

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

## A. Μουρτσιάδης

Διπλ. μηχανολόγος μηχανικός, Τηλέφωνο : 210-6969216, E-mail : mourtsiadisa@ypan.gr

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εισήγηση αναφέρεται καταρχάς εν συντομία στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στη συμμετοχή της βιομάζας σ'αυτές. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα βιομηχανικά απόβλητα ξύλου ως πηγής βιομάζας για ενεργειακή αξιοποίηση και παρατίθενται ορισμένα ποσοτικά δεδομένα. Παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης του Περιβαλλοντικού Βιομηχανικού Δικτύου αποβλήτων ξύλου της Shelman A.E. στα πλαίσια του οποίου συνεργάζονται δεκάδες επιχειρήσεις, ανταλλάσσοντας απόβλητά ξύλου. Παράλληλα γίνεται αναφορά στη διάταξη των επιχειρήσεων του δικτύου και στον τρόπο και τα ποσοτικά δεδομένα της λειτουργίας του. Για την πληρέστερη παρουσίαση του δικτύου στην εισήγηση περιλαμβάνεται το διάγραμμα βιομηχανικής συμβίωσης του με τις ροές των αποβλήτων ξύλου μεταξύ των συμμετεχουσών επιχειρήσεων. Στη συνέχεια εξετάζεται η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων ξύλου από τη Shelman A.E.

Από την ανάλυση της μελέτης περίπτωσης προκύπτει, ότι η αξιοποίηση των βιομηχανικών αποβλήτων ξύλου για την παραγωγή θερμικής ενέργειας μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών και μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων.

Σημειώνεται όμως, ότι μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων ξύλου στην Ελλάδα παραμένουν αναξιοποίητες και απορρίπτονται από τα ξυλουργεία στους χώρους διάθεσης αστικών αποβλήτων, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το συνολικό τους όγκο και τη ρύπανση.

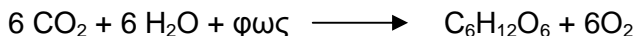
Διαπιστώνεται έτσι η ανάγκη μιας ολοκληρωμένης παρέμβασης προς την κατεύθυνση της αύξησης του ποσοστού αξιοποίησης των αποβλήτων αυτής της κατηγορίας.

**Λέξεις Κλειδιά:** ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας, βιομηχανικά απόβλητα ξύλου, βιομηχανική συμβίωση, περιβαλλοντικά βιομηχανικά δίκτυα

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιομάζα

Η βιομάζα, όπως και οι περισσότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, πηγάζει από τον ήλιο. Ο βασικός μηχανισμός που επιτρέπει τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε βιομάζα και στη συνέχεια την αξιοποίηση της ως πηγής ενέργειας είναι η φωτοσύνθεση. Με τη φωτοσύνθεση η ενέργεια του φωτός μετατρέπεται σε χημική ενέργεια, η οποία εμπεριέχεται στα συστατικά της βιομάζας που αρχικά είναι τα μονοσακχαρίδια. Η μετατροπή αυτή εκφράζεται με την εξίσωση :



Εν ολίγοις με τη φωτοσύνθεση τα ανόργανα υλικά, όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και το νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ), μετατρέπονται σε οργανικά και απελευθερώνεται οξυγόνο. Από τα αρχικά οργανικά προϊόντα της φωτοσύνθεσης (μονοσακχαρίδια) απορρέουν δευτερεύοντα προϊόντα όπως τα πολυσακχαρίδια, τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και ένα μεγάλο εύρος οργανικών ενώσεων, οι οποίες άλλοτε παράγονται και άλλοτε δεν παράγονται από ένα συγκεκριμένο είδος φυτού.

Όταν η βιομάζα καίγεται, η διεργασία αντιστρέφεται και η ενέργεια, η οποία αποθηκεύτηκε κατά τη φωτοσύνθεση, απελευθερώνεται.

## 1.2. Βιομηχανικά απόβλητα ξύλου ως πηγή βιομάζας για ενεργειακή αξιοποίηση

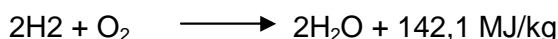
Τα βασικά συστατικά του ξύλου είναι η λιγνίνη και η κυτταρίνη που μαζί αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της ξηρής μάζας του. Η λιγνίνη είναι μία από τις πλέον διαδεδομένες φυσικές πολυμερείς ενώσεις ενώ η κυτταρίνη χημικώς είναι πολυσακχαρίδιο, διότι το μόριό της είναι μακριά αλυσίδα αποτελούμενη από μόρια γλυκόζης. Η λιγνίνη είναι πλούσια σε άνθρακα και υδρογόνο με αποτέλεσμα η θερμογόνος δύναμη της να είναι υψηλότερη της κυτταρίνης. Το ξύλο και ο φλοιός του περιέχουν επίσης υγρές ουσίες όπως οι φαινόλες και τα τερπένια.

Συγκριτικά με άλλα καύσιμα, το ξύλο έχει σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (περίπου 50% της ξηρής μάζας) και υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο (περίπου 40%), κάτι που οδηγεί σε σχετικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα ξηρής μάζας. Η περιεκτικότητα του ξύλου σε άζωτο (N) είναι 0,5 - 2,3% ανάλογα με το είδος του δένδρου. Το ξύλο πρακτικά δεν περιέχει θείο (S) καθόσον η περιεκτικότητά του σ' αυτό είναι περίπου 0,05% (Πίνακας 1.2α).

Χημικό στοιχείο	Περιεκτικότητα επί ξηρής μάζας (%)
Άνθρακας	48 – 50
Υδρογόνο	6 – 6,5
Οξυγόνο	38 – 42
Άζωτο	0,5 – 2,3
Θείο	0,05

Τόσο το πρωτογενές ξύλο όσο και τα απόβλητα του έχουν δυο χρήσεις : ως καύσιμη ύλη και ως πρώτη ύλη διαφόρων προϊόντων.

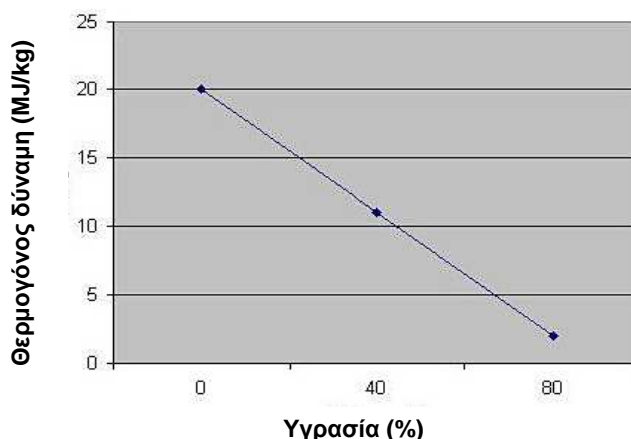
Η καύση του ξύλου αποτελεί μια χημική αντίδραση των χημικών στοιχείων του με το οξυγόνο του αέρα. Εάν η καύση του ήταν πλήρης, τότε θα ίσχυαν οι εξής εξισώσεις :



Ωστόσο στην πράξη η καύση ποτέ δεν είναι πλήρης και έτσι εκτός του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και του νερού (H<sub>2</sub>O), παράγονται και ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογονανθράκων (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>).

Οι τρεις βασικότερες ιδιότητες του ξύλου είναι οι : η υγρασία, η πυκνότητα και η θερμογόνος δύναμη.

**Υγρασία** – είναι η περιεκτικότητα του ξύλου σε νερό. Έχει μεγάλη επίδραση στη θερμογόνο δύναμη του ξύλου, καθόσον το νερό, που περιέχει το ξύλο, για να εξατμιστεί καταναλώνει μέρος της θερμικής ενέργειας που παράγεται κατά την καύση του ξύλου (2,5 MJ/kg νερού), με συνέπεια τη μείωση της ωφέλιμης θερμότητας, που παράγεται κατά την καύση. Όσο πιο μεγάλη είναι η υγρασία τόσο πιο μικρή είναι η θερμογόνος δύναμη του ξύλου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2.



**Σχήμα 1.2** Η σχέση της υγρασίας του ξύλου και της θερμογόνου δύναμής του

Η υγρασία του ξύλου κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 65%. Ξύλο με υγρασία μεγαλύτερη του 80% δεν καίγεται πλέον από μόνο του.

**Πυκνότητα** – είναι η μάζα του ενός m<sup>3</sup> ξύλου. Η πυκνότητα, τόσο του πρωτογενούς ξύλου, όσο και των αποβλήτων του, είναι μικρότερη του νερού, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.2β και εξαρτάται από το είδος του δένδρου, την περιοχή όπου φυτρώνει και την ηλικία του.

Προϊόν	Πυκνότητα kg/m <sup>3</sup>
Πρωτογενές ξύλο	360 έως 590
Δασικά υπολείμματα	405 έως 500
Φλούδα κορμών	περίπου 260
Πριονίδια	380 έως 480

**Θερμογόνος δύναμη** – είναι η ποσότητα θερμικής ενέργειας που παράγεται από την καύση ενός κιλού ξύλου καθώς όλο το νερό που περιέχει αυτό εξατμίζεται. Η θερμογόνος δύναμη του ξύλου μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και το τμήμα του δένδρου από το οποίο προέρχεται το ξύλο (Πίνακας 1.2γ), χωρίς ωστόσο μεγάλες διακυμάνσεις.

Όπως προαναφέρθηκε, μεγάλη επίδραση στη θερμογόνο δύναμη του ξύλου έχει και η περιεκτικότητα του σε νερό (υγρασία).

Είδος δένδρου	Κορμός	Φλούδα	Κορυφή	Συνολικά
Πεύκο	19,31	19,53	20,23	19,52
Έλατο	19,05	18,80	19,77	19,29
Σημύδα	18,65	22,61	19,70	19,30
Λεύκα	18,67	18,57	18,61	18,65

Στον Πίνακα 1.2δ παρουσιάζεται η θερμογόνος δύναμη του ξύλου συγκριτικά με τη θερμογόνο δύναμη άλλων καυσίμων.

Καύσιμο	Θερμογόνος δύναμη MJ/kg
Ξύλο (ξηρό)	18,5 – 21,0
Τύρφη (ξηρή)	20,0 – 21,0
Λιθάνθρακας	23,3 – 24,9
Πετρέλαιο	40,0 – 42,3

Τα απόβλητα από τις βιομηχανικές μονάδες επεξεργασίας ξύλου αποτελούν επί του παρόντος τη μεγαλύτερη πηγή βιομάζας στο εμπόριο, ενώ η ετήσια παραγωγή τους στην Ελλάδα ανέρχεται σε 290.000 τόνους ξηρής ύλης.

Τα βασικά είδη των βιομηχανικών αποβλήτων ξύλου είναι: τα πριονίδια, τα πλανίδια, η πούδρα ξύλου, η φλούδα κορμών, ενώ οι ιδιότητες τους εξαρτώνται από το είδος και το τμήμα του δένδρου από το οποίο προέρχονται, όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω. Σημειώνεται ότι, εκτός από τη φλούδα κορμών, τα υπόλοιπα απόβλητα μπορούν να προέρχονται τόσο από την επεξεργασία πρωτογενούς ξύλου όσο και των προϊόντων ξύλου.

## **2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΞΥΛΟΥ ΤΗΣ SHELMAN A.E.**

### **2.1. Περιγραφή του Δικτύου**

Το κεντρικό σημείο αναφοράς του Δικτύου είναι η βιομηχανία Shelman A.E. Η βιομηχανία αυτή είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός προϊόντων ξύλου στην Ελλάδα. Παράγει μια σειρά προϊόντων όπως : πριστή ξυλεία, παρκέτα, κοντραπλακέ, μοριοσανίδες, καπλαμάδες και άλλα.

Η Shelman A.E. έχει δυο παραγωγικές μονάδες: η μία βρίσκεται στην περιοχή Βασιλικού Ευβοίας και η άλλη στη ΒΙΠΕ Κομοτηνής. Το εργοστάσιο του Βασιλικού είναι μεγαλύτερο και καταλαμβάνει μεγάλη παραθαλάσσια έκταση. Η κάθε μια από τις δυο μονάδες έχει αναπτύξει από ένα ξεχωριστό Δίκτυο αξιοποίησης αποβλήτων ξύλου. Στο Δίκτυο της Shelman A.E. Βασιλικού συμμετέχουν πλην αυτής δεκάδες ξυλουργεία της Αττικής και 20 περίπου ξυλουργεία της περιοχής Χαλκίδας-Βασιλικού. Σ' αυτό της Κομοτηνής συμμετέχουν πλην αυτής δεκάδες ξυλουργεία της ευρύτερης περιοχής Μακεδονίας και Θράκης, μια μονάδα καθαρισμού από ξένα σώματα-στεγνώματος πριονιδιών των Σερρών και επιπλέον, 10 περίπου ξυλουργεία της πόλης της Κομοτηνής.

Οι ροές μεταξύ των επιχειρήσεων περιλαμβάνουν κυρίως διαφόρων ειδών απόβλητα ξύλου και δευτερευόντως σκραπ σιδήρου, που αφαιρείται από τα απόβλητα ξύλου (παλαιές κλειδαριές, καρφιά κλπ). Το ενδιαφέρον είναι, ότι τα απόβλητα ξύλου χρησιμοποιούνται από τη Shelman A.E. τόσο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή άλλων προϊόντων (όπου ενσωματώνονται σ' αυτά), όσο και ως ενεργειακό υλικό στους λέβητες παραγωγής υπέρθερμου νερού, θερμού ελαίου και καυσαερίων που χρειάζονται στην παραγωγική διαδικασία. Η ενσωμάτωση στο προϊόν γίνεται σε ποσοστό περίπου 20% του προϊόντος (το 80% παραμένει πρωτογενές ξύλο), προκειμένου να διατηρηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Στη Φωτ. 2.1 παρουσιάζεται ο χώρος συγκέντρωσης αποβλήτων ξύλου εντός του εργοστασίου.

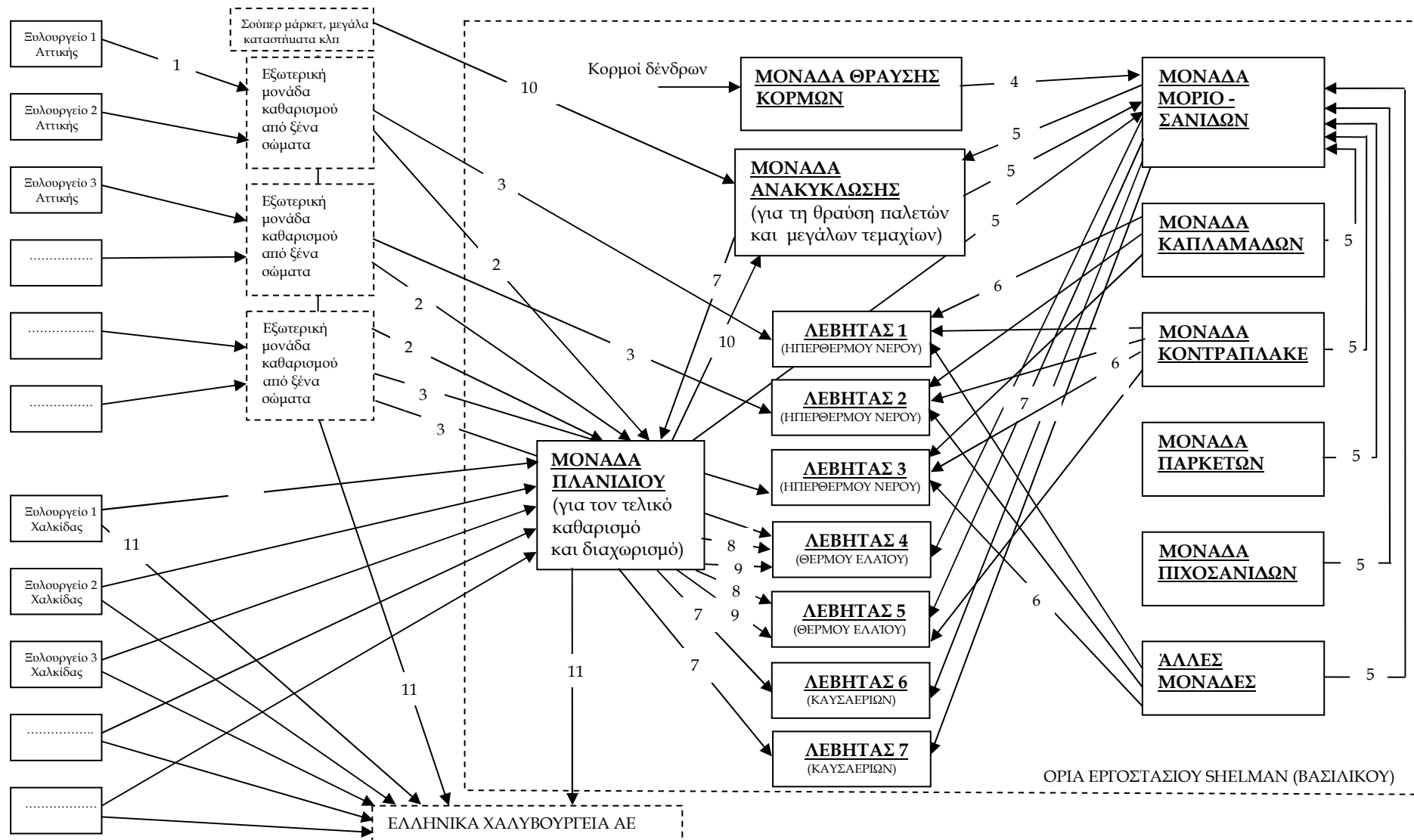


**Φωτ. 2.1** Χώρος συγκέντρωσης αποβλήτων ξύλου εντός του εργοστασίου

Ενδιαφέρον είναι επίσης, ότι εκτός από τις εξωτερικές ροές αποβλήτων από τα ξυλουργεία προς τη Shelman A.E., υπάρχουν και σημαντικές εσωτερικές ροές μεταξύ των παραγωγικών μονάδων που βρίσκονται εντός του εργοστασίου.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι ροές αποβλήτων του Δικτύου της Shelman A.E. Βασιλικού και στο Σχήμα 2.1 το σχετικό διάγραμμα βιομηχανικής συμβίωσης.

<b>Πίνακας 2.1</b> Βασικές ροές αποβλήτων του ΠΒΔ επεξ. ξύλου (δεδομένα έτους 2006)			
α/α	Είδος αποβλήτου	α/α	Είδος αποβλήτου
1	Ανάμεικτα υπολείμματα ξύλου	7	Στεγνή πούδρα ξύλου
2	Μερικώς καθαρισμένα υπολείμματα ξύλου	8	Υγρή πούδρα ξύλου
3	Ακάθαρτα υπολείμματα ξύλου	9	Καθαρισμένα υπολείμματα ξύλου (χονδρά)
4	Πρωτογενή θραύσματα ξύλου	10	Παλαιές παλέτες και μεγάλα τεμάχια ξύλου
5	Ξακρίβια ξύλου	11	Σκραπ σιδήρου
6	Φλούδα κορμών		



**Σχήμα 2.1** Διάγραμμα βιομηχανικής συμβίωσης του ΠΒΔ επιχειρήσεων επεξεργασίας ξύλου της Shelman A.E. Βασιλικού (δεδομένα έτους 2006)

## 2.2 Ποσοτική προσέγγιση της ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων ξύλου στο Δίκτυο – περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό στοιχείο της λειτουργίας του Δικτύου αποτελεί η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων ξύλου. Ως ενεργειακό υλικό αξιοποιούνται τα εξής είδη αποβλήτων: φλούδα κορμών, στεγνή πούδρα, υγρή πούδρα, καθαρισμένα υπολείμματα και ακάθαρτα υπολείμματα.

Τα ποσοτικά δεδομένα, σε ότι αφορά την ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων ξύλου στο Δίκτυο της Shelman A.E. είναι:

- Η εξοικονόμηση ποσού της τάξεως των 108.000 ευρώ ετησίως από την υποκατάσταση του μαζούτ με απόβλητα ξύλου.
- Η μείωση των εξόδων κατά 3.700.000 ευρώ περίπου για το 2008, από υποκατάσταση ξύλου υλοτομίας με ανακυκλώσιμα απόβλητα ξύλου.
- Η περιστολή δαπανών ύψους 220.000 ευρώ ανά έτος, από τη μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνεπάγεται η ανακύκλωση αποβλήτων ξύλου σε σχέση με τη διαχείριση ξύλου υλοτομίας.

## 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση της μελέτης περίπτωσης προκύπτει, ότι η αξιοποίηση των βιομηχανικών αποβλήτων ξύλου για την παραγωγή θερμικής ενέργειας μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών και μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων.

Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων ξύλου στην Ελλάδα παραμένουν αναξιοποίητες και απορρίπτονται από τα ξυλουργεία στους χώρους διάθεσης αστικών αποβλήτων, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό το συνολικό τους όγκο και τη ρύπανση.

Διαπιστώνεται έτσι η ανάγκη μιας ολοκληρωμένης παρέμβασης προς την κατεύθυνση της αύξησης του ποσοστού αξιοποίησης των αποβλήτων αυτής της κατηγορίας.

## 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alakangas, E. 2005, *Properties of wood fuels used in Finland*, VTT Processes, Jyväskylä.
- Βάμβουκα, Δ. 2009, *Βιομάζα, Βιοενέργεια και Περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Korhonen, J. 2001, 'Regional industrial ecology: examples from regional economic systems of forest industry and energy supply in Finland', *Journal of Environmental Management*, vol.63, issue 4.
- Korhonen, J., Wihersaari, M. & Savolainen, I. 2000, 'Industrial ecology of a regional energy supply system—the case of Jyväskylä region', *Journal of Greener Management International*, vol.26.
- Korhonen, J. & Niutanen, V. 2003, 'Material and energy flows of a local forest industry system in Finland', *Sustainable Development*, vol.11, issue.3.
- Κούκιος, Ε. & Κουλλάς, Δ. 1992, 'Η αξιοποίηση της βιομάζας στο μεταίχμιο γεωργίας, βιομηχανίας, περιβάλλοντος και ενέργειας : ευρωπαϊκές προοπτικές και ελληνικές δυνατότητες', Εισήγηση Συνεδρίου *Ήπιες μορφές ενέργειας*, Ξάνθη.
- Μαρίνος-Κουρής, Δ. 1999, 'Ανάγκες σε ενέργεια και συμβατικές μορφές ενέργειας', στο *Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον-Τόμος Β<sub>1</sub>*, ΕΑΠ, Πάτρα.
- Merrild, H. & Christensen, T.H. 2009, 'Recycling of wood for particle board production: accounting of greenhouse gases and global warming contributions', *Waste Management & Research*, vol.27, no.8.
- Rivela, B., Moreira, M.T., Munoz, I., Rieradevall, J. & Feijoo, G. 2006, 'Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture', *Science of the Total Environment*, vol.357.
- ΣΕΒ 2009, *Ανάδειξη Πρωτοβουλιών Βιώσιμης Ανάπτυξης*, Αθήνα.