Καθορισμός των διαφόρων τύπων βιομάζας, οι οποίοι θα εξασφαλίσουν τη τροφοδοσία της μονάδας για παραγωγή βιοενέργειας
- Αναγνώριση και προσδιορισμός των εμπλεκόμενων φορέων στην υλοποίηση μιας μονάδος παραγωγής βιοενέργειας
- Καθορισμός μιας σειράς ρεαλιστικών παραδοχών, βάσει των οποίων εξάχθηκαν ποσοτικές εκτιμήσεις για τις συνολικές (θεωρητικό δυναμικό) και τις πραγματικά διαθέσιμες (τεχνικό δυναμικό) ποσότητες κάθε συγκεκριμένου τύπου βιομάζας.
- Συγκέντρωση τεχνικοοικονομικών στοιχείων και στοιχείων κόστους πρώτων υλών βιομάζας (οικονομικό δυναμικό).

Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων του δασαρχείου Μετσόβου της χρονικής περιόδου 1988-2008, θα ποσοτικοποιηθούν οι μορφές του δυναμικού και θα αναλυθούν στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με το διαθέσιμο δυναμικό της περιοχής ανάλογα με το δασικό είδος.

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει υπολογισμός του θερμικού περιεχομένου της δασικής βιομάζας, αξιοποιώντας τους μέσους όρους παραγωγής τεχνικής ξυλείας και καυσόξυλων της εικοσαετίας

## 3. Η περιοχή μελέτης

### 3.1. Γενικά στοιχεία για το Μέτσοβο

Το Μέτσοβο είναι χτισμένο αμφιθεατρικά σε υψόμετρο 1.156 μ. και βρίσκεται σε μια από τις ψηλότερες βουνοκορφές της Πίνδου, στο μεταίχμιο των ορίων της Ηπείρου, της Θεσσαλίας και της Δυτικής Μακεδονίας. Είναι πρωτεύουσα της ομώνυμης επαρχίας με πληθυσμό γύρω στους 3.000 κατοίκους (ΕΣΥΕ, 2001).

Στην περιοχή του Μετσόβου συναντώνται πέντε σημαντικές υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας, του Άραχθου, του Αχελώου, του Πηνειού, του Αλιάκμονα και του Αώου. Από το Μέτσοβο πηγάζει ο Μετσοβίτικος ποταμός, παραπόταμος του Άραχθου ενώ σε μικρή απόσταση πηγάζουν ο Αχελώος, ο Αώος και παραπόταμοι του Πηνειού και του Αλιάκμονα (Βενέτικος). Παράλληλα, πολλά ρέματα και χείμαρροι πλουτίζουν το υδρογραφικό δίκτυο, που ενισχύθηκε τα τελευταία χρόνια με την τεχνητή λίμνη Αώου.

Οι πεδινές εκτάσεις της περιοχής είναι λίγες και βρίσκονται κυρίως κατά μήκος του Μετσοβίτικου ποταμού και στα μικρά οροπέδια στις περιοχές Μετσόβου και Μηλιάς, που χρησιμοποιούνται σαν βοσκότοποι. Τα υπόλοιπα τμήματα της περιοχής αποτελούνται από πυκνά δάση και από γυμνές ορεινές πλαγιές.

Στην ευρύτερη περιοχή απαντώνται τρεις περιοχές ενταγμένες στο δίκτυο Natura 2000, ο Εθνικός Δρυμός Πίνδου (Βάλια Κάλντα) (GR1310003), η Περιοχή Μετσόβου (Ανήλιο – Κατάρια) (GR2130006) και το Όρος Λάκμος ή Περιστέρι (GR2130007) (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής).

### 3.2. Στοιχεία δασαρχείου Μετσόβου

Η περιοχή εποπτείας του δασαρχείου Μετσόβου έχει εμβαδόν **28044 στρέμματα** και περιλαμβάνει, εκτός από το Δήμο Μετσόβου και τις κοινότητες Βωβούσας, Φλαμπουραρίου, Γρεβενιτίου, Τρίστενου, Ιτέας, Πέτρας και Μικρού και Μεγάλου Περιστερίου. Στην περιοχή



ευθύνης του Δασαρχείου Μετσόβου, ευρίσκονται υπό συνεχή και συστηματική διαχείριση τρία Δημόσια δασικά συμπλέγματα (31% της συνολικής περιοχής), έντεκα Δημοτικά και Κοινοτικά δάση και ένα Μοναστηριακό (Δικτυακή Πύλη για τα Δάση και τη διαχείριση Υδατικών Πόρων).

Στην περιοχή του Μετσόβου συναντώνται δύο από τις τρεις κύριες ζώνες δασικής βλάστησης της χώρας, ήτοι η ζώνη των φυλλοβόλων δρυών και της ζώνης της ελάτης-οξιάς, καθώς επίσης και ψευδοαλπικές περιοχές στις κορυφές των ψηλότερων ορέων. Τα κύρια στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος είναι αλπικοί γυμνοί οικότοποι, που αναπτύσσονται στις ψηλές κορυφές καθώς και μεγάλες δασωμένες κοιλάδες.

Έτσι, κωνοφόρα δάση με Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*), Ελάτη (*Abies borisii-regis*), Ρόμπολο (*Pinus leucodermis*) και Οξυά (*Fagus sylvatica*) κυριαρχούν στα ψηλά σημεία, ενώ στα χαμηλότερα σημεία παρατηρούνται Δρυς (*Quercus pubescens*, *Quercus pedunculiflora*, *Quercus conferta*, *Quercus macedonica*), Πυξάρι (*Buxus sempervirens*), Άρκευθος (*Juniperus communis*), Γάβρος (*Carpinus betulus*) Οστρυά (*Ostrya carpinifolia*), Πλάτανος (*Platanus orientalis*) και Ιτιά (*Salix fragilis*) κ.ά.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, θα ασχοληθούμε με τα κυρίαρχα είδη που φύονται στην περιοχή και αυτά είναι

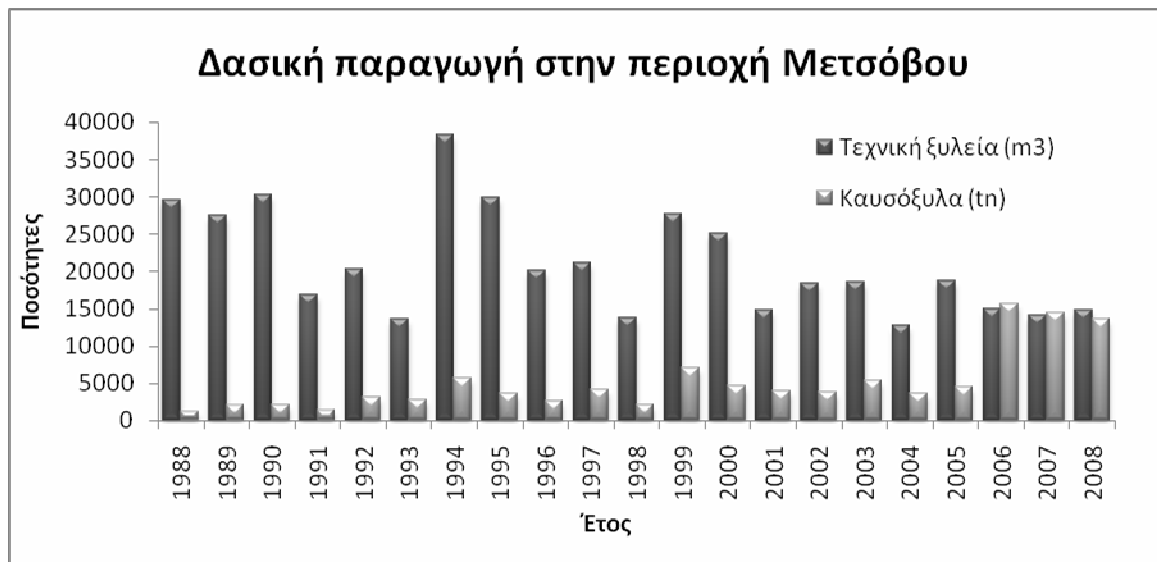
- Μαύρη Πεύκη
- Λευκόδερμη Πεύκη (Ρόμπολο)
- Ελάτη
- Οξυά

#### 4. Αποτελέσματα

##### 4.1. Ανάλυση και αξιολόγηση στοιχείων δασαρχείου

Μετά από ανάλυση δεδομένων των ετών 1988-2008 που ελήφθησαν από το δασαρχείο Μετσόβου σχετικά με τα επικρατούντα στην περιοχή είδη και τη διαθέσιμη προς παραγωγή ενέργειας δασική βιομάζα καθενός από αυτά έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

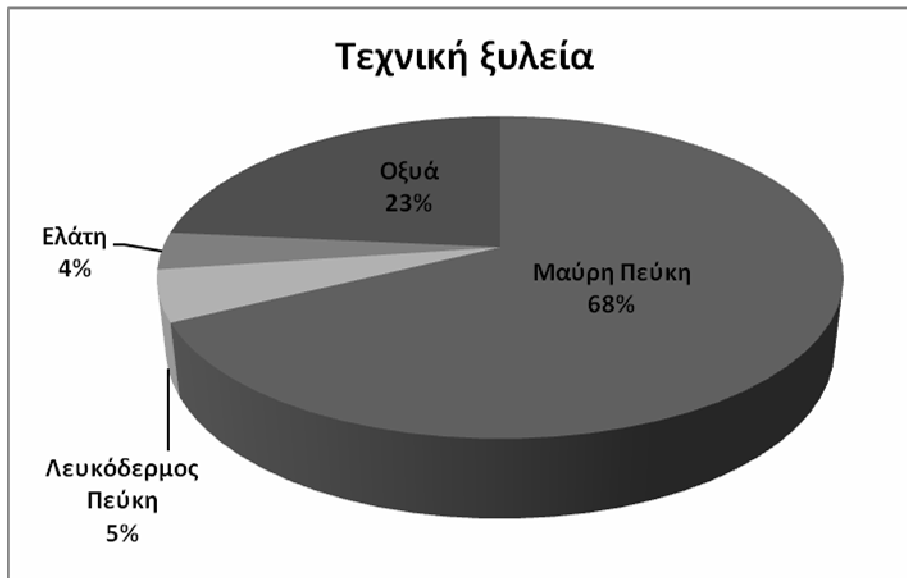
Η παραγωγή τεχνικής ξυλείας και καυσόξυλων αποτυπώνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



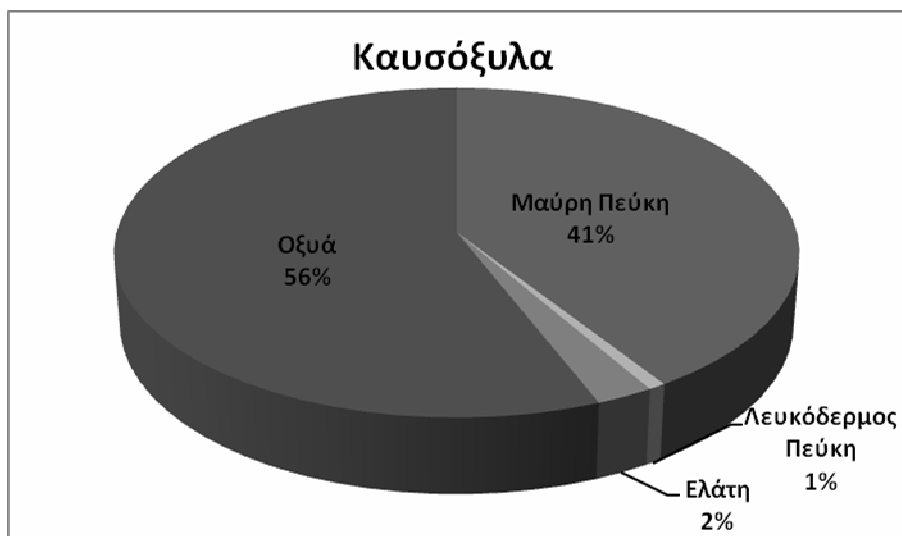
**Διάγραμμα 1.** Δασική παραγωγή στην περιοχή Μετσόβου τη χρονική περίοδο 1988-2008  
**Chart1.** Productivity of Metsovo's forests during 1988-2008



Ακόμα υπολογίζεται ότι ο μέσος όρος παραγόμενης τεχνικής ξυλείας είναι **21037 m<sup>3</sup>** και των παραγόμενων καυσόξυλων είναι **5141 tn**. Τα ποσοστά ξυλείας και καυσόξυλων φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



**Διάγραμμα 2.** Τεχνική ξυλεία ανά δασικό είδος  
**Chart 2.** Technical wood by forest type



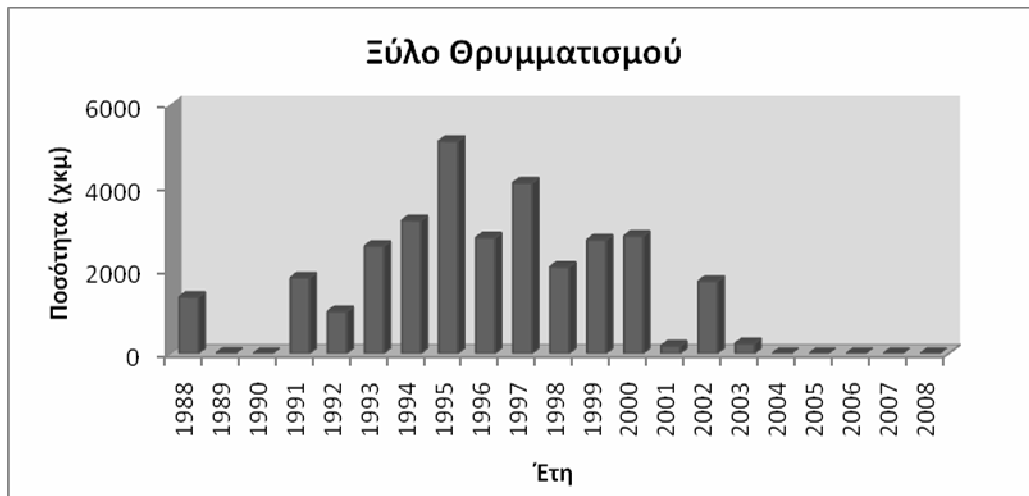
**Διάγραμμα 3.** Ποσοστά καυσόξυλων ανά δασικό είδος  
**Chart 3.** Percentages of firewood by forest type

Βλέπουμε ότι η τεχνική ξυλεία προέρχεται κυρίως από Μαύρη Πεύκη ενώ τα καυσόξυλα από Οξυά. Και στις δύο κατηγορίες, τα ποσοστά ξυλείας από Λευκόδερμη Πεύκη και Ελάτη είναι πολύ μικρότερα.

Σαν δασική βιομάζα προς παραγωγή ενέργειας όμως μπορούν να θεωρηθούν εκτός από τα καυσόξυλα και οι ποσότητες ξύλου θρυμματισμού οι οποίες στην περίπτωσή μας αντιστοιχούν σε **31817,5 χκμ<sup>2</sup>** δηλαδή 63635 tn ξυλείας<sup>3</sup>. Αυτό που παρατηρούμε, είναι ότι

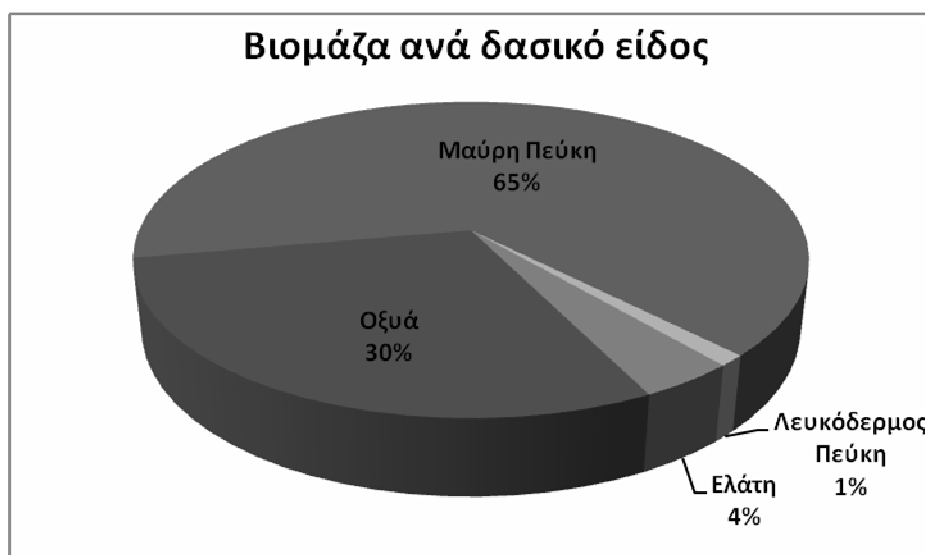
<sup>2</sup> χκμ: χωρικά (ή χορικά) κυβικά μέτρα

κατά τη διάρκεια της 20ετίας, η ποσότητα των υπολειμμάτων της υλοτομικής διαδικασίας ελαχιστοποιήθηκε, πιθανώς λόγω νέων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται κατά την υλοτομία και την επεξεργασία της ξυλείας κατά τη συγκομιδή.



**Διάγραμμα 3.** Ποσότητα ξύλου θρυμματισμού  
**Chart 3.** Woodchips

Έτσι, συγκεντρώνοντας τελικά όλες τις διαθέσιμες προς ενεργειακή εκμετάλλευση ποσότητες, βλέπουμε ότι το ποσοστό της Μαύρης Πεύκης ανέρχεται στο 65 % ενώ αυτό της Οξυάς κυμαίνεται στο 30 %. Αυτή η διαφοροποίηση από τα καυσόξυλα έγκειται στα ποσοστά βιομηχανικού ξύλου που προστέθηκαν και τα οποία ήταν κυρίως προερχόμενα από ξύλο θρυμματισμού Μαύρης Πεύκης.



**Διάγραμμα 4.** Ποσοστά βιομάζας Μετσόβου ανά δασικό είδος  
**Chart 4.** Total forest biomass by forest type

<sup>3</sup> Ο μέσος συντελεστής μετατροπής ξυλείας από χκμ. σε tn είναι ίσος με 2.

Σαν απόρροια των προηγούμενων στατιστικών συσχετίσεων, μπορούμε να πούμε πως στην περίπτωση του Μετσόβου, το θεωρητικό δυναμικό ισούται με το διαθέσιμο δυναμικό και θεωρούμε ότι είναι ίσο με **7997 tn**.

#### **4.2. Υπολογισμός θερμικού δυναμικού βιομάζας στην περιοχή του Μετσόβου και έλεγχος αξιοποίησής του**

Με βάση τα στοιχεία που παρατέθηκαν, μπορεί να υπολογιστεί το θερμικό περιεχόμενο της δασικής βιομάζας, αξιοποιώντας τους μέσους όρους παραγωγής τεχνικής ξυλείας και καυσόξυλων της εικοσαετίας. Για τους υπολογισμούς είναι απαραίτητα τα ακόλουθα τεχνικά μεγέθη:

Πυκνότητα ξυλείας	670 kg / m <sup>3</sup>
Θερμογόνος δύναμη ξύλου	3,833 kWh / kg <sup>4</sup>
Ποσοστό υπολειμμάτων από τη διαδικασία παραγωγής τεχνικής ξυλείας	4% (Νταλός, 2007)

Ο υπολογισμός του θερμικού περιεχομένου της δασικής βιομάζας γίνεται για δύο σενάρια αξιοποίησης:

- A.** Αξιοποίηση των υπολειμμάτων από την παραγωγή τεχνικής ξυλείας και πλήρης αξιοποίηση των καυσόξυλων για ενεργειακή παραγωγή.
- B.** Αξιοποίηση των υπολειμμάτων από την παραγωγή τεχνικής ξυλείας και κατά 50% αξιοποίηση των καυσόξυλων για ενεργειακή παραγωγή.

Στην πρώτη περίπτωση, το θερμικό περιεχόμενο από 100% αξιοποίηση των καυσόξυλων για ενεργειακή παραγωγή είναι **21.866.466 kWh**, ενώ στη δεύτερη περίπτωση όπου εξετάζεται μερική αξιοποίηση των καυσόξυλων, έχουμε **12.013.739 kWh**.

Τα παραπάνω ποσά ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντικά, αν ληφθεί υπ' όψιν ότι στο Μέτσοβο οι συνολικές ανάγκες θερμότητας των νοικοκυριών ανέρχονται σε **15.509.057 kWh**, σύμφωνα με το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια.

#### **Συμπεράσματα και σκέψεις για περαιτέρω έρευνα**

Το ξύλο αποτελεί την πιο παλιά μορφή βιομάζας που αξιοποιήθηκε ενεργειακά από τον άνθρωπο, κυρίως για παραγωγή θερμότητας. Η βιομάζα που προέρχεται από υπολείμματα δασών, βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου, ενεργειακές δασικές καλλιέργειες ή αστικά απόβλητα ξυλείας είναι ουσιαστικά η ξυλεία που χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς. Η ενεργειακή μετατροπή της είναι κατά βάση θερμοχημική μέσα από διεργασίες καύσης, αεριοποίησης ή πυρόλυσης. Από αυτή μπορεί να προέλθει ηλεκτρισμός, θερμότητα και καύσιμα προϊόντα.

Σήμερα, παρατηρείται παγκοσμίως μια τάση για πιο «καθαρές» και «πράσινες», μικρότερες και πιο αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Με βάση αυτή την αρχή προσπαθούμε να δούμε αν η εγκατάσταση μιας μονάδας αξιοποίησης της δασικής βιομάζας του Μετσόβου θα είναι βιώσιμη. Η έρευνά μας ξεκινά από την αξιολόγηση του δυναμικού σε ξυλεία της περιοχής και προχωρά στα οικονομικά οφέλη που μπορεί να έχει κάποιος που αναλαμβάνει το ρίσκο μιας τέτοιας επένδυσης.

Από την ανάλυση δεδομένων σχετικά με την παραγωγή ξυλείας στην περιοχή του Μετσόβου τη χρονική περίοδο 1988-2008 είδαμε ότι τα ποσοστά διαθέσιμου δυναμικού στην περιοχή είναι αρκετά για να καταστήσουν την παρουσία μιας μονάδας επεξεργασίας στην περιοχή

---

<sup>4</sup> Τα μεγέθη της πυκνότητας και της θερμογόνου δύναμης διαφοροποιούνται αναλόγως του δασικού είδους και άλλων παραμέτρων. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται ευρέως στις τεχνολογικές εφαρμογές.

πιθανή. Στη συνέχεια, με βάση την πυκνότητα και τη θερμογόνο δύναμη της ξυλείας, υπολογίστηκε το θερμικό περιεχόμενο αυτής και συνυπολογίζοντας τις θερμικές ανάγκες του Μετσόβου, διαπιστώθηκε ότι μπορούν να υπερκαλυφθούν με την ενεργειακή αξιοποίηση της ξυλείας.

Έτσι ανοίγεται ένας νέος δρόμος για την ανάπτυξη της περιοχής. Μια ανάπτυξη που απαιτεί την στήριξη της πολιτείας και την εφαρμογή χρηματοδοτικών κινήτρων σε ιδιώτες ή επιχειρήσεις ώστε να αξιοποιηθεί πλήρως το ενεργειακό περιεχόμενο της ξυλείας που διαθέτει. Οι ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες μπορούν να αποτελέσουν κεντρικό στοιχείο μίας ήπιας αναπτυξιακής στρατηγικής για τις ορεινές περιοχές και με εφαρμόζοντας κατάλληλη πολιτική, υπάρχει η δυνατότητα διάχυσης των ωφελημάτων στην τοπική κοινωνία.

### **Βιβλιογραφία**

- Bauen, A., & Kaltschmitt, M., Current use and potential of solid biomass in developing countries and their implications for CO<sub>2</sub> emissions. *Proceedings of the World Biomass Conference*. London: James & James, 2001.
- Berndes, G., *Biomass in the energy system resource requirements and competition for land*. Gothenburg: Department of PHYSICAL Resource Theory, Chalmers University of Technology and Gothenburg University, 2001.
- Demirbas, A., *Energy Conversion and Management*, 2001.
- FAO, *FAO Global Forest Resources Assessment 2000*.
- Ranta, T., *logging residues from regeneration felling for biofuel production - a GIS based availability and supply cost analysis*. Acta Universitatis Lappeenrantaensis, 2003.
- REN21, *Renewables 2008 Global Status Report: Energy Transformation Continues Despite Economic Slowdown*, 2009.
- Röser, D., Asikainen, A., Stupak, I., & Pasanen, K., *Forest Energy Resources and Potentials., Sustainable Use of Forest Biomass for Energy. A synthesis with focus on Baltic and Nordic region*. Springer, 2008.
- Solid Biomass Barometer 2008*. Renouvelables, L' Observatoire des Energies (EurObserv'Er): <http://www.eurobserv-er.org>
- Βασιλάκος, Ν., *Το νέο κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ και οι πιέσεις του στον ενεργειακό τομέα*. Ανάκτηση από <http://www.energypoint.gr>, 2008.
- Βουρδούμπας, Γ., *Εισαγωγή στις Τεχνολογίες της Ενεργειακής Αξιοποίησης της Βιομάζας*. Χανιά, 2002.
- ΕΣΥΕ. (2001).
- ΚΑΠΕ. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ( <http://www.cres.gr>)
- Κίττας, Κ., Γέμτος, Θ., Φουντάς, Σ., & Μπαρτζάνας, Θ. Βιοκαύσιμα και Ενεργειακές Καλλιέργειες. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας—Η θέση τους στο νέο ενεργειακό τοπίο της χώρας και στην περιοχή της Θεσσαλίας*. Λάρισα: ΤΕΕ– ΚΔΘ, 2007.
- Κομπελίτου, Μ., και Κοσκινά, Ε., *Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας από ξυλεία*, 2004.
- Ν. 3468/2006. (n.d.). *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις*. ΦΕΚ Α' 129/27-6-2006.

Νταλός, Γ., Η χρήση των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων, 2007.

Οδηγία 2003/30/ΕΚ. (n.d.). *Σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές*.

Δικτυακές πηγές

IUCN. International Union for Conservation of Nature (<http://www.iucn.org>)

Δικτυακή Πύλη για τα Δάση και τη διαχείριση Υδατικών Πόρων. (<http://epirus.dasi-ydata.gr>)

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (<http://www.minenv.gr>)

## **Energy Utilization of Forest Biomass: The case of Metsovo**

**El. Boutetsiou**, Environmental Management and Natural Resource  
**N. Katsoulakos**, Mechanical Engineer, PhD candidate N.T.U.A., Msc Environment and Development

### **Abstract**

Renewable Energy plays an important role in the changing geopolitical map of energy. Biomass is recognized as one of the most important types of renewable energy, mainly due to the benefits that derive from both its production and use for energy and other products. The special importance of this is reflected in official European energy policy documents.

Biomass for energy includes every type of biomass (forest biomass, plant residues, solid urban residues and energy cultivations) that can be used to the production of solid and/or liquid fuel. The role of biomass to the partial replacement of fossil fuels is crucial because by 2010 biomass it should cover 8% of the energy needs from a 4% that applies today.

The amount of available forest biomass for energy purposes is basically firewood, charcoal, forest residues, products of forest clearing and residues from wood treatment.

This essay is part of a personal project under the IPPS "Environment and Development of Mountainous Areas" of the N.T.U.A. where all the issues are presented in detail taking into account environmental, economic and social factors.

Regarding the contents of this paper, they include introduction to the concept of biomass and particularly wood biomass, presentation of wood –to- energy cycle and evaluations of the energy potential of forest species grown in the region of Metsovo.