

# ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΞΥΛΟΥ



ΚΑΥΣΟΞΥΛΑ | ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΞΥΛΟ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗ | ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ | ΕΜΠΟΡΙΟ

[www.biomasstradecentre2.eu](http://www.biomasstradecentre2.eu)



## Κύριοι συντάκτες

Valter Francescato, Eliseo Antonini – AIEL Italian Agriforestry Energy Association, [www.aiel.cia.it](http://www.aiel.cia.it)

Luca Zuccoli Bergomi – TESAF, University of Padua, [www.tesaf.unipd.it](http://www.tesaf.unipd.it)

## Βοηθοί συντάκτες

Christian Metschina - Lk-Stmk, Styrian Chamber of Agriculture and Forestry, [www.lk-stmk.at](http://www.lk-stmk.at)

Christian Schnedl - WVB-Stmk GmbH, Styrian Forest Owners Association, [www.waldverband-stmk.at](http://www.waldverband-stmk.at)

Nike Krajnc – SFI, Slovenian Forestry Institute, [www.gozdis.si](http://www.gozdis.si)

Kajetan Kosciak – POLBIOM, Polish Biomass Association, [www.polbiom.pl](http://www.polbiom.pl)

Gianfranco Nocentini – ARSIA, Tuscany Agriculture and Forestry, [www.arsia.toscana.it](http://www.arsia.toscana.it)

Stefano Stranieri – GAL GAS, Local Action Group of Garfagnana-Lucca, [www.galgarfagnana.com](http://www.galgarfagnana.com)

## Μετάφραση

Ιωάννης Ελευθεριάδης, Ιωάννα Παπαμιχαήλ, ΚΑΠΕ



[www.biomasstradecentre2.eu](http://www.biomasstradecentre2.eu)

Με τη υποστήριξη του



EIE/10/115/SI2.591387

Η ευθύνη για το περιεχόμενο αυτού του φυλλαδίου εναπόκειται στους συντάκτες. Δεν απεικονίζει απαραίτητα την άποψη των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν είναι αρμόδια για οποιαδήποτε πιθανή χρήση των πληροφοριών που περιλαμβάνονται σε αυτό

Πνευματικά δικαιώματα © 2008 από τους συντάκτες  
Κανένα τμήμα αυτής της εργασίας δεν μπορεί να αναπαραχθεί με εκτύπωση, φωτοαντίγραφο ή κάθε άλλο μέσο χωρίς γραπτή άδεια από τους κύριους συντάκτες

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	6
1.1 Όγκος .....	6
1.2 Βάρος.....	6
1.3 Αναλογίες βάρους /όγκου .....	6
1.4 Ορολογία όγκου .....	7
1.5 Πυκνότητα της μάζας των κύριων δασικών ειδών.....	8
1.6 Φαινόμενη πυκνότητα των κύριων στερεών βιοκαυσίμων <sup>[2]</sup> .....	10
1.7 Στρογγύλη ξυλεία/κούτσουρα/θρυμματισμένο ξύλο: συντελεστές μετατροπής ....	10
2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ .....	14
2.1 Μονάδες μέτρησης θερμικής ενέργειας .....	14
2.2 Ενέργεια και ισχύς .....	14
2.3 Το νερό στο ξύλο .....	16
2.4 Συρρίκνωση και διόγκωση του όγκου.....	17
2.5 Περιεχόμενη υγρασία .....	17
2.6 Χημική σύνθεση της βιομάζας .....	18
2.7 Θερμιδική αξία .....	20
2.8 Αναλυτικός υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης .....	24
2.9 Ενεργειακή πυκνότητα .....	26
2.10 Ισοδυναμίες ενέργειας με ορυκτά καύσιμα <sup>[3]</sup> .....	26
3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΥΣΟΕΥΛΩΝ ΚΑΙ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΞΥΛΟΥ.....	28
3.1 Φάσεις και συστήματα εργασίας .....	28
3.2 Μηχανήματα και εξοπλισμός.....	29
3.3 Η εφοδιαστική αλυσίδα ξύλου για ενέργεια και το κόστος της .....	35
4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	37
4.1 Τεχνικές προδιαγραφές κούτσουρων και θρυμματισμένου ξύλου .....	37
4.2 Όργανα για τον γρήγορο προσδιορισμό της υγρασίας .....	39

4.3	Όργανα για τον προσδιορισμό των διαστάσεων του θρυμματισμένου ξύλου.....	40
4.4	Ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τους λέβητες.....	40
4.5	Διαδικασίες φυσικής ξήρανσης του ξύλου .....	42
4.6	Φυσική ξήρανση των κούτσουρων .....	44
4.7	Φυσική ξήρανση του θρυμματισμένου ξύλου .....	48
4.8	Κέντρο Εφοδιασμού & Εμπορίου Βιομάζας (BL&TC) .....	51
4.9	Συστήματα ξήρανσης .....	53
5	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ, ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ.....	58
5.1	Το τελικό κόστος της ενέργειας.....	59
5.2	Πώληση καυσόξυλων και θρυμματισμένου ξύλου .....	60
5.3	Κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές CO <sub>2</sub> .....	63
6	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	65
A1.	Σχέδιο σύμβασης για την πώληση θρυμματισμένου ξύλου με ενεργειακό περιεχόμενο	65
A2.	Παράδειγμα δήλωσης ποιότητας καυσίμου για θρυμματισμένο ξύλο .....	68
A3.	Οριακές τιμές για τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην τέφρα βιομάζας που χρησιμοποιείται σε γεωργικές εκτάσεις στην Αυστρία <sup>[9],[10]</sup> .....	69
A4.	Παράδειγμα καταλόγου τιμών για επαγγελματικές συναλλαγές με κούτσουρα-καυσόξυλα .....	70
A5.	Συντομογραφίες και σύμβολα .....	71
A6.	Μονάδες Διεθνούς Συστήματος.....	72
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν εγχειρίδιο αποτελεί ένα από τα κύρια παραδοτέα του έργου με ακρωνύμιο BIOMASSTRADECENTRES, το οποία υποστηρίζεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ανταγωνιστικότητα και την Καινοτομία (EACI), στο πλαίσιο του προγράμματος Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη (IEE).

Η έκδοση αυτή αποσκοπεί στη βελτίωση του επαγγελματισμού στην υλοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού καυσόξυλων και θρυμματισμένου ξύλου, σε περιφερειακή κλίμακα, υποστηρίζοντας την εφαρμογή, στην αγορά, των Ευρωπαϊκών τεχνικών προδιαγραφών CEN/TS 14961 και επιτρέποντας, ταυτόχρονα, μια καλύτερη αντιστοιχία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Οι παραγωγοί καλούνται να προμηθεύσουν καύσιμα από ξύλο, σύμφωνα με την ποιοτική ταξινόμηση των στερεών βιοκαυσίμων και επομένως, κατάλληλα για τις προδιαγραφές των συστημάτων θέρμανσης. Προκειμένου να ενθαρρυνθεί η εγκατάσταση νέων σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης με ξύλο, είναι σημαντικό η προμήθεια των καυσόξυλων και του θρυμματισμένου ξύλου να ανταποκρίνεται στην εμπιστοσύνη των πελατών και των επενδυτών για διαθεσιμότητα καυσίμων ξύλου καλής ποιότητας, σε τοπικό επίπεδο.

Οι κατασκευαστές συστημάτων θέρμανσης με ξύλο, ιδιαίτερα εκείνοι που παράγουν μικρής και μεσαίας κλίμακας συσκευές, ζητούν να διατίθενται στην αγορά καύσιμα από ξύλο που ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας, πάνω στα οποία έχουν ελεγχθεί και πιστοποιηθεί οι συσκευές θέρμανσης που ανέπτυξαν (αποδοτικότητα και συντελεστές εκπομπών).

Με βάση επιτυχημένα παραδείγματα - σε ευρωπαϊκό επίπεδο - έχει αποδειχθεί ξεκάθαρα ότι η δημιουργία Κέντρων Εφοδιασμού & Εμπορίου Βιομάζας (BL&TC) παρέχει τη δυνατότητα ώστε να δημιουργηθεί ένα "σημείο" επαγγελματικού εμπορίου καυσίμων ξύλου, παρέχοντας έτσι, φιλική εξυπηρέτηση στους καταναλωτές, διασφάλιση παράδοσης και πρότυπα ποιότητας για τα καύσιμα από ξύλο.

Valter Francescato & Eliseo Antonini  
Legnaro (Padua, Ιταλία), Δεκέμβριος 2008

## 1 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

### 1.1 Όγκος

Το **συμπαγές κυβικό μέτρο** ( $m^3$  ή κ.μ.) χρησιμοποιείται με αναφορά στον όγκο που έχει εξολοκλήρου καταληφθεί από ξύλο. Αυτή η μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται συνήθως για την τεχνική ξυλεία.

Στο **χωρικό κυβικό μέτρο** (χωρικό  $m^3$  ή χ.κ.μ.), το οποίο αναφέρεται στον όγκο που καταλαμβάνεται από το ξύλο καθώς και από τον αέρα, το κενό διάστημα θεωρείται ως γεμάτος χώρος και χρησιμοποιείται συνήθως για τα καύσιμα από ξύλο, αντί της προηγούμενης μονάδας.

Το **χωρικό κυβικό μέτρο στοιβαχτού** (χωρικό  $m^3$  ή χ.κ.μ., στοιβαχτού) είναι η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για τα τακτικά στοιβαγμένα κούτσουρα και καυσόξυλα.

Το **χωρικό κυβικό μέτρο χύδην** (χωρικό  $m^3$  ή χ.κ.μ. χύδην) είναι η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται συνηθέστερα για το θρυμματισμένο ξύλο, αλλά και για τα καυσόξυλα.

Ο όγκος των καυσίμων από ξύλο, συμπυκνωμένων ή μη, ποικίλλει ανάλογα με το σχήμα, το μέγεθος και τη διάταξη των μεμονωμένων κομματιών του ξύλου. Ο στερεός όγκος, δηλαδή η σχέση μεταξύ κατειλημμένου και κενού όγκου, εξαρτάται από αυτούς τους παράγοντες.

### 1.2 Βάρος

Οι μονάδες του βάρους, που χρησιμοποιούνται για τα καύσιμα από ξύλο, είναι το κιλό και ο μετρικός τόνος.

Παρακάτω αναφέρονται οι μονάδες μέτρησης για τον όγκο και το βάρος που συνήθως χρησιμοποιούνται στο εμπόριο των καυσίμων από ξύλο.

Μονάδες μέτρησης			
Τόνος	Κιλό	Χωρικό κυβικό μέτρο στοιβαχτού	Χωρικό κυβικό μέτρο χύδην
t	kg	Χωρικό $m^3$ ή χ.κ.μ. στοιβαχτού	Χωρικό $m^3$ ή χ.κ.μ. χύδην
Κούτσουρα, καυσόξυλα Θρυμματισμένο ξύλο Σύμπηκτα (pellets) & μπριγκέτες		Κούτσουρα, καυσόξυλα	Θρυμματισμένο ξύλο Καυσόξυλα

### 1.3 Αναλογίες βάρους /όγκου

Τρεις διαφορετικές μονάδες μέτρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφράσουν την αναλογία βάρους/όγκου των καυσίμων από ξύλο:

**Ειδικό βάρος:** πρόκειται για μια μονάδα, χωρίς διάσταση, που προκύπτει από τη σχέση μεταξύ του βάρους και του όγκου του νερού (στους 4°C) και της ξυλώδους ουσίας. Αναφέρεται στο βάρος της ξυλώδους ουσίας σε ξερή βάση – κυρίως για την κυτταρίνη, τις ημικυτταρίνες και τη λιγνίνη - που αποτελούν τα τοιχώματα των κυττάρων. Το ειδικό βάρος της εν λόγω ουσίας είναι 1,5 και αυτή η ίδια τιμή ισχύει για όλα τα είδη.

**Πυκνότητα μάζας:** Αναφέρεται στη σχέση μεταξύ του βάρους και του όγκου της ξυλώδους δομής (πορώδες σώμα) που αποτελείται από μια σειρά ουσιών και κενά (αγγειακές κοιλότητες), ποικιλοτρόπως γεμάτα με αέρα ή/και νερό. Εκφράζεται σε μονάδες  $\text{g}/\text{cm}^3$  ή  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Η πυκνότητα της μάζας συχνά αναφέρεται ως φαινόμενη πυκνότητα ή ακόμη και λανθασμένα, απλά, ως ειδικό βάρος.

Όσο για τα σύμπηκτα (pellets) ξύλου, η πυκνότητα της μάζας σχετίζεται με το βάρος ενός μονό κομματιού ξύλου, η οποία πρέπει να είναι πάνω από  $1,15 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Στην προκειμένη περίπτωση, όταν τοποθετείται σε ένα δοχείο γεμάτο νερό, το κομμάτι του ξύλου βυθίζεται γρήγορα.

**Φαινόμενη πυκνότητα:** Χρησιμοποιείται για τους σωρούς των καυσίμων από ξύλο (καυσόξυλα και θρυμματισμένο ξύλο), που έχουν κενά ανάμεσα στα κομμάτια του ξύλου που μπορεί να είναι μεγαλύτερα ή μικρότερα ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα των ξύλων. Εκφράζεται είτε σε  $\text{kg}/\text{m}^3$  στοιβαχτού ή  $\text{kg}/\text{m}^3$  χύδην, ανάλογα με το αν ο σωρός είναι στοιβαγμένος ή χύμα.

## 1.4 Ορολογία όγκου

Για να γίνει ενιαία και συγκρίσιμη οποιαδήποτε αναφορά στις μονάδες μέτρησης, που χρησιμοποιούνται στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από ξύλο, δίδονται οι ακόλουθοι ορισμοί, οι οποίοι αντιστοιχούν σε εκείνους που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες (Πίνακας 1.4.1).



**Πίνακας 1.4.1** Ορολογία όγκων σε έξι γλώσσες

ΑΓΓΛΙΚΑ	Σύμβολο	ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ	Σύμβολο	ΓΑΛΛΙΚΑ	Σύμβολο
Solid cubic metre	Solid m <sup>3</sup>	Festmeter	Fm	Mètre cube de bois plein	m <sup>3</sup>
Bulk cubic metre	Bulk m <sup>3</sup>	Schüttraummeter	Srm	Mètre cube apparent plaquette	MAP
Stacked cubic metre	Stacked m <sup>3</sup>	Schichtraummeter	rm	Stère	stère
ΙΤΑΛΙΚΑ	Σύμβολο	ΣΛΟΒΕΝΙΚΑ	Σύμβολο	ΕΛΛΗΝΙΚΑ	Σύμβολο
Metro cubo	m <sup>3</sup>	Kubični meter	m <sup>3</sup>	Συμπαγές κυβικό μέτρο	m <sup>3</sup> (κ.μ.)
Metro stero riversato	msr	Prostrni meter	prm	Χωρικό κυβικό μέτρο στοιβαχτού	χωρικό m <sup>3</sup> (χ.κ.μ.)
Metro stero accatastato	msa	Nasut kubični meter	Nm <sup>3</sup>	Χωρικό κυβικό μέτρο χύδην	χωρικό m <sup>3</sup> (χ.κ.μ.) χύδην



## 1.5 Πυκνότητα της μάζας των κύριων δασικών ειδών

**Πίνακας 1.5.1** Κωνοφόρα: μέσες τιμές με περιεχόμενη υγρασία (M) 13%<sup>[1]</sup>

ΕΙΔΟΣ	kg/m <sup>3</sup>	ΕΙΔΟΣ	kg/m <sup>3</sup>
Ερυθρελάτη	450	Κυπαρίσσι	600
Λευκή ελάτη	470	Κουκουναριά	620
“Λευκή” πεύκη	500	Λάριξ	660
Ψευδοτσούγκα	510	Θαλάσσια πεύκη	680
Δασική πεύκη	550	Ίταμος	700
Μαύρη πεύκη	560	Χαλέπιος πεύκη	810



**Πίνακας 1.5.2** Πλατύφυλλα: μέσες τιμές με περιεχόμενη υγρασία (M) 13%<sup>[1]</sup>

ΕΙΔΟΣ	kg/m <sup>3</sup>	ΕΙΔΟΣ	kg/m <sup>3</sup>
Ιτιές	450	Κελτίς	720
Λευκή λέυκη	480	Φράξος	720
Μαύρη λεύκη	500	Φράξος όρνος	720
Σκλήθρο	520	Λαβούρνο	730
Κλήθρα	550	Σφενδάμι πεδινό	740
Κλήθρα κολλώδης	560	Οξιά	750
Καστανιά	580	Δρυς πετραία	760
Κερασιά	600	Ψευδακακία	760
Φτελιά	620	Ποδισκοφόρος δρυς	770
Κουφοξυλιά	620	Σορβιά	770
Συμήδα	650	Γαύρος βετουλοειδής	800
Φιλύρα	650	Οστρυά	820
Λεπτοκαρυά	670	Δρυς ευθύφλοια	900
Σφενδάμι ψευδοπλάτανο	670	Ελιά	920
Πλάτανοι	670	Αριά	940
Καρυδιά	700	Κρανιά	980

**Πίνακας 1.5.3** Μέση πυκνότητα της μάζας του ξηραμένου ξύλου (ÖNORM<sup>1</sup> B 3012)

	ΕΙΔΟΣ (ξηραμένου ξύλου, M = 0)	Kg/m <sup>3</sup>
ΚΩΝΟΦΟΡΑ	Μαύρη πεύκη	560
	Λάριξ	550
	Δασική πεύκη	510
	Ψευδοτσούγκα	470
	Ερυθρελάτη	430
	Λευκή ελάτη	410
	Πεύκη "Λευκή"	400
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	Γαύρος κοινός	750
	Δρυς η κηρρίς	740
	Ψευδακακία	730
	Οξιά	680
	Δρυς	670
	Φράξος	670
	Φτελιά	640
	Σημύδα	640
	Σφεντάμι	590
	Φουντουκιά	560
	Κίτρο	520
	Ιτιά	520
	Κλήθρα	490
	Λεύκη η τρέμουσα	450
	Λεύκη	410

<sup>1</sup> ÖNORM: Αυστριακό Ινστιτούτο Προτύπων - Österreichisches Normungsinstitut

## 1.6 Φαινόμενη πυκνότητα των κύριων στερεών βιοκαυσίμων<sup>[2]</sup>

**Πίνακας 1.6.1** Φαινόμενη πυκνότητα και πυκνότητα στοιβαχτού διαφορετικών ειδών βιομάζας

Καύσιμα από ξύλο	M%	Είδος	Φαινόμενη πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> χύδην)
Καυσόξυλα (33 εκατ., στοιβαγμένα)	15	Οξυά	445*
		Ερυθρελάτη & ελάτη	304*
Θρυμματισμένο ξύλο	30	Οξυά	328
		Ερυθρελάτη & ελάτη	223
Φλοιός κωνοφόρων »	15		180
Πριονίδια			160
Εξακρίδια			90
Σύμψηκτα (pellets)	8		620-650
<b>Γεωργική βιομάζα</b>			
Δέματα	15	Μίσχανθος	140
Φλοίδες		Μίσχανθος	110
Σιτηρά		Τριτικάλε	750

\*Kg/χ.κ.μ. στοιβαχτού

## 1.7 Στρογγύλη ξυλεία/κούτσουρα/θρυμματισμένο ξύλο: συντελεστές μετατροπής

Ο Πίνακας 1.7.1 παρέχει ενδεικτικούς συντελεστές μετατροπής για τις πιο κοινά είδη ξύλου, για παραγωγή ενέργειας, που αναφέρονται στο παράρτημα του αυστριακού προτύπου ÖNORM M7132 και M7133<sup>[3]</sup>.

**Πίνακας 1.7.1** Στρογγύλη ξυλεία/κούτσουρα/θρυμματισμένου ξύλου: συντελεστές μετατροπής

Μορφές	Στρογγύλη	Κούτσουρα 1 m	Σχισμένα καυσόξυλα		Θρυμματισμένο ξύλο	
			στοιβαγμένα	χύδην	ψιλό (G30)	μέτριο (G50)
	m <sup>3</sup>	χ.κ.μ στοιβαχτού	χ.κ.μ στοιβαχτού	χ.κ.μ χύδην	χ.κ.μ χύδην	
1 m <sup>3</sup> στρογγύλης ξυλείας	1	1,4	1,2	2,0	2,5	3,0
1 χ.κ.μ. στοιβαγμένα κούτσουρα, 1 μέτρου	0,7	1	0,8	1,4	(1,75)	(2,1)
1 χ.κ.μ. σχισμένα καυσόξυλα, στοιβαγμένα	0,85	1,2	1	1,7		
1 χ.κ.μ. σχισμένα καυσόξυλα, χύδην	0,5	0,7	0,6	1		
1 χ.κ.μ. θρυμματισμένο ξύλο, χύδην (G30)	0,4	(0,55)			1	1,2
1 χ.κ.μ. θρυμματισμένο ξύλο, χύδην (G50)	0,33	(0,5)			0,8	1

Σημείωση: 1 τόνος θρυμματισμένου ξύλου G30 με υγρασία M 35%, αντιστοιχεί σε περίπου 4 χ.κ.μ θρυμματισμένου ξύλου Ερυθρελάτης (χύδην) και 3 χ.κ.μ θρυμματισμένου ξύλου Οξυάς (χύδην)



Συντελεστές μετατροπής για τα υποπροϊόντα της κύριας πρωτογενούς παραγωγής βιομηχανικής ξυλείας<sup>[3]</sup>

1 χ.κ.μ στοιβαγμένα πλατιά ξυλοτεμάχια σε δέματα	= 0,65 m <sup>3</sup>	στρογγύλης ξυλείας
1 χ.κ.μ θρυμματισμένου ξύλου από πρίση G50	= 0,33 m <sup>3</sup>	
1 χ.κ.μ ψιλό πριονίδι (≤ 5mm)	= 0,33 m <sup>3</sup>	
1 χ.κ.μ από εξακρίδια, χύδην	= 0,20 m <sup>3</sup>	
1 χ.κ.μ φλοιού χύδην	= 0,30 m <sup>3</sup>	

**Πίνακας 1.7.2** Οι συντελεστές μετατροπής για κούτσουρα-καυσόξυλα (με φλοιό)<sup>[2]</sup>

Είδος	Στρογγύλη ξυλεία (m <sup>3</sup> )	Στρογγυλά κούτσουρα (χ.κ.μ. στοιβαχτού)	Κούτσουρα 1m (χ.κ.μ. στοιβαχτού)	Σχισμένα καυσόξυλα 33cm (χ.κ.μ. στοιβαχτού)	Σχισμένα καυσόξυλα 33cm (χ.κ.μ. χύδην)
Αναφέρεται σε 1 m <sup>3</sup> στρογγυλής ξυλείας με φλοιό					
Οξιά	1,00	1,70	1,98	1,61	2,38
Ερυθρελάτη	1,00	1,55	1,80	1,55	2,52
Αναφέρεται έως 1 χ.κ.μ. στοιβαγμένα στρογγυλά κούτσουρα					
Οξιά	0,59	1,00	1,17	0,95	1,40
Ερυθρελάτη	0,65	1,00	1,16	1,00	1,63
Αναφέρεται σε 1 χ.κ.μ. στοιβαγμένα κούτσουρα ενός μέτρου					
Οξιά	0,50	0,86	1,00	0,81	1,20
Ερυθρελάτη	0,56	0,86	1,00	0,86	1,40
Αναφέρεται σε 1 χ.κ.μ. στοιβαγμένα σχισμένα καυσόξυλα 33 εκατοστών					
Οξιά	0,62	1,05	1,23	1,00	1,48
Ερυθρελάτη	0,64	1,00	1,16	1,00	1,62
Αναφέρεται σε 1 χ.κ.μ. σχισμένα καυσόξυλα 33 εκατοστών χύδην					
Οξιά	0,42	0,71	0,83	0,68	1,00
Ερυθρελάτη	0,40	0,62	0,72	0,62	1,00



**Πίνακας 1.7.3** Πυκνότητα μάζας και φαινόμενη πυκνότητα των κύριων δασικών ειδών [2]

Υγρασία M%	Οξύ			Δρυς			Ερυθρελάτη			Πεύκη		
	m <sup>3</sup>	Fw χ.κ.μ. στοιβαχτό	Cw χ.κ.μ. χύδη	m <sup>3</sup>	Fw χ.κ.μ. στοιβαχτό	Cw χ.κ.μ. χύδη	m <sup>3</sup>	Fw χ.κ.μ. στοιβαχτό	Cw χ.κ.μ. χύδη	m <sup>3</sup>	Fw χ.κ.μ. στοιβαχτό	Cw χ.κ.μ. χύδη
Πυκνότητα μάζα και φαινόμενη πυκνότητα σε kg <sup>(1)</sup>												
0	680	422	280	660	410	272	430	277	177	490	316	202
10	704	437	290	687	427	283	457	295	188	514	332	212
15	716	445	295	702	436	289	<b>472</b>	304	<b>194</b>	527	340	217
20	730	453	300	724	450	298	488	315	201	541	349	223
30	798	495	328	828	514	341	541	349	223	615	397	253
40	930	578	383	966	600	397	631	407	260	718	463	295
50	1117	694	454	1159	720	477	758	489	312	861	556	354

Έχει χρησιμοποιηθεί η ισοδυναμία: 1m<sup>3</sup> στρογγυλής ξυλείας = 2,43 χ.κ.μ θρυμματισμένο ξύλο χύδη (ογκομετρικός δείκτης = 0,41 m<sup>3</sup>/χ.κ.μ χύδη). Αρχικά: Fw = σκισμένα καυσόξυλα (33 εκατοστών στοιβαγμένα), Cw=θρυμματισμένο ξύλο.

<sup>(1)</sup> Ο Πίνακας 1.7.3 περιγράφει τιμές της πυκνότητας της ξηρής ξυλώδους μάζας, βάσει του οποίου έχουν υπολογιστεί οι τιμές εντός του εύρους υγρασίας (M) 0-23%. Οι πυκνότητα μάζας και η φαινόμενη πυκνότητα (με νερό) που υπολογίζονται έχουν διορθωθεί χρησιμοποιώντας τους ακόλουθους συντελεστές διόγκωσης: οξύ 21,8%, δρυς 13,9%, ελάτη 13,5%, πεύκη 13,8%, θεωρώντας ως γραμμική τη μεταβολή του όγκου εντός του εξεταζόμενου εύρους υγρασίας.

#### **Παράδειγμα 1.7.1** Αναλυτικός υπολογισμός της φαινόμενης πυκνότητας εντός του εύρους υγρασίας M 0-23%

Αναφορικά με την σημείωση<sup>(1)</sup> του Πίνακας 1.7.3 και για την καλύτερη κατανόηση της μάζας και για τον υπολογισμό της φαινόμενης πυκνότητας, εντός του εύρους υγρασίας M 0-23%, δίνεται παρακάτω ένα παράδειγμα για το πώς να υπολογίσετε την φαινόμενη πυκνότητα του θρυμματισμένου ξύλου ερυθρελάτης σε M 15%.

#### **Αρχικές παράμετροι**

πυκνότητα ξηρής μάζας (**Πίνακας 1.5.3**) = 430 kg/m<sup>3</sup>

Συντελεστής διόγκωσης = 13,5% (Κεφ. 2.4)

Ογκομετρικός δείκτης = 0,41 m<sup>3</sup>/χ.κ.μ. χύδη

Υγρασία (M) 15% → υγρασία σε ξηρή βάση (u) = 17,65% (Κεφ. 2.5)

#### **Υπολογισμός της πυκνότητας μάζας με M 15%**

$MV_{15} = 430 \text{ kg/m}^3 * [1 + (17,65/100)] = 430 * 1,1765 = 506 \text{ kg/m}^3$

#### **Υπολογισμός του συντελεστή διόρθωσης του όγκου (διόγκωση)**

$F_{cv} = 1 + [(13,5/100)/30] * 17,65 = 1,07$

#### **Υπολογισμός της διορθωμένης πυκνότητας μάζας (με νερό)**

$MV_{15 \text{ corr}} = MV_{15} / F_{cv} = 506 / 1,07 = 472 \text{ kg/m}^3$

#### **Υπολογισμός της φαινόμενης πυκνότητας θρυμματισμένου ξύλου ερυθρελάτης με M 15%**

Φαινόμενη πυκνότητα ερυθρελάτης =  $472 \text{ kg/m}^3 / 2,43 = 194 \text{ kg/χ.κ.μ. χύδη}$

**Παράδειγμα 1.7.2** Μέτρηση της φαινόμενης πυκνότητας του θρυμματισμένου ξύλου με δειματοληψία

- a) Χρησιμοποιήστε έναν κάδο (κουβά) γνωστού όγκου (π.χ. 13 λίτρα) και μια ζυγαριά
- b) Λάβετε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από την καρότσα του φορτηγού, π.χ. 3 κουβάδες από μια καρότσα 40 m<sup>3</sup> (σχετ. CEN/TS 14778-1) και συμπληρώστε τον κάδο χωρίς να συμπιέσετε το θρυμματισμένο ξύλο
- c) Ζυγίστε τα δείγματα και διαιρέστε το μέσο όρο τους (kg) με το γνωστό όγκο (λίτρα) π.χ.  $(3,25 \text{ kg} \cdot 1.000 \text{ l}) : 13 \text{ l} = 250 \text{ kg}/\chi.\kappa.\mu. \text{ χύδη}$



## 2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

### 2.1 Μονάδες μέτρησης θερμικής ενέργειας

Τα καύσιμα περιέχουν ορισμένο ποσό ενέργειας που ονομάζεται **πρωτογενής ενέργεια**, η οποία μετατρέπεται, μέσω της καύσης, σε **τελική ενέργεια**, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για κάθε επιθυμητό σκοπό (π.χ. θέρμανση, ζεστό νερό για σκοπούς υγιεινής και θερμότητα διεργασιών).

Οι μονάδες του Διεθνούς Μετρικού Συστήματος (SI) που θα χρησιμοποιηθούν είναι το Joule (J), η Watt-hour (Wh) και τα πολλαπλάσιά τους.

Οι μονάδες που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι:

MJ/kg	MJ/ms	kWh/kg	kWh/ms	MWh/t
-------	-------	--------	--------	-------

**Πίνακας 2.1.1** Συντελεστές μετατροπής μονάδων θερμικής ενέργειας

	kJ	Kcal <sup>(*)</sup>	kWh	toe
1 kJ	1	0,239	0,278*10 <sup>3</sup>	23,88*10 <sup>9</sup>
1 kcal <sup>(*)</sup>	4,1868	1	1,163*10 <sup>3</sup>	0,1*10 <sup>6</sup>
1 kWh	3,600	860	1	86*10 <sup>6</sup>
1 toe	41,87*10 <sup>6</sup>	10*10 <sup>6</sup>	11,63*10 <sup>3</sup>	1

<sup>(\*)</sup>Η θερμίδα είναι μονάδα μέτρησης της ενέργειας (πριν την ανάπτυξη του Διεθνούς Μετρικού Συστήματος)

Πιο συνηθεις μετατροπές:

1 kWh	= 860 kcal	= 3,600 kJ (3,6 MJ)
1 MJ	= 239 kcal	= 0,278 kWh
1 kcal	= 4,19 kJ	= 0,00116 kWh
1 toe	= 41,87 GJ	= 11,63 MWh

Ο **τόνος ισοδύναμου πετρελαίου** (toe) είναι μια συμβατική μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για σκοπούς στατιστικών συγκρίσεων. Αντιστοιχεί στο ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται με την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου.

### 2.2 Ενέργεια και ισχύς

**Θερμική ενέργεια** είναι εκείνη η μορφή ενέργειας που συνδέεται με τη μοριακή διέγερση. Μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα όλης της κινητικής ενέργειας που περιέχεται σε μεμονωμένα μόρια. Η θερμική ενέργεια δεν είναι συνώνυμη της θερμότητας, αλλά η τελευταία υποδηλώνει το ποσό της θερμικής ενέργειας που μεταφέρεται/ανταλλάσσεται από ένα σύστημα σε άλλο.

## Μονάδες ενέργειας

1 Joule =

1 Newton\*1 μέτρο =

1 Watt\*δευτερόλεπτο (Ws)

**Πίνακας 2.2.1** Ισοδυναμίες μεταξύ των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων μονάδων θερμικής ενέργειας

	kWh	MWh	GWh	TWh	TJ	PJ	toe
1 kWh	1	1*10 <sup>3</sup>	1*10 <sup>6</sup>	1*10 <sup>9</sup>	3,6*10 <sup>6</sup>	3,6*10 <sup>9</sup>	86*10 <sup>6</sup>
1 MWh	1*10 <sup>3</sup>	1	1*10 <sup>3</sup>	1*10 <sup>6</sup>	3,6*10 <sup>3</sup>	3,6*10 <sup>6</sup>	86*10 <sup>3</sup>
1 GWh	1*10 <sup>6</sup>	1*10 <sup>3</sup>	1	1*10 <sup>3</sup>	3,6	3,6*10 <sup>3</sup>	86
1 TWh	1*10 <sup>9</sup>	1*10 <sup>6</sup>	1*10 <sup>3</sup>	1	3,6*10 <sup>3</sup>	3,6	86*10 <sup>3</sup>
1 TJ	278*10 <sup>3</sup>	278	278*10 <sup>3</sup>	278*10 <sup>6</sup>	1	1*10 <sup>3</sup>	23,9
1 PJ	278*10 <sup>6</sup>	278*10 <sup>3</sup>	278	278*10 <sup>3</sup>	1*10 <sup>3</sup>	1	23,9*10 <sup>3</sup>
1 toe	11,6*10 <sup>3</sup>	11,6	11,6*10 <sup>3</sup>	11,6*10 <sup>6</sup>	41,87*10 <sup>3</sup>	41,87*10 <sup>6</sup>	1

**Θερμική ισχύς (Q)** είναι ο λόγος μεταξύ της θερμικής ενέργειας που παράγεται και του χρόνου που δαπανάται για την παραγωγή της. Η θερμική ισχύς εκφράζει το ποσό της τελικής θερμότητας που μεταδίδεται σε ένα θερμικό φορέα.

Μονάδα ισχύος: 
$$Watt = \frac{Joule}{sec ond}$$

Η **Εγκατεστημένη ισχύς λέβητα (Q<sub>B</sub>)** δείχνει την ισχύ που απελευθερώνεται από ένα καύσιμο στο θάλαμο καύσης.

Η **Ονομαστική θερμική ισχύς (Q<sub>N</sub>)** εκφράζει το μέγιστο ποσό της θερμικής ενέργειας, ανά μονάδα χρόνου, που μπορεί να παράγεται συνεχώς από ένα λέβητα μέσω της καύσης.

Η **απόδοση λέβητα (η<sub>κ</sub>)** εκφράζει το λόγο της ωφέλιμης θερμικής ισχύος (Q) προς την εγκατεστημένη ισχύ λέβητα (Q<sub>B</sub>).

Η ισχύς του λέβητα εκφράζεται συνήθως σε kW, αν και ακόμη χρησιμοποιούνται, εσφαλμένα, οι χιλιοθερμίδες (kcal) ως μονάδα μέτρησής της, ενώ οι μονάδες που πραγματικά εννοούνται είναι οι χιλιοθερμίδες ανά ώρα (kcal/h). Για να μετατρέψετε τα kcal/h σε Watts, την μονάδα του SI για την ισχύ, χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$1 \text{ kcal/h (εσφαλμένα kcal)} = 1.163 \text{ W}$$

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h (εσφαλμένα kcal)}$$

Ένας λέβητας των 100.000 kcal/h, έχει ικανότητα 116,280 W [= 116 kW]

### Παράδειγμα 2.2.1 Υπολογισμός της προμήθειας θερμότητας από λέβητα

Ένας λέβητας με ισχύ 100 kW, λειτουργώντας σε πλήρες φορτίο για 1.000 ώρες παράγει ένα ποσό θερμότητας των 100 kW \* 1.000 h = 100.000 kWh = 100 MWh

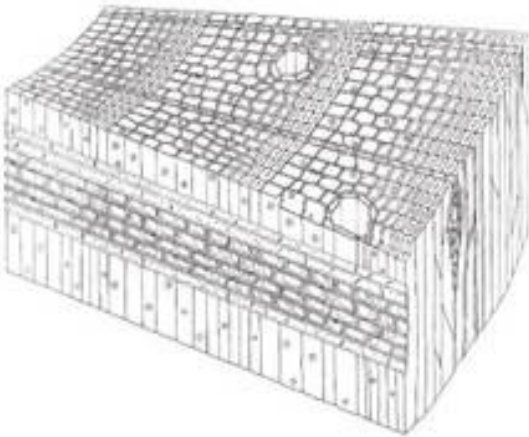
## 2.3 Το νερό στο ξύλο

Το ξύλο δεν βρίσκεται συνήθως σε ξηρή κατάσταση, αλλά περιέχει υγρασία που μπορεί να κυμαίνεται από 60 έως 15% ανάλογα με τη διάρκεια της ξήρανσής του στον αέρα. Το ξύλο είναι **πορώδες και υγροσκοπικό** υλικό και λόγω της χημικής και ιστολογικής δομής του, έχει δύο διαφορετικούς τύπους πορώδους:

- το **μακροσκοπικό πορώδες**, που δημιουργείται από τις κοιλότητες των αγωγίμων αγγείων και από παρεγχυματικά κύτταρα που περιέχουν **ελεύθερο (ή απορροφημένο) νερό**, και
- το **μικροσκοπικό πορώδες** της κύριας ουσίας του ξύλου (κυρίως κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη), η οποία περιέχει πάντα ένα ορισμένο ποσό **δεσμευμένου (ή κορεσμένου) νερού**

Το ξύλο αρχίζει να χάνει νερό από τη στιγμή που το δέντρο κόβεται. Αρχικά, εξατμίζεται το ελεύθερο νερό από τις εξωτερικές πλευρές (σομφό ξύλο) και, αργότερα, από τα εσωτερικά μέρη του κορμού (εγκάρδιο ξύλο). Σε κάποιο χρονικό σημείο, όλο το ελεύθερο νερό του, εκτεθειμένου στον αέρα, ξύλου εξατμίζεται, ενώ το δεσμευμένο νερό φτάνει σε μια δυναμική ισορροπία με την εξωτερική υγρασία, φθάνοντας σε τιμή κάτω του 20%. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 2.3.2, η απώλεια νερού μέσα στο ξύλο δεν είναι ομοιόμορφη.

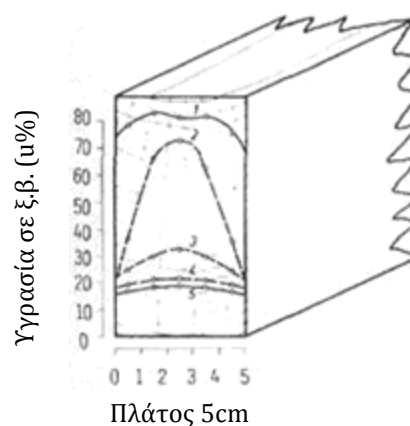
**Σχήμα 2.3.1** Τρισδιάστατη εικόνα της δομής του ξύλου κωνοφόρων [1]



**Σχήμα 2.3.2** Ανάπτυξη υπό την ακτινωτή έννοια, με υγρασία σε ξ.β. (u), ενός κομματιού σανίδας, πάχους 5 cm, από Οξυά

### Υπόμνημα:

1. μετά από 6 εβδομάδες
2. μετά από 6 μήνες
3. ενδιάμεσο χρονικό διάστημα 2-4
4. μετά από 1 χρόνο
5. μετά από 1,5 χρόνο [4]



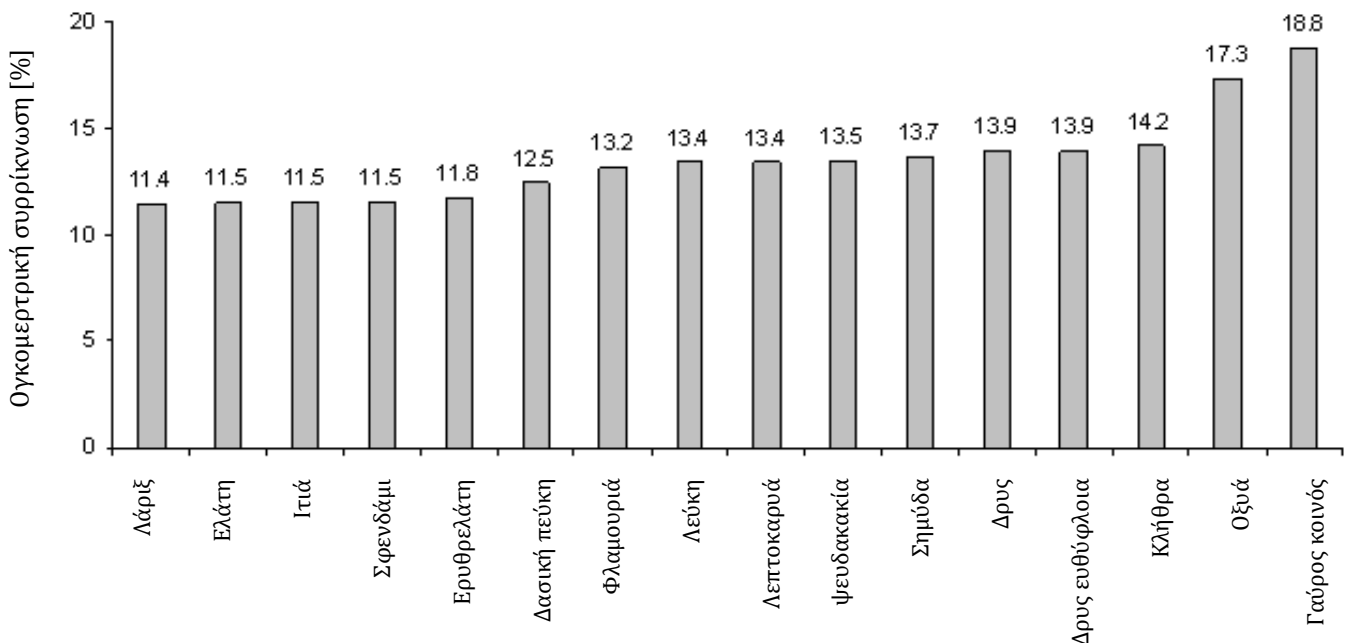


## 2.4 Συρρίκνωση και διόγκωση του όγκου

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης των κούτσουρων (καυσόξυλων) και του θρυμματισμένου ξύλου, και μέχρι το επίπεδο περιεχόμενης υγρασίας (M) 23% ( $u < 30\%$ , **σημείο κορεσμού των φυτικών ινών**) δεν παρατηρείται συρρίκνωση του όγκου των ξυλοτεμαχίων και των σωρών. Μέχρι αυτό το σημείο, το ξύλο έχει χάσει μόνο το ελεύθερο (ή απορροφημένο) νερό του. Αργότερα, όταν το ξύλο αρχίζει να χάνει και το δεσμευμένο (ή κορεσμένο) νερό του, εμφανίζεται συρρίκνωση ( $\beta_v$ ) του όγκου που, αν και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το είδος του ξύλου, είναι συνήθως γύρω στο 13% (Σχήμα 2.4.1). Αντιθέτως, αν το δεσμευμένο νερό αυξηθεί, το ξύλο θα διογκωθεί ( $\alpha_v$ )<sup>1</sup>.

Η συρρίκνωση των ξυλοτεμαχίων σε μια στοίβα από ξύλα ή σε σωρό θρυμματισμένου ξύλου συνεπάγεται συνολική μείωση του όγκου του σωρού που είναι σχεδόν πάντα μικρότερη από αυτή των ξυλατεμαχίων<sup>[5]</sup>.

**Σχήμα 2.4.1** Ογκομετρική συρρίκνωση στα κύρια είδη δέντρων<sup>[3]</sup>



Από πρακτική άποψη, τυχόν μεταβολές του όγκου (συρρίκνωση και διόγκωση), στο διάστημα υγρασίας 0-23% (υγροσκοπικό πεδίο), πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για το σωστό υπολογισμό της φαινόμενης πυκνότητας, σε υγρή ή ξηρή βάση και της ενεργειακής πυκνότητας των καυσίμων (Πίνακας 1.7.3, Πίνακας 2.8.1, Παράδειγμα 1.7.1).

## 2.5 Περιεχόμενη υγρασία

Η υγρασία του ξύλου εκφράζεται ως ποσοστό και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τους εξής δύο τύπους:

<sup>1</sup> Συρρίκνωση και διόγκωση συνδέονται με τους ακόλουθους τύπους:  $\beta_v = (100 \cdot \alpha_v) / (100 + \alpha_v)$ ,  $\alpha_v = (100 \cdot \beta_v) / (100 - \beta_v)$

**Υγρασία σε ξηρή βάση → u (%)**

Εκφράζει τη μάζα του υπάρχοντος νερού σε σχέση με τη μάζα του ξηρού ξύλου.

$$u = \frac{W_w - W_0}{W_0} * 100$$

**Υγρασία σε υγρή βάση → M (%)**

Εκφράζει τη μάζα του υπάρχοντος νερού σε σχέση με τη μάζα του υγρού ξύλου. Το μέτρο αυτό χρησιμοποιείται για την εμπορία των καυσίμων ξύλου.

$$M = \frac{W_w - W_0}{W_w} * 100$$

Όπου:

$W_w$  = το υγρό βάρος του ξύλου

$W_0$  = το ξηρό βάρος του ξύλου

**Τύποι μετατροπής**

Οι παρακάτω δύο τύποι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της u από την M και αντίστροφα.

$$u = \frac{100 * M}{100 - M} \qquad M = \frac{100 * u}{100 + u}$$

M%	15	20	25	30	35	40	45	<b>50</b>	60
u%	18	25	33	43	54	67	82	<b>100</b>	150

u%	15	20	<b>30</b>	40	50	65	80	<b>100</b>	150
M%	13,0	16,7	<b>23,1</b>	28,6	33,3	39,4	44,4	<b>50,0</b>	60,0

Αν υποθέσουμε ότι η μάζα του πρόσφατα σκισμένου φρέσκου ξύλου αποτελείται κατά το ένα μισό από νερό και το άλλο μισό από ξύλο, το ξύλο έχει υγρασία σε υ.β. (M) 50% και υγρασία σε ξ.β. (u) 100%.

**2.6 Χημική σύνθεση της βιομάζας**

Η φυτική βιομάζα αποτελείται κυρίως από άνθρακα (C), οξυγόνο (O) και υδρογόνο (H). Ο άνθρακας είναι το συστατικό του στερεού βιοκαυσίμου, μέσω της οξείδωσης του οποίου απελευθερώνεται το ενεργειακό περιεχόμενό του. Εξάλλου, επιπλέον ενέργεια παρέχεται από το υδρογόνο με τη διαδικασία της οξείδωσης, η οποία προστιθέμενη στην ενέργεια που παράγεται από τον άνθρακα, προσδιορίζει την **κατώτερη (καθαρή) θερμογόνο δύναμη**

του καυσίμου. Αντίθετα, το οξυγόνο διατηρεί, αποκλειστικά, την εξέλιξη της διαδικασίας της οξειδωσης (Πίνακας 2.6.1).

**Πίνακας 2.6.1** Χημική σύσταση της στερεής βιομάζας<sup>[2]</sup>

	C	H	O	N	K	S	Cl
	wt% (ξ.β.)						
Ερυθρελάτη (με φλοιό)	49,8	6,3	43,2	0,13	0,13	0,015	0,005
Οξυά (με φλοιό)	47,9	6,2	43,3	0,22	0,22	0,015	0,006
Λεύκη μικρού περιόδου	47,5	6,2	44,1	0,42	0,35	0,031	0,004
Ιτιά μικρού περιόδου	47,1	6,1	44,2	0,54	0,26	0,045	0,004
Φλοιός (κωνοφόρων δέντρων)	51,4	5,7	38,7	0,48	0,24	0,085	0,019
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου κωνοφόρων (*)	47-54	5,6-7,0	40-44	<0,1-0,5		<0,01-0,05	<0,01-0,03
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου πλατυφύλλων (*)	48-52	5,9-6,5	41-45	<0,1-0,5		<0,01-0,05	<0,01-0,03
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά φλοιού (*)	51-56	5,9-6,5	36-43	0,3-1,2		0,02-0,20	<0,01-0,05
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου Υπολείμματα υλοτομίας (*)	50-53	5,9-6,3	40-44	0,3-0,8		0,01-0,08	<0,01-0,04
Τυπικές τιμές για τα υλικά πρωτογενούς ξύλου, μικρού περιόδου (*)	47-51	5,8-6,7	40-46	0,2-0,8		0,02-0,10	<0,01-0,05
Μίσχανθος	47,5	6,2	41,7	0,73	0,7	0,150	0,220
Άχυρο σίτου	45,6	5,8	42,4	0,48	1,0	0,082	0,190
Τριτικάλε (σπόροι)	43,5	6,4	46,4	1,68	0,6	0,11	0,07
Πίτα κράμβης	51,5	7,38	30,1	4,97	1,60	0,55	0,019
<i>Για λόγους σύγκρισης, ορυκτά καύσιμα</i>							
Άνθρακας	72,5	5,6	11,0	1,30	-	0,940	<0,1
Λιγνίτης	65,9	4,6	23,0	0,70	-	0,390	<0,1
Πετρέλαιο θέρμανσης	85-86	11-13	1-4	-	-	-	-
Φυσικό αέριο	75	25	-	-	-	-	-

(\*) CEN / TS 14961:2005 Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές καυσίμων και κλάσεις - Παράρτημα Γ

### Επίδραση της χημικής σύστασης των στερεών βιοκαυσίμων στην καύση και στις εκπομπές

Τα στοιχεία που έχουν άμεση επίδραση στο επίπεδο των επιβλαβών εκπομπών που παράγονται κατά την καύση είναι τα εξής: θείο (S), άζωτο (N), χλώριο (Cl) και περιεχόμενη τέφρα. Ο παρακάτω κανόνας ισχύει γενικά για τα προαναφερθέντα στοιχεία: όσο υψηλότερη η περιεκτικότητα τους στα καύσιμα, τόσο μεγαλύτερη η παρουσία τους στις εκπομπές στην ατμόσφαιρα.

Η περιεκτικότητα σε **άζωτο** στα βιοκαύσιμα από ξύλο είναι σχετικά χαμηλή, ενώ είναι πολύ υψηλότερη στα δημητριακά - ειδικά αν συμπεριλάβουμε σε αυτά τα όργανα αναπαραγωγής (σπόροι) και ακόμα περισσότερο στις πίτες ελαιούχων σπόρων (πίτα ελαιοκράμβης). Αυτό έχει ως άμεσο αντίκτυπο τη δημιουργία οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα οποία κατά την καύση είναι αέρια κατάσταση και δεν παραμένουν στις στάχτες.

**Το κάλιο (K)**, το οποίο, κατά κύριο λόγο, βρίσκεται σε γεωργικά βιοκαύσιμα, χαμηλώνει το σημείο τήξης της στάχτης, ευνοώντας έτσι τον σχηματισμό καταλοίπων στη εσχάρα, που αποτελούν την αιτία σημαντικών προβλημάτων κατά τη διαδικασία της καύσης. Το κάλιο επίσης, το οποίο απελευθερώνεται με τη μορφή μικρών σωματιδίων, ως αποτέλεσμα της καύσης, είναι ένα από τα στοιχεία που αφθονεί στα σωματίδια.

Η περιεκτικότητα σε **θείο (S)** στα στερεά βιοκαύσιμα είναι πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με εκείνη των ορυκτών καυσίμων. Το θείο παραμένει ως επί το πλείστον στις στάχτες (40 έως 90%), ενώ το υπόλοιπο παράγει πτητικό SO<sub>2</sub>.

Σε αντίθεση με τα άχυρα των δημητριακών και του μίσχανθου, τα οποία έχουν σαφώς υψηλότερη περιεκτικότητα σε **χλώριο (Cl)**, τα καύσιμα από ξύλο χαρακτηρίζονται από μια μάλλον χαμηλή περιεκτικότητα σε χλώριο. Το Cl παίρνει μέρος στο σχηματισμό ενώσεων όπως το HCl και οι διοξίνες/διβουλιλοξείδια. Αν και το μεγαλύτερο μέρος του Cl θα δεσμευτεί στην ιπτάμενη τέφρα (40-95%), το υπόλοιπο σχηματίζει HCl, το οποίο ενισχυμένο από διαδικασίες συμπύκνωσης, και μαζί με άλλες ουσίες, προκαλεί διάβρωση στα μεταλλικά εσωτερικά μέρη των λεβήτων.

## 2.7 Θερμιδική αξία

Η θερμιδική αξία ενός καυσίμου εκφράζει το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση μιας μονάδας της μάζας του καυσίμου.

Η υγρασία του ξύλου **μειώνει** την θερμιδική αξία του. Πράγματι, μέρος της ενέργειας, που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καύσης, δαπανάται στην εξάτμιση του νερού και κατά συνέπεια δεν είναι διαθέσιμη για οποιαδήποτε επιθυμητή θερμική χρήση.

Η εξάτμιση του νερού προκαλεί την 'κατανάλωση' **2,44 MJ ανά κιλό νερού**. Είναι έτσι δυνατή η διάκριση μεταξύ των ακόλουθων:

**Καθαρή ή κατώτερη θερμογόνος δύναμη (NCV):** Το νερό στα προϊόντα της καύσης απελευθερώνεται ως ατμός, δηλαδή η θερμική ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού στους 25°C) έχει αφαιρεθεί.

**Ακαθάριστη ή ανώτερη θερμογόνος δύναμη (GCV):** Το νερό στα προϊόντα της καύσης υφίσταται μεταχείριση ως υγρό, συμπυκνώνεται αποδίδοντας στο σύστημα θερμότητα εξάτμισης.

Όταν δεν προσδιορίζεται, η 'θερμιδική αξία' αναφέρεται σε κατώτερη θερμογόνο δύναμη.

Η **θερμογόνος δύναμη σε ξηρή βάση (NCV<sub>0</sub>)**, των διαφόρων ειδών ξύλου, κυμαίνεται μέσα σε ένα πολύ περιορισμένο διάστημα, από 18,5 έως 19 MJ/Kg. Στα κωνοφόρα είναι 2% υψηλότερη σε σχέση με τα πλατύφυλλα. Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη - και εν μέρει επίσης στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε ρητίνη, κεριά και έλαια που υπάρχουν στα κωνοφόρα. Σε σύγκριση με την κυτταρίνη (17,2 - 17,5 MJ/kg) και την ημικυτταρίνη (16 MJ/kg), η λιγνίνη έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε ενέργεια (26-27 MJ/kg, NCV). Κάποια μεταβλητότητα στην θερμιδική αξία σε ξ.β. οφείλεται επίσης στη μικρή διακύμανση της περιεκτικότητας σε υδρογόνο (H) και τη συγκριτικά πολύ μεγαλύτερη μεταβλητότητα της περιεκτικότητας σε τέφρα.

Ωστόσο, λαμβανομένων υπόψη και των γεωργικών βιοκαυσίμων, η θερμιδική αξία σε ξ.β. ποικίλλει μέσα στο διάστημα 16,5 - 19 MJ/Kg. Η θερμογόνο δύναμη σε ξ.β. των καυσίμων ξύλου είναι κατά μέσο όρο 9% υψηλότερη από εκείνη των αγρωστωδών φυτών.

**Πίνακας 2.7.1** Θερμιδική αξία, περιεκτικότητα σε τέφρα και σημείο τήξης τέφρας των διαφόρων καυσίμων βιομάζας<sup>[2], [6], [7], [20]</sup>

	NCV <sub>0</sub> MJ/kg	Τέφρα (% κ.β σε ξ.β.)	Σημείο τήξης τέφρας (σε °C)
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου <b>κωνοφόρων</b>	19,2 (18,8-19,8)	0,3 (0,2-0,5)	
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου <b>πλατυφύλλων</b>	19 (18,5-19,2)	0,3 (0,2-0,5)	
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά φλοιού	20 (19-21)	4-5 (2-10)	
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου, υπολείμματα υλοτομίας	19-20	1,5-2	
Τυπικές τιμές για πρωτογενή υλικά ξύλου Φυτείες μικρού περίτροπου χρόνου (Ιτιά και λεύκη)	18,6-19,2	2	
Ερυθρελάτη (με φλοιό)	18,8	0,6	1.426
Οξυά (με φλοιό)	18,4	0,5	1.340
Λεύκη (μικρού περίτροπου χρόνου)	18,5	1,8	1.335
Ιτιά (μικρού περίτροπου χρόνου)	18,4	2,0	1.283
Φλοιός (κωνοφόρα δέντρα)	19,2	3,8	1.440
Ξύλο αμπέλου (θρυμματισμένο)	19,8	3,4	1.450
Μίσχανθος	17,6	3,9	973
Άχυρο σίτου	17,2	5,7	998
Τρδικάλε (σπόροι)	16,9	2,1	730
Πίτα κράμβης	21,2	6,2	-

### Περιεκτικότητα σε τέφρα και σημείο τήξης τέφρας

Μεταξύ των στερεών βιοκαυσίμων, το ξύλο χωρίς φλοιό είναι αυτό με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα, ενώ τα αγροτικά βιοκαύσιμα έχουν συνήθως υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα.

Κατά τη διάρκεια της καύσης συμβαίνουν στην κλίνη (χόβολη) κάποιες φυσικές μετατροπές στη στάχτη. Με την άνοδο της θερμοκρασίας, μπορεί να μαλακώσει μέχρι την πλήρη τήξη της (λιώσιμο). Η χρήση καυσίμων με χαμηλή θερμοκρασία τήξης της τέφρας αυξάνει τον κίνδυνο της δημιουργίας **επικαθήσεων τέφρας** στην εσχάρα. Οι λιωμένες επικαθήσεις δυσχεραίνουν τη διαδικασία καύσης, μεταβάλλοντας την πρωτογενή ροή του αέρα και ευνοούν την υπερθέρμανση της εσχάρας καθώς και τα φαινόμενα διάβρωσης.

Είναι ωστόσο δυνατόν να υπάρξει χειρισμός και λύση των προβλημάτων, που σχετίζονται με το σχηματισμό επικαθήσεων, με παρεμβάσεις, όπως η ψύξη της εσχάρας και η

ανακυκλοφορία των καπναερίων και με την εισαγωγή μηχανικών συστημάτων αυτόματου καθαρισμού ή στην περίπτωση των δημητριακών, με τη χρήση προσθέτων ασβεστίου.<sup>1</sup>

Το ξύλο και ο φλοιός έχουν σχετικά υψηλό σημείο τήξης (1.300-1.400°C) και ως εκ τούτου δεν τίθενται κρίσιμα ζητήματα. Αντίθετα, το σημείο τήξης των αγρωστωδών φυτών είναι κάτω από 1.000°C και κατά συνέπεια, μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν επικαθήσεις κατά την καύση. Στην περίπτωση των δημητριακών (σιτηρά), το σημείο τήξης τέφρας είναι χαμηλότερο από 750°C και είναι, επομένως, ιδιαίτερα κρίσιμο (Πίνακας 2.7.1).

Για τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω, τα αγροτικά βιοκαύσιμα έχουν υψηλότερο βαθμό κρισιμότητας σε σύγκριση με το ξύλο και πρέπει να χρησιμοποιούνται σε ειδικές συσκευές καύσης.

### Χαρακτηρισμός και χρησιμοποίηση της τέφρας

Η τέφρα μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:

#### Επικαθήμενη τέφρα (κλιβάνου)

Πρόκειται για ένα σημαντικό μέρος της τέφρας που συγκεντρώνεται κάτω από την εσχάρα του λέβητα και διοχετεύεται σε δεξαμενή αποθήκευσης. Έχει φαινόμενη πυκνότητα 1,3 t/m<sup>3</sup>.



#### Ιπτάμενη τέφρα

Είναι η τέφρα που προέρχεται από τον καθαρισμό των καυσαερίων και μπορεί περαιτέρω να διακριθεί σε:

- Ελαφρά τέφρα κυκλώνα
- Λεπτόκοκκα σωματίδια από ηλεκτροστατικά φίλτρα και φίλτρα-σάκους.

Έχει φαινόμενη πυκνότητα 0,8 – 0,9 t/m<sup>3</sup>



<sup>1</sup> Το Ca και το Mg συνήθως αυξάνουν την θερμοκρασία τήξης

### Χημική σύνθεση τέφρας

Τα στοιχεία που επηρεάζουν περισσότερο το περιβάλλον (μόλυβδος, κάδμιο και ψευδάργυρος) είναι έντονα πτητικά και κατά κύριο λόγο συγκεντρώνονται στην ιπτάμενη (λεπτόκοκκη) τέφρα (Πίνακας 2.7.2).

**Πίνακας 2.7.2** Χημική σύσταση διαφόρων ειδών τέφρας από βιομάζα<sup>[6], [9], [10]</sup>

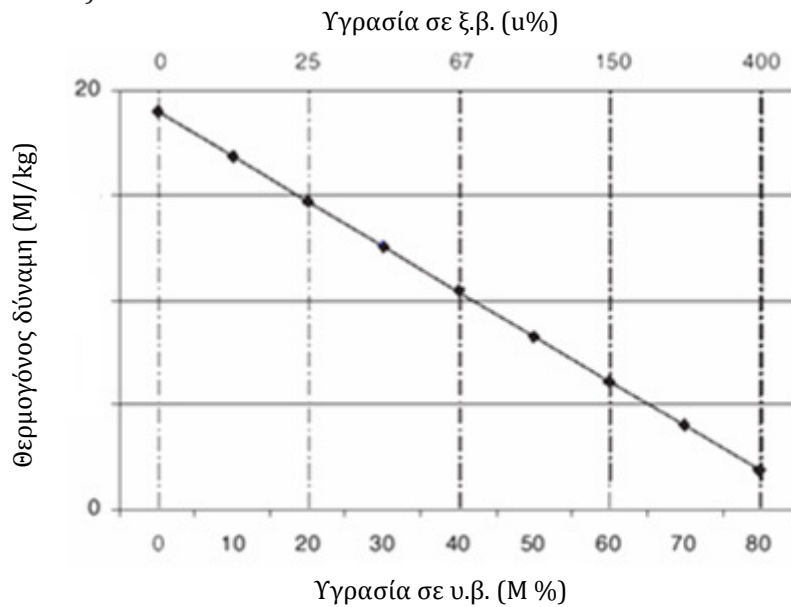
Στοιχεία	μu	Φλοιός	Θρυμματισμένο υλικό	Πριονίδι	Άχυρο
pH	σε CaCl <sub>2</sub>	12,7	12,8	12,5	11,2
C <sub>org</sub>	B% ξ.β.	0,8	1,3	5,9	5,2
CO <sub>2</sub>		4,00	7,2	12,5	1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1,7	3,6	2,5	2,7
K <sub>2</sub> O		5,1	6,7	7,1	11,5
CaO		42,2	44,7	35,5	7,4
MgO		6,5	4,8	5,7	3,8
Na <sub>2</sub> O		0,8	0,6	0,5	0,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		7,1	4,6	2,3	1,2
SiO <sub>2</sub>		26,0	25,0	25,0	54,0
SO <sub>3</sub>		0,6	1,9	2,4	1,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,5	2,3	3,7	1
MnO		1,5	1,7	2,6	0,1
Cu		mg/kg ξ.β.	87,8	126,8	177,8
Zn	618,6		375,7	1429,8	234,6
Co	23,9		15,3	16,7	1,5
Mo	4,8		1,7	3,4	7,1
As	11,4		8,2	7,8	5,4
Ni	94,1		61,5	71,9	3,9
Cr	132,6		54,1	137,2	12,3
Pb	25,3		25,4	35,6	7,7
Cd	3,9		4,8	16,8	0,7
V	58,4		42,0	26,7	5,5

## 2.8 Αναλυτικός υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης

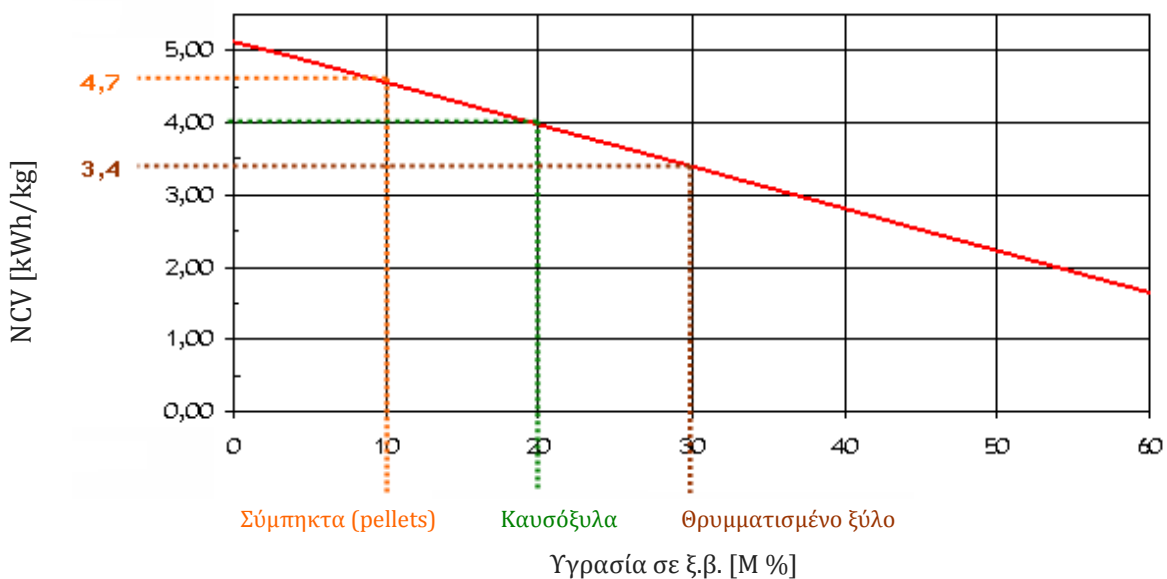
Για να υπολογίσετε την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (MJ/kg) ξύλου με δεδομένη περιεκτικότητα σε υγρασία (M), χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος<sup>[2]</sup>:

$$NCV_M = \frac{NCV_0 * (100 - M) - 2.44 * M}{100}$$

**Σχήμα 2.8.1** Κατώτερη θερμογόνος δύναμη ( $NCV_0 = 19 \text{ MJ/kg}$ ) ως συνάρτηση της υγρασίας σε ξηρή και υγρή βάση (M και u)<sup>[5]</sup>



**Σχήμα 2.8.2** Κατώτερη θερμογόνος δύναμη ( $NCV_0 = 5,14 \text{ kWh/kg}$ ) ως συνάρτηση της υγρασίας (M)





Κατά τη διάρκεια της φυσικής ξήρανσης, μείωση της υγρασίας κατά 10% συνεπάγεται αύξηση του ενεργειακού περιεχομένου κατά 0,6 kWh/kg (2,16 MJ/kg) περίπου.

**Πίνακας 2.8.1** Κατώτερη θερμογόνος δύναμη ( $NCV_0 = 18,5 \text{ MJ/kg}$ ) ως συνάρτηση της υγρασίας (M)

M (%)	MWh/t	GJ/t	M (%)	MWh/t	GJ/t
15	4,27	15,36	38	2,93	10,54
16	4,21	15,15	39	2,87	10,33
17	4,15	14,94	40	2,81	10,12
18	4,10	14,73	41	2,76	9,91
19	4,04	14,52	42	2,70	9,71
20	3,98	14,31	43	2,64	9,50
21	3,92	14,10	44	2,58	9,29
22	3,86	13,89	45	2,52	9,08
23	3,80	13,68	46	2,47	8,87
24	3,75	13,47	47	2,41	8,66
25	3,69	13,27	48	2,35	8,45
26	3,63	13,06	49	2,29	8,24
27	3,57	12,85	50	2,23	8,03
28	3,51	12,64	51	2,17	7,82
29	3,45	12,43	52	2,12	7,61
30	3,40	12,22	53	2,06	7,40
31	3,34	12,01	54	2,00	7,19
32	3,28	11,80	55	1,94	6,98
33	3,22	11,59	56	1,88	6,77
34	3,16	11,38	57	1,82	6,56
35	3,11	11,17	58	1,77	6,35
36	3,05	10,96	59	1,71	6,15
37	2,99	10,75	60	1,65	5,94

Για πρακτικούς λόγους για καύσιμα ξύλου χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέσες τιμές:

$NCV_0 = 18,5 \text{ MJ/kg} = 5,14 \text{ kWh/kg}$	<b>ΞΗΡΑΜΕΝΟ ΞΥΛΟ</b>	<b>(M 0%)</b>
$NCV_{10} = 17,0 \text{ MJ/kg} = 4,7 \text{ kWh/kg}$	<b>PELLETS</b>	<b>(M 10%)</b>
$NCV_{20} = 14,4 \text{ MJ/kg} = 4,0 \text{ kWh/kg}$	<b>ΚΟΥΤΣΟΥΡΑ</b>	<b>(M 20%)</b>
$NCV_{30} = 12,2 \text{ MJ/kg} = 3,4 \text{ kWh/kg}$	<b>ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΞΥΛΟ</b>	<b>(M 30%)</b>

Για να μετατρέψετε MJ σε kWh και αντίστροφα ο συντελεστής μετατροπής που θα χρησιμοποιηθεί είναι 3,6.

Παράδειγμα - μετατροπή MJ-kWh
$18,5 \text{ MJ}/3,6 = 5,14 \text{ kWh}$
$4 \text{ kWh} \cdot 3,6 = 14,4 \text{ MJ}$
$1 \text{ kWh/kg} = 1 \text{ MWh/t}$

## 2.9 Ενεργειακή πυκνότητα

Η ενεργειακή πυκνότητα εκφράζει τη σχέση μεταξύ του ενεργειακού περιεχομένου των καυσίμων και του όγκου που καταλαμβάνεται από το καύσιμο.

**Πίνακας 2.9.1** Η ενεργειακή πυκνότητα διαφόρων καυσίμων ξύλου για διάφορες περιεκτικότητες σε υγρασία<sup>[2]</sup>

Καύσιμα από ξύλο	Ποσότητα	Υγρασία	Μάζα	NCV	Ενεργειακή πυκνότητα *		
					M%	kg	MJ/kg
Στοιβαγμένα κούτσουρα							
Οξυά 33 εκατοστά	1 χ.κ.μ. στοιβαχτό	15	445	15,3	6.797	1.888	189
Οξυά 33 εκατοστά	1 χ.κ.μ. στοιβαχτό	30	495	12,1	6.018	1.672	167
Ερυθρελάτη 33 εκ.	1 χ.κ.μ. στοιβαχτό	15	304	15,6	4.753	1.320	132
Ερυθρελάτη 33 εκ.	1 χ.κ.μ. στοιβαχτό	30	349	12,4	4.339	1.205	121
Θρυμματισμένο ξύλο							
Οξυά	1 χ.κ.μ. χύδην	15	295	15,3	4.505	1.251	125
Οξυά	1 χ.κ.μ. χύδην	30	328	12,1	3.987	1.107	111
Ελάτη	1 χ.κ.μ. χύδην	15	194	15,6	3.032	842	84
Ελάτη	1 χ.κ.μ.	30	223	12,4	2.768	769	77
Σύμψηκτα ξύλου (pellets)	1 χ.κ.μ. χύδην	8	650	17,1	11.115	3.088	309

\* Στο εύρος M 0-23% έχουν εφαρμοστεί οι σχετικοί συντελεστές διόρθωσης

## 2.10 Ισοδυναμίες ενέργειας με ορυκτά καύσιμα<sup>[3]</sup>

Καύσιμα	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (μέσες τιμές)	
	σε MJ	σε kWh
Πολύ ελαφρύ πετρέλαιο θέρμανσης	36,17MJ/l (42,5 MJ/kg)	10kWh/l (11,80kWh/kg)
Ελαφρύ πετρέλαιο θέρμανσης	38,60MJ/l (41,5 MJ/kg)	10,70kWh/l (11,50kWh/kg)
Φυσικό αέριο	36,00MJ/m <sup>3</sup>	10,00kWh/m <sup>3</sup>
LPG	24,55MJ/l (46,30 MJ/kg)	6,82kWh/l (12,87kWh/kg)
Άνθρακας	27,60MJ/kg	7,67kWh/kg
Κοκ 40/60	29,50MJ/kg	8,20kWh/kg
Λιγνίτης (μπρικέτες)	20,20MJ/kg	5,60kWh/kg
1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας	3,60MJ	1kWh
1 kg ξύλο (M = 20%)	14,40MJ/kg	4,00kWh/kg

\*\* 1 kg = 5,8 l (20°C, 216 bar)

\*\*\* 1 m<sup>3</sup> LPG = 4 l = 2 kg

1kg πετρέλαιο ≈ 3kg ξύλο

1l πετρέλαιο ≈ 2,5kg ξύλο

Για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες αντιστοιχίες, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψη την απόδοση του λέβητα.

1000 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης ≈	5-6 χ.κ.μ. καυσόξυλα από πλατύφυλλα
	7-8 χ.κ.μ. καυσόξυλα από κωνοφόρα
	10-15 χ.κ.μ. θρυμματισμένο ξύλο
	2,1t σύμψηκτα (pellets)

**Παράδειγμα 2.10.1** Υπολογισμός των απαιτήσεων ενός λέβητα σε θρυμματισμένο ξύλο

Οι απαιτήσεις ενός λέβητα σε θρυμματισμένο ξύλο μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις προηγούμενες καταναλώσεις ορυκτών καυσίμων.

a) Ο υπολογισμός της θερμικής επιβάρυνσης με βάση τις προηγούμενες απαιτήσεις πετρελαίου θέρμανσης (μέσος όρος των τριών τελευταίων ετών)

- Κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης: 23.530 l/έτος
- Κατώτερη θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου: 10 kWh/l
- Απόδοση εγκατάστασης  $\eta_k$ : 85%

kWh που παρέχονται:  $(23.530 \cdot 10) \cdot 0,85 = \mathbf{200.000 \text{ kWh/έτος}}$

b) Υπολογισμός της κατανάλωσης θρυμματισμένου ξύλου

- Απαιτούμενη θερμότητα: 200.000 kWh/έτος
- Κατώτερη θερμογόνο δύναμη του θρύμματος ξύλου (M 30%): 3,4 kWh/kg
- Απόδοση εγκατάστασης  $\eta_k$ : 80%

Θρυμματισμένο ξύλου:  $200.000 / 3,4 / 0,80 = 73.530 \text{ kg} (\approx \mathbf{75t})$

c) Προσεγγιστικός υπολογισμός της χωρητικότητας του λέβητα (1.500 ώρες λειτουργίας)

$Q \text{ (kW)} = 200.000 \text{ kWh} / 1.500 \text{ h} / 0,80 \approx \mathbf{160 \text{ kW}}$

Για τον υπολογισμό των απαιτήσεων σε θρυμματισμένο ξύλο, σε μικρού-μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι εμπειρικοί τύποι:

Ονομαστική ισχύς λέβητα σε **kW\*2,5** = απαιτήσεις θρυμματισμένου σε **χ.κ.μ. χύδην/έτος** (ξύλο κωνοφόρων P45, M30)

Ονομαστική ισχύς λέβητα σε **kW\*2,0** = απαιτήσεις θρυμματισμένου **χ.κ.μ. χύδην/έτος** (ξύλο πλατύφυλλων P45, M30)

### 3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΥΣΟΞΥΛΩΝ ΚΑΙ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΞΥΛΟΥ

#### 3.1 Φάσεις και συστήματα εργασίας

Αναφορικά με τις εργασίες συγκομιδής ξύλου στα δάση, είναι δυνατό να γίνει διάκριση μεταξύ των ακόλουθων φάσεων εργασίας:

- ρήψη: κοπή ενός δέντρου από το πρέμνο του, έτσι ώστε το δέντρο να πέσει στο έδαφος
- διαμόρφωση: αποκλάδωση (αφαίρεση των κλαδιών και της κορυφής από το κορμόξυλο) και τμήση (κοπή του κορμόξυλου σε προκαθορισμένα μήκη)
- μεταφορά: φόρτωση και μετακίνηση της ξυλείας από το υλοτόμιο στους χώρους συγκέντρωσης
- μετατόπιση: σύρση του ξύλου κατά μήκος σύρτας στους χώρους συγκέντρωσης
- αποφλοιώση: απομάκρυνση του φλοιού από το κορμόξυλο
- μεταφορά διαμορφωμένων ξυλατεμαχίων: μετακίνηση του ξύλου χρησιμοποιώντας δασικούς δρόμους και δημόσιους δρόμους
- περαιτέρω διαμόρφωση (επεξεργασία): αλλαγή της μορφής του ξύλου για χρήση του ως καυσίμου (κοπή, σχίση, θρυμματισμός).

Η σπουδαιότητα της διαδικασίας θρυμματισμού έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος που καθιστά δυνατή την εκμετάλλευση και αξιοποίηση ξυλώδους βιομάζας η οποία μέχρι τώρα παρέμενε αχρησιμοποίητη.

Υπάρχουν δύο κύρια συστήματα λειτουργίας για τις εργασίες συγκομιδής στα δάση:

- Το Σύστημα Τμηματικής Διαχείρισης του Ξύλου: η επεξεργασία ολοκληρώνεται στο χώρο υλοτομίας, μέσα στο δάσος και τα εμπορεύσιμα ξυλοτεμάχια μετατοπίζονται στο δασόδρομο.
- Το Σύστημα Διαχείρισης Ολόκληρου Δέντρου: μετά την κοπή, όλο το δέντρο μετατοπίζεται και η επεξεργασία γίνεται είτε στο δασικό δρόμο ή στο χώρο συγκέντρωσης της ξυλείας.

Παρά το γεγονός ότι στην Ιταλία εφαρμόζεται κυρίως το Σύστημα Τμηματικής Διαχείρισης του Ξύλου, το Σύστημα Διαχείρισης Ολόκληρου Δέντρου αρχίζει να χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά, ιδιαίτερα στις περιοχές των Άλπεων, ειδικά, όταν η μετατόπιση γίνεται με τη χρήση σχοινογερανού: με αυτή τη μέθοδο, τα υπολείμματα υλοτομίας (κλαδιά και κορυφές) συλλέγονται είτε κατά μήκος των δασικών δρόμων είτε στους χώρους συγκέντρωσης, ώστε να είναι δυνατός ο θρυμματισμός τους.



## 3.2 Μηχανήματα και εξοπλισμός

Ο Πίνακας 3.2.1 παρουσιάζει μια ανασκόπηση των σημαντικότερων μηχανημάτων και του εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στις υλοτομικές εργασίες, αναφορικά με την ιταλική πρακτική. Για κάθε στοιχείο του πίνακα παρατίθεται το συχνότερα χρησιμοποιούμενο εύρος τιμών, αφήνοντας έξω ακραίες τιμές. Το ωριαίο κόστος, όταν χρησιμοποιείται, καθορίζεται με βάση το ημερομίσθιο του χειριστή. Όλες οι τιμές είναι χωρίς ΦΠΑ.

### Πίνακας 3.2.1

#### ΑΛΥΣΟΠΡΙΟΝΟ

Κόστος αγοράς: 500 - 900 €

Παραγωγικότητα σε υψηλόκορμα δάση:

1 - 1,2 συμπαγή m<sup>3</sup>/h (αραιώσεις)

2 - 2,5 συμπαγή m<sup>3</sup>/h (τελικές υλοτομίες)

Παραγωγικότητα σε πρεμνοφυή δάση:

0,4 - 0,7 χ.κ.μ./h (μέση κατάσταση)

0,8 - 1,8 χ.κ.μ./h (καλή κατάσταση)

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα:

0,6 - 1 l (βενζίνη και μίγμα πετρελαίου)

Ωριαίο κόστος: ≈ 18 - 20€



#### ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΥΛΚΟ

Κόστος αγοράς ελκυστήρα: 45.000 - 60.000 €

Κόστος αγοράς βαρούλκου: 3.000 - 4.200 €

Παραγωγικότητα σε υψηλόκορμα δάση:

2,5 - 6 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Παραγωγικότητα σε πρεμνοφυή δάση:

3 - 7 χ.κ.μ. στοιβαχτού/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 4 - 9 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 45 - 50 € (2 εργάτες)



#### ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΡΥΜΟΥΛΚΟΥΜΕΝΟ

Κόστος αγοράς ελκυστήρα: 45.000 - 60.000 €

Κόστος αγοράς ρυμουλκούμ.: 8.000 - 25.000 €

Ικανότητα φόρτωσης: 5 - 15 t

Παραγωγικότητα: 5 - 12 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

(Ανάλογα με την απόσταση έλξης)

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 5 - 10 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 40 - 50 €



#### ΣΧΟΙΝΙΟΓΕΡΑΝΟΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΟ ΠΥΡΓΟ

##### Ελαφρύς:

Κόστος αγοράς: 40.000 - 120.000 €

Μέγιστη δύναμη έλξης: 2.000 daN

Παραγωγικότητα: 3 - 6 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Ωριαία κατανάλωση καυσίμου: 5 - 6 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 25 - 40 €

##### Μέσος:

Κόστος αγοράς: 100.000 - 220.000 €

Μέγιστη δύναμη έλξης: 5.000 daN

Παραγωγικότητα: 3 - 12 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 6 - 10 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 40 - 80 €



**ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΥΛΟΤΟΜΙΑΣ**

Κόστος αγοράς: 300.000 - 370.000 €

Μέγιστη διάμετρος κοπής: 65 - 70 εκατοστά

Μέγιστη διάμετρος αποκλάδωσης: 45 - 60 cm

Μέγιστη κλίση λειτουργίας: 35% (με τροχούς)  
60% (με πέλματα)

(με τη βέλτιστη φέρουσα ικανότητα εδάφους)

Παραγωγ. υψηλά δάση: 8-20 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 11 - 16 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 90 - 120 €

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**

Κόστος αγοράς: 180.000 - 270.000 €

Ικανότητα φόρτωσης: 10 - 14 t

Μέγιστη κλίση λειτουργίας: 30 - 35%

Μήκος κορμοτεμαχίων: μέχρι 6 m

Παραγωγικότητα: 12-20 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

(Ανάλογα με την απόσταση έλξης)

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 7 - 11 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 65 - 80 €

**ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ**

Κόστος αγοράς: 240.000 €

Μέγιστη διάμετρος κοπής: 55 cm

Μέγιστη διάμετρος αποκλάδωσης: 50 cm

Μέγιστη κλίση λειτουργίας: 45-50%

Παραγωγικότητα: 10-15 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 10 - 12 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 80 €

**ΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ**

Κόστος αγοράς: 120.000 - 150.000 €

Ικανότητα σύρσης: μέχρι 3 τόνους

Μέγιστη κλίση λειτουργίας: 20%

Παραγωγικότητα: 8 - 12 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

(Ανάλογα με την απόσταση έλξης)

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 6 - 10 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 55 - 65 €

**ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ**

Κόστος αγοράς ελκυστήρα: 30.000 €

Κόστος αγοράς μηχ. διαμόρφωσης: 45.000 €

Μέγιστη διάμετρος κοπής: 48 εκ.

Μέγιστη διάμετρος αποκλάδωσης: 40 cm

Παραγωγικότητα: 10-15 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 4 - 5 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 35 €

**ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΕ ΕΚΣΚΑΦΕΑ**

Κόστος αγοράς εκσκαφέα: 170.000 €

Κόστος αγοράς μηχ. διαμόρφωσης: 60.000 €

Μέγιστη διάμετρος κοπής: 65 cm

Μέγιστη διάμετρος αποκλάδωσης: 60 cm

Παραγωγικότητα: 15-40 συμπαγή m<sup>3</sup>/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 15 - 17 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 85 €



**ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΤΗΣ****Μικρής ισχύος**

Κόστος αγοράς: 3.500 - 35.000 €

Διάμετρος εργασίας: μέγιστο 20 εκ.

Παραγωγικότητα: 2 - 3 t/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 5 - 8 l

**Μεσαίας ισχύος**

Κόστος αγοράς: 15.000 - 75.000 €

Διάμετρος εργασίας: μέγιστο 30 εκ.

Παραγωγικότητα: 4 - 7 t/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 10 - 14 l

**Μεγάλης ισχύος**

Κόστος αγοράς: 31.000 - 250.000 €

Διάμετρος εργασίας: > 30 εκατοστά

Παραγωγικότητα: 13 - 20 t/h

Κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα: 34 - 38 l

Ωριαίο κόστος: ≈ 150 - 190 €

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ****Πριστών**

Κόστος αγοράς: 600 - 2.000 €

Διάμετρος εργασίας: 14 - 25 cm

**Σχιστού ξύλου**

Κόστος αγοράς: 1.500 - 14.000 €

Μήκος επεξεργασμένων ξυλοτεμαχίων: 0,3 - 4 m

**Συνδυασμός (πριστού-σχιστού ξύλου)**

Κόστος αγοράς: 7.000 - 70.000 €

Διάμετρος εργασίας: 25 - 60 cm

Μήκος επεξεργασμένων ξυλοτεμαχίων: 2 - 6 m

Ωριαίο κόστος: ≈ 70 - 150 €

**ΦΟΡΤΗΓΟ ΚΑΙ ΡΥΜΟΥΛΚΟΥΜΕΝΟ  
(ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΟΡΜΟΤΕΜΑΧΙΩΝ)**

Κόστος αγοράς φορτηγού: 110.000 - 150.000 €

Κόστος αγοράς ρυμουλκ.: 20.000 - 30.000 €

Ικανότητα φόρτωσης: 18 - 20 t

Κατανάλωση καυσίμου: 2,5 - 3,5 km/l

Ωριαίο κόστος: ≈ 60 - 75 €

**ΦΟΡΤΗΓΟ ΚΑΙ ΡΥΜΟΥΛΚΟΥΜΕΝΟ  
(ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥ ΞΥΛΟΥ)**

Κόστος αγοράς φορτηγού: 110.000 - 150.000 €

Κόστος αγοράς ρυμουλκούμενου: 45.000 €

Ικανότητα φόρτωσης: 20 - 22t (85 - 90 m<sup>3</sup> χύδην)

Κατανάλωση καυσίμου: 2,5 - 3,5 km/l

Ωριαίο κόστος: ≈ 65 - 70 €

**Με ειδικό μηχανισμό και κάδο φόρτωσης**

Κόστος αγοράς: 205.000 €

Ικανότητα φόρτωσης: 81 χ.κ.μ. χύδην

Ωριαίο κόστος: ≈ 70 - 75 €

Τα μηχανήματα που εμπλέκονται στην αλυσίδα εφοδιασμού του ξύλου για παραγωγή ενέργειας, σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κούτσουρων, καυσόξυλων και θρυμματισμένου ξύλου.

### **Μηχανήματα για την παραγωγή κούτσουρων-καυσόξυλων**

Μετά την πρώτη εργασία με το αλυσοπρίονο, το ξύλο μεταφέρεται σε ένα χώρο εργασίας, όπου διαμορφώνεται σε μια μορφή κατάλληλη για την χρήση του ως καύσιμο.

Η πρώτη ύλη επεξεργάζεται σε τρεις διαφορετικές φάσεις:

**Επιλογή:** το υλικό ταξινομείται σε κλάσεις ανάλογα με την τελική χρήση του (π.χ. καύση σε καμίνι ή φούρνο). Ο διαχωρισμός γίνεται συνήθως χειρονακτικά.

**Τεμαχισμός:** τμήση του ξύλου σε κομμάτια μήκους από 25 έως 100 cm, κόβοντας τα κούτσουρα κάθετα προς τις ίνες του ξύλου.

**Σχίσση:** η μείωση του πλάτους με το σχίσσιμο των κούτσουρων, με μηχανική δύναμη που ασκείται παράλληλα προς τις ίνες του ξύλου.

Ανάλογα με την εργασία, ο εξοπλισμός για την παραγωγή κούτσουρων ή καυσόξυλων μπορούν να διακριθούν σε μηχανήματα:

- **πρίσης:** εάν η διαδικασία γίνεται με πριονοκορδέλα, μπορούμε να επεξεργαστούμε ξύλα με διάμετρο μεγαλύτερη από 40 εκατοστά, με χαμηλές απώλειες κοπής. Αν η διαδικασία γίνεται με δισκοπρίονο, μπορούμε να επεξεργαστούμε μόνο ξύλα μικρότερης διαμέτρου, με υψηλότερες απώλειες κοπής.
- **σχίσσης:** είναι εξοπλισμένα είτε με μια σφήνα ή με σύστημα κοχλία θραύσης. Τα μηχανήματα με σφήνα, για οικιακή χρήση, έχουν 2 ή 4 πλευρές, λειτουργούν κρατώντας το κούτσουρο κάθετα και μπορούν να ασκήσουν ισχύ σχίσσης μέχρι 15 t, ενώ σε αυτά, για επαγγελματική χρήση, τα κούτσουρα διατηρούνται σε οριζόντια θέση και πιέζονται σε μια σφήνα ή μια σχάρα, μέχρι και 16 πλευρών, με μέγιστη ισχύ 40 - 60 t. Τα μηχανήματα με κοχλία είναι εξοπλισμένα με σπειροειδή κώνο, ο οποίος περιστρέφεται μέσα στο ξύλο, έτσι ώστε να το σχίσει. Είναι ταχύτερα από τα πρώτα, αλλά λιγότερο ακριβή. Για λόγους ασφαλείας, η καλύτερη λύση είναι να εγκαταστήσετε τη συσκευή προσαρμοσμένη σε ένα μηχανήμα (έναν γεωργικό ελκυστήρα, για παράδειγμα).
- **συνδυασμού** (πριστών-σχιστών ξύλων): υπάρχουν και κινητά μοντέλα, αλλά τα περισσότερα από αυτά είναι σταθερά μηχανήματα, που συνδυάζουν τις δύο αυτές διαδικασίες, επιτρέποντας προηγμένη αυτοματοποίηση των διαδικασιών και αύξηση της παραγωγικότητας, σε εργασίες με κούτσουρα και μεγάλα κλαδιά. Είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρικό κινητήρα ή βενζινοκινητήρα (έως 55 kW), μπορούν να επεξεργαστούν κούτσουρα μήκους μέχρι 6m και διαμέτρου μέχρι 60cm και μπορούν να παράγουν υλικό περισσότερο από 12 t/h.

Η επεξεργασία ξύλου πλατυφύλλων απαιτεί περισσότερη ενέργεια από ότι επεξεργασία ξύλου κωνοφόρων. Όλα τα είδη ξύλου διαμορφώνονται και σχίζονται ευκολότερα όταν είναι φρέσκα και όχι ξηραμένα.

### **Θρυμματιστές**

Ο θρυμματιστής είναι μια μηχανή, ειδικά κατασκευασμένη, για να μετατρέπει το συμπαγές ξύλο σε θρυμματισμένο και μπορεί να είναι είτε σταθερός είτε να τοποθετηθεί σε φορέα, σε ρυμουλκούμενο, σε φορτηγό ή προσδεμένος στο πίσω μέρος ενός γεωργικού ελκυστήρα. Μπορεί να είναι εξοπλισμένος με δικό του κινητήρα ή να ενεργοποιείται από την ισχύ της



μηχανής ενός ελκυστήρα, μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης. Ανάλογα με το είδος της μονάδας θρυμματισμού, είναι δυνατόν να γίνει διάκριση στα παρακάτω είδη:

- **Θρυμματιστές δίσκου:** η μονάδα θραύσης αποτελείται από ένα βαρύ δίσκο, στον οποίο τοποθετούνται ακτινωτά 2-4 μαχαίρια. Το υλικό έρχεται σε επαφή με το δίσκο υπό γωνία 30 έως 40 μοιρών, με το επίπεδο του δίσκου και τα περιστρεφόμενα μαχαίρια, ενεργώντας σε βάση κοπής στο τέλος του στομίου τροφοδοσίας, κόβουν προοδευτικά φέτες από το ξύλο που σπάνε σε θρύμματα ενώ κόβονται. Το μέγεθος των θρυμμάτων του ξύλου κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,3 και 4,5 cm και μπορεί να τροποποιηθεί με τη χρήση ρυθμιζόμενων μαχαιριών.
- **Θρυμματιστές τυμπάνου:** μεγαλύτεροι και πιο ισχυροί από τους θρυμματιστές δίσκου, μπορούν να διαχειριστούν εύκολα ξυλοτεμάχια και υπολείμματα υλοτομίας. Η μονάδα θραύσης αποτελείται από έναν χαλύβδινο κύλινδρο, με έως και 12 μαχαίρια τοποθετημένα σε επαπτόμενη θέση. Τα μεγέθη των θρυμμάτων είναι πιο ομοιογενή, με μήκος έως και 6,5 cm. Τα μαχαίρια πρέπει να αντικαθίσταται μετά από κάθε 50 έως 100 τόνους παραγόμενου υλικού (για εργασία με σκληρό ξύλο) ή 200 - 300 τόνους (για εργασία με μαλακό ξύλο)
- **Θρυμματιστές κοχλίας:** ο θρυμματισμός πραγματοποιείται από ένα μεγάλο κοχλία με αιχμηρές άκρες, που η διάμετρός του να μειώνεται τμηματικά και περιστρέφεται σε οριζόντιο άξονα. Αυτές οι μηχανές, οι οποίες δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες, μπορούν να επεξεργαστούν ολόκληρους κορμούς δέντρων ή κορμοτεμάχια και να παράγουν μεγαλύτερα κομμάτια θρυμματισμένου ξύλου (έως και 8 εκατοστών) σε σύγκριση με τους θρυμματιστές δίσκου και τυμπάνου.

Ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ, διακρίνονται τρεις κατηγορίες θρυμματιστών:

- **Μικρής ισχύος:** συνήθως προσαρμόζονται στο πίσω μέρος γεωργικού ελκυστήρα ή σε ρυμουλκούμενο και τροφοδοτούνται με ισχύ από τη μηχανή του ελκυστήρα με σύστημα μετάδοσης κίνησης ή από ανεξάρτητο κινητήρα (~ 50 kW). Μπορούν να επεξεργαστούν μόνο ξύλο μικρής διαμέτρου (20 εκατοστά μέγιστο) και δεν μπορούν να παράγουν περισσότερους από 20 t/ημέρα.
- **Μέσης ισχύος:** προσαρμοσμένοι σε ρυμουλκούμενο, συνήθως με ανεξάρτητο κινητήρα (50-110 kW), μπορούν να θρυμματίσουν ξύλο διαμέτρου μέχρι 30 εκατοστά και να παράγουν έως και 50 t/ημέρα.
- **Υψηλής ισχύος:** προσαρμοσμένοι σε ρυμουλκούμενα ή σε φορτηγά, αυτοί οι θρυμματιστές μπορεί να τροφοδοτούνται με ισχύ από τον κινητήρα του φορτηγού, αλλά κατά βάση είναι εφοδιασμένοι με αυτόνομο κινητήρα (> 130 kW). Μπορούν να θρυμματίσουν κούτσουρα με μεγάλη διάμετρο (> 30 cm) και να παράγουν εύκολα περισσότερους από 60 t/ημέρα.

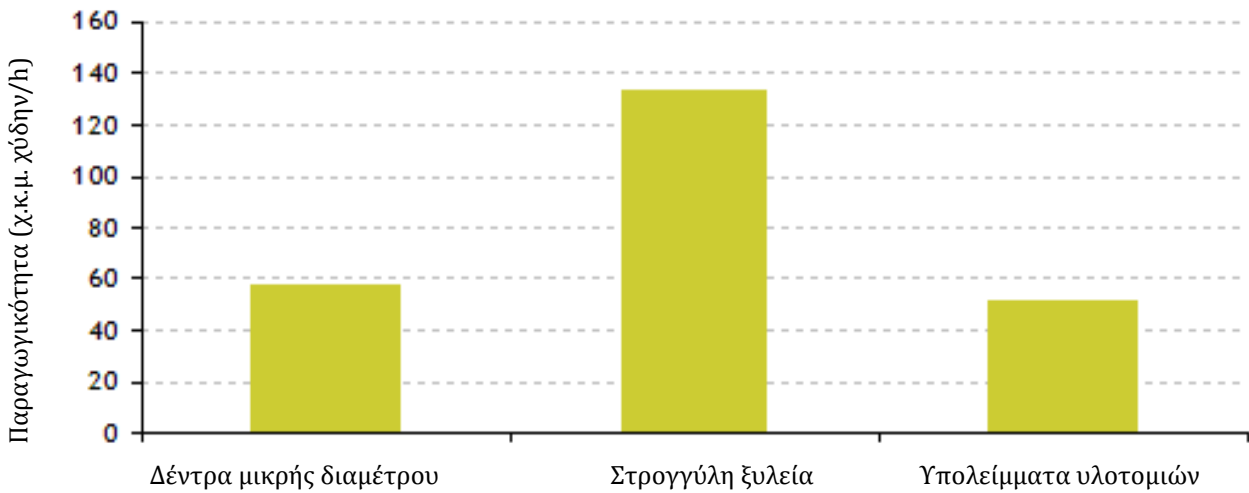
Το **κόσκινο** είναι ένα σημαντικό εργαλείο το οποίο καθιστά δυνατή την κατά μέγεθος επιλογή των θρυμμάτων, κατά τη φάση της εξαγωγής, βελτιώνοντας την ποιότητα του παραγόμενου υλικού, μειώνοντας όμως παράλληλα την παραγωγικότητα.

Όταν ο θρυμματισμός πραγματοποιείται σε τόπο διαφορετικό από την μονάδα τελικής χρήσης, το θρυμματισμένο ξύλο μεταφέρεται είτε με φορτηγό ή με φορτηγό και ρυμουλκούμενο, σπάνια όμως από αρθρωτό όχημα, το οποίο είναι κατασκευασμένο σε

πολλές περιπτώσεις από ελαφρύ κράμα. Ένα σύστημα φόρτωσης με κάδο είναι δυνατόν να εγκατασταθεί στο φορτηγό ή το ρυμουλκούμενο, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η αυτόνομη φόρτωση του θρυμματισμένου υλικού.

Μελέτες στην Αυστρία δείχνουν ότι η παραγωγικότητα (σε χ.κ.μ. χύδην υλικού), ενός υψηλής ισχύος θρυμματιστή, ποικίλλει ανάλογα με το είδος του υλικού που πρόκειται να θρυμματιστεί<sup>[19]</sup>. Στην εκτίμηση των μέσων τιμών παραγωγικότητας (**Διάγραμμα 3.2.1**) περιλαμβάνονται και οι χρόνοι αναμονής, για το φορτηγό και το ρυμουλκούμενο στη διαδικασία εκφόρτωσης του θρυμματισμένου υλικού. Έχει υπολογιστεί ότι οι χρόνοι αυτοί αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% του συνολικού χρόνου.

**Διάγραμμα 3.2.1**



### 3.3 Η εφοδιαστική αλυσίδα ξύλου για ενέργεια και το κόστος της

Σαν παράδειγμα, παρατίθενται παρακάτω τρεις πίνακες πιθανών αλυσίδων εφοδιασμού θρυμματισμένου ξύλου, για την παραγωγή ενέργειας σε λέβητες (με σταθερή ή κινητή εσχάρα), που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε ορεινή περιοχή. Οι υπολογισμοί έχουν γίνει από τη σκοπιά της επιχείρησης που δραστηριοποιείται στο δασικό τομέα και διαχειρίζεται την αλυσίδα εφοδιασμού.\*

**1. Αραιώσεις σε συστάδες κωνοφόρων** με την εφαρμογή του Συστήματος Διαχείρισης Ολόκληρου Δέντρου. Προορισμός θρυμματισμένου ξύλου: λέβητας με σταθερή εσχάρα (M 30%, P45, αναφορά: Πίνακας 4.4.1). Τιμή πρώην θερμοηλεκτρικού σταθμού 18-20 €/m<sup>3</sup> χύδην (= 80-90 €/τόνο)

Φάση εργασίας	Εξοπλισμός	Παραγωγικότητα (χ.κ.μ. χύδην/ώρα)	Κόστος (€/χ.κ.μ. χύδην)
Υλοτομία	2 αλυσοπρίονα	35,00	0,50
Σύρση ολόκληρου δέντρου	2 ελκυστήρες με βαρούλκο	17,00	5,90
Μηχανική επεξεργασία στο χώρο συγκέντρωσης	Επεξεργαστής σε ελκυστήρα	24,30	1,40
Φόρτωση κούτσουρων σε φορτηγό και ρυμουλκούμενο	Φορτηγό & ρυμουλκούμενο	121,50	0,60
Μεταφορά κούτσουρων προς Κέντρο Εμπορίου Βιομάζας (90 km με την επιστροφή)	Φορτηγό & ρυμουλκούμενο	36,50	2,00
Εκφόρτωση κούτσουρων από φορτηγό και ρυμουλκούμενο	Φορτηγό & ρυμουλκούμενο	145,80	0,50
Φυσική ξήρανση	-	-	0,30
Θρυμματισμός κούτσουρων	Θρυμματιστής υψηλής ισχύος	100,00	1,40
Παράδοση θρυμματισμένου ξύλου (90 km με την επιστροφή)	Φορτηγό & ρυμουλκούμενο	26,40**	2,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>14,60</b>

Η αξία των ιστάμενων δέντρων πρέπει να προστίθεται στη συνολική (από 0 έως 5 €/χ.κ.μ. χύδην για αραιώσεις)

\*\* Φυσικά ξηραμένο θρυμματισμένο ξύλο (M 30%)

**2. Τελική υλοτομία σε συστάδες κωνοφόρων** με την εφαρμογή του Συστήματος Διαχείρισης Ολόκληρου Δέντρου. Προορισμός θρυμματισμένου ξύλου: λέβητας με κινητή εσχάρα (M 55%, P63, αναφορά: Πίνακας 4.4.1). Τιμή πρώην θερμοηλεκτρικού σταθμού 10-13 €/χ.κ.μ. χύδην (= 29-38 €/τόνο). Τα υπολείμματα της συγκομιδής που έχουν συγκεντρωθεί στις πλευρές των δασόδρομων είναι διαθέσιμα, χωρίς κόστος, δεδομένου ότι όλες οι δαπάνες συγκομιδής επιβαρύνουν τη βιομηχανική ξυλεία.

Φάση εργασίας	Εξοπλισμός	Παραγωγικότητα (χ.κ.μ. χύδην/ώρα)	Κόστος (€/χ.κ.μ. χύδην)
Θρυμματισμός υπολειμμάτων υλοτομίας	Θρυμματιστής υψηλής ισχύος	55,00	2,60
Παράδοση θρυμματισμένου ξύλου (90 km με την επιστροφή)	Φορτηγό & ρυμουλκούμενο	22,10***	2,40
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>5,00</b>

\*\*\* Φρέσκο θρυμματισμένο ξύλο (M 55%)

\* Έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω ισοδυναμίες: 1 m<sup>3</sup> συμπαγούς ξύλου = 2,43 χ.κ.μ. χύδην θρυμματισμένου ξύλου (συντελεστής όγκου = 0,41 συμπαγές m<sup>3</sup>/χ.κ.μ. χύδην). 1 χ.κ.μ. χύδην = 223 κιλά (M 30%). 1 χ.κ.μ. χύδην = 347 κιλά (M 55%)

**3. Αραιώσεις σε συστάδες των κωνοφόρων** με την εφαρμογή του Συστήματος Διαχείρισης Ολόκληρου Δέντρου. Προορισμός θρυμματισμένου ξύλου: λέβητας με κινητή εσχάρα (M 55%, P63, αναφορά: Πίνακας 4.4.1). Τιμή πρώην θερμοηλεκτρικού σταθμού 10-13 €/χ.κ.μ. χύδην (= 29-38 €/τόνο). Τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με τα στοιχεία της βιβλιογραφίας, σύμφωνα με τα οποία η συγκομιδή φρέσκου θρυμματισμένου ξύλου (κωνοφόρων ή πλατύφυλλων), ως το μόνο προϊόν που θα χρησιμοποιηθεί σε λέβητες κινητής εσχάρας, δύσκολα μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική. Η παραγωγή αυτού του είδους θρυμματισμένου ξύλου πρέπει να είναι ολοκληρωμένη, και όχι αποκλειστικά, από ευκαιριακή συγκομιδή.

Φάση εργασίας	Εξοπλισμός	Παραγωγικότητα (χ.κ.μ. χύδην/ώρα)	Κόστος (€/χ.κ.μ. χύδην)
Ρήψη	2 αλυσοπρίονα	35,00	0,50
Μετατόπιση ολόκληρου δέντρου	2 ελκυστήρες με βαρούλκο	17,00	5,90
Θρυμματισμός ολόκληρου δέντρου	Θρυμματιστής υψηλής ισχύος	60,00	2,40
Παράδοση θρυμματισμένου ξύλου (90 km με την επιστροφή)	Φορητό & ρυμουλκούμενο	22,10*	2,40
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>11,20</b>

Η αξία των ιστάμενων δέντρων πρέπει να προστίθεται στη συνολική (από 0 έως 5 €/χ.κ.μ. χύδην για αραιώσεις)

\* Φρέσκο θρυμματισμένο ξύλο (M 55%)

## 4 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης, CEN (TC 335), προετοιμάζει επί του παρόντος 30 τεχνικές προδιαγραφές για τα στερεά βιοκαύσιμα. Η CEN/TC 335 είναι η τεχνική επιτροπή που αναπτύσσει το προσχέδιο προτύπου, για να περιγράψει όλες τις μορφές των στερεών βιοκαυσίμων, σε Ευρωπαϊκό πλαίσιο, όπου συμπεριλαμβάνονται το θρυμματισμένο ξύλο, τα σύμπηκτα (pellets), οι μπριγκέτες ξύλου, τα κούτσουρα, το πριονίδι και τα δέματα άχυρου. Τα δύο πιο σημαντικά πρότυπα που αναπτύσσονται, αφορούν ζητήματα σχετικά με την ταξινόμηση και τις προδιαγραφές (CEN/TS 14961) και τη διασφάλιση της ποιότητας των στερεών βιοκαυσίμων (CEN/TS 15234). Η ταξινόμηση των στερεών βιοκαυσίμων βασίζεται στην προέλευσή και την πηγή των πρώτων υλών τους. Παρατίθεται ο κατάλογος των πιο σημαντικών τεχνικών προδιαγραφών που προετοιμάστηκαν από τη CEN 335:

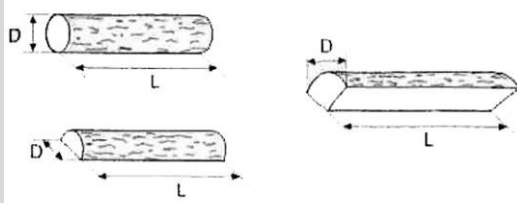
1. CEN/TS 14588:2003 Στερεά βιοκαύσιμα - Ορολογία, ορισμοί και περιγραφές
2. CEN/TS 14961:2005 Στερεά βιοκαύσιμα - Προδιαγραφές καυσίμων και κλάσεις
3. EN/TS 15234:2006 Στερεά βιοκαύσιμα - Διασφάλιση ποιότητας καυσίμων
4. CEN/TS 14774-1:2004 Στερεά βιοκαύσιμα - Μέθοδοι για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε υγρασία - Μέθοδος ξήρανσης σε φούρνο- Μέρος 1: Συνολική υγρασία - Μέθοδος αναφοράς
5. CEN/TS 14774-2:2004 Στερεά βιοκαύσιμα - Μέθοδοι για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε υγρασία - Μέθοδος ξήρανσης σε φούρνο - Μέρος 2: Συνολική υγρασία - Απλοποιημένη μέθοδος
6. CEN/TS 14774-3:2004 Στερεά βιοκαύσιμα - Μέθοδοι για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε υγρασία - Μέθοδος ξήρανσης σε φούρνο - Μέρος 3: Η υγρασία στη γενική ανάλυση δείγματος
7. CEN/TS 14778-1:2005 Στερεά βιοκαύσιμα - Δειγματοληψία - Μέρος 1: Μέθοδοι δειγματοληψίας
8. CEN/TS 14918:2005 Στερεά βιοκαύσιμα - Μέθοδος για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης
9. CEN/TS 15103:2005 Στερεά βιοκαύσιμα - Μέθοδοι για τον προσδιορισμό της πυκνότητας
10. CEN/TS 15296:2006 Στερεά βιοκαύσιμα - Υπολογισμός των αναλύσεων σε διαφορετικές βάσεις

Η ποιοτική ταξινόμηση των στερεών βιοκαυσίμων καθορίζεται, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, με τις τεχνικές προδιαγραφές του CEN/TS 14961 (*Στερεά βιοκαύσιμα, προδιαγραφές καυσίμων και κλάσεις, 2005*).

### 4.1 Τεχνικές προδιαγραφές κούτσουρων και θρυμματισμένου ξύλου

Οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές CEN/TS 14961:2005 παρέχουν ρυθμιστικές πληροφορίες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατάρτιση οποιωνδήποτε συμβάσεων προμηθειών και των σχετικών δηλώσεων ποιότητας για τα προμηθευόμενα στερεά βιοκαύσιμα (Παραρτήματα A1 και A2). Παρατίθεται στη συνέχεια το τμήμα των κανονιστικών προδιαγραφών για τα κούτσουρα και το θρυμματισμένο ξύλο.

Πίνακας 4.1.1

<b>Προέλευση:</b> Σύμφωνα με τον πίνακα 1 του TS.		Ευλώδης βιομάζα (1.1.2.1, 1.1.2.2, 1.1.2.3)	
<b>Εμπορεύσιμη μορφή</b>		<b>ΚΟΥΤΣΟΥΡΑ</b>	
<b>ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ</b>	<b>Διαστάσεις</b>		
	Μήκος (L)		
	Πάχος (D) (Μέγιστη διάμετρος ενός μόνο τεμαχίου)		
	P200-	L < 200 και D < 20 (ανάφλεξη ξύλου)	
	P200	L = 200 ± 20 και 40 ≤ Δ ≤ 110 mm	
	P250	L = 250 ± 20 και 40 ≤ Δ ≤ 110 mm	
	P330	L = 330 ± 20 και 40 ≤ Δ ≤ 110 mm	
	P500	L = 500 ± 40 και 60 ≤ Δ ≤ 200 mm	
	P1000	L = 1000 ± 50 και 60 ≤ Δ ≤ 200 mm	
	P1000+	L > 1000 (η πραγματική τιμή πρέπει να δηλώνεται)	
<b>Υγρασία (M)</b>			
M20 ≤ 20%	Από ξηραντήριο		
M30 ≤ 30%	Εήρανση στο χώρο της αποθήκευσης		
M40 ≤ 40%	Εήρανση στο δάσος		
M65 ≤ 65%	Φρέσκο, μετά την κοπή στο δάσος		
<b>Εύλο</b>			
Να δηλώνεται εάν χρησιμοποιείται ξύλο κωνοφόρων ή πλατύφυλλων ή μείγμα αυτών.			

Πίνακας 4.1.2

<b>Προέλευση:</b> Σύμφωνα με τον πίνακα 1 του TS.		Ευλώδης βιομάζα (1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.6, 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.4)		
<b>Εμπορεύσιμη μορφή</b>		<b>ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΕΥΛΟ</b>		
<b>ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ</b>	<b>Διαστάσεις</b>			
		Κύρια ποσοστό > 80% του βάρους	Ποσοστό ινών < 5%	Χοντρό κλάσμα < 1%
	P 16	3,15 mm ≤ p ≤ 16 mm	< 1 mm	> 45 mm, όλο < 85 mm
	P 45	3,15 mm ≤ p ≤ 45 mm	< 1 mm	> 63 mm
	P 63	3,15 mm ≤ p ≤ 63 mm	< 1 mm	> 100 mm
	P 100	3,15 mm ≤ p ≤ 100 mm		> 200 mm
	<b>Υγρασία (M)</b>			
	M20 ≤ 20%	Αποξηραμένα		
	M30 ≤ 30%	Κατάλληλα για αποθήκευση		
	M40 ≤ 40%	Οριακά προς αποθήκευση		
M55 ≤ 55%				
M65 ≤ 65%				
<b>Τέφρα (% επί ξηρής βάσης)</b>				
A0.7 ≤ 0,7%				
A1.5 ≤ 1,5%				
A3.0 ≤ 3,0%				
A6.0 ≤ 6,0%				
A10 ≤ 10,0%				

## 4.2 Όργανα για τον γρήγορο προσδιορισμό της υγρασίας

Αν και η σταθμική μέθοδος (βλέπε CEN/TS 14774-1) είναι η μόνη αναγνωρισμένη μέθοδος αναφοράς για τον ακριβή προσδιορισμό της υγρασίας ξύλου\*, η τεχνολογία σήμερα προσφέρει μια σειρά φορητών πρακτικών συσκευών για τον γρήγορο προσδιορισμό της. Οι συσκευές αυτές αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες, για την εφαρμογή των συμβάσεων προμήθειας βιοκαυσίμων με βάση το βάρος (βλέπε κεφάλαιο 5.2).

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται φυσικά από την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος και από την επιμέλεια με την οποία πραγματοποιήθηκε η μέτρηση. Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί κατά την αρχική ρύθμιση των συσκευών και των συντελεστών διόρθωσης (βαθμονόμησης).

Οι μετρητές που διατίθενται στην αγορά μπορούν να διαιρούνται σε αυτούς που λειτουργούν με επαφή (συμπαγείς) και αυτούς που λαμβάνουν μετρήσεις με τη χρήση ακίδας (τύπου ακίδας).

### Κούτσουρα και μακριά ξύλα

Για τα κούτσουρα και τα καυσόξυλα μικρής διαμέτρου είναι δυνατή η χρήση μετρητή με ακίδα που μετρά την ηλεκτρική αντίσταση (αγωγιμότητα) ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια (ακίδες). Ανάμεσα στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και την υγρασία του ξύλου υπάρχει συσχέτιση, η οποία είναι μέγιστη στο υγροσκοπικό πεδίο (M 0-23%). Η μέτρηση αυτή γίνεται, αποκλειστικά, μέσα στο χώρο ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια στο βάθος εισαγωγής τους στο ξύλο (μέχρι περίπου 5 εκατοστά).

Τα πιο πρόσφατα ειδικά μοντέλα μπορούν να καθορίσουν την υγρασία του δείγματος μέσα σε ένα εύρος M 10-60% (u 11-150%) με ακρίβεια 0,1% ([www.humimeter.com](http://www.humimeter.com)).

### Θρυμματισμένο ξύλο

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για το θρυμματισμένο ξύλο λειτουργούν με βάση την επαφή και μετρούν την διηλεκτρική σταθερά (ηλεκτροστατική φόρτιση). Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η διηλεκτρική σταθερά. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κάποια διηλεκτρικά υγρόμετρα, ειδικά για θρυμματισμένο ξύλο, πριονίδια, ροκανίδια, φλοιό και pellets και τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές του CEN/TS 14961 ([www.schaller-gmbh.at](http://www.schaller-gmbh.at)). Τέτοια όργανα μπορούν να μετρήσουν θρυμματισμένο ξύλο, που ανήκει στην τάξη μεγέθους P16 και P45, με μέγιστη υγρασία 60%. Πρώτα, το υλικό ζυγίζεται, ώστε να προσδιοριστεί η ορθή καμπύλη βαθμονόμησης για το όργανο. Αφού γίνει αυτό, τα θρύμματα τοποθετούνται σε δοχείο όπου υφίσταται ασθενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που



\* Η σταθμική μέθοδος εφαρμόζεται στο εργαστήριο και βασίζεται στη ζύγιση ενός δείγματος πριν και μετά την πλήρη ξήρανση του σε φούρνο, στους 103° C. Χρειάζονται 24 ώρες για να γίνει αυτό

επιηρεάζεται από την υγρασία του ξύλου. Σε μερικά δευτερόλεπτα μπορείτε να διαβάσετε την μέτρηση της υγρασίας του δείγματος στην οθόνη του οργάνου.

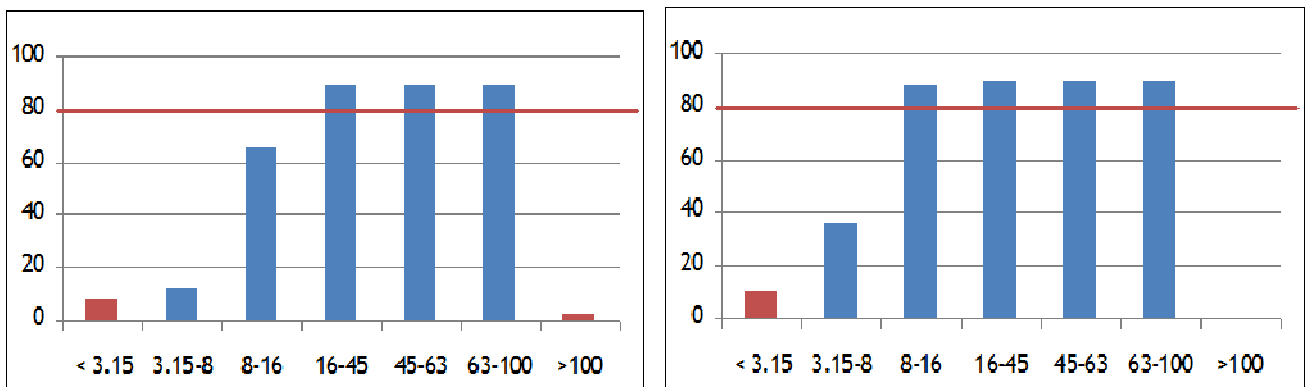
### 4.3 Όργανα για τον προσδιορισμό των διαστάσεων του θρυμματισμένου ξύλου

Η τάξη μεγέθους προσδιορίζεται στο εργαστήριο με τη χρήση ειδικών δονούμενων κόσκινων τοποθετημένων σε σειρά που πληρούν τις απαιτήσεις που θέτει το πρότυπο CEN/TS 14961.

**Εικόνα 4.3.1** Συσκευή για τον προσδιορισμό του μεγέθους των θρυμμάτων ξύλου (AIEL, 2006)



**Σχήμα 4.3.1** Παράδειγμα της κατάταξης μεγέθους σε δύο δείγματα θρυμματισμένου ξύλου P45 (αριστερά) και P16 (δεξιά).



### 4.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τους λέβητες

Τα κύρια χαρακτηριστικά των καυσίμων ξύλου, που απαιτούνται για τη χρήση τους σε λέβητες είναι: οι διαστάσεις, η υγρασία και η περιεχόμενη τέφρα. Ο Πίνακας 4.4.1 παρέχει μια ενδεικτική επισκόπηση των χαρακτηριστικών που απαιτούνται από τα καύσιμα, για λέβητες ξύλου (κούτσουρα) και θρυμματισμένου ξύλου.

**Πίνακας 4.4.1**



Τύποι λέβητα	Ισχύς kWt	Εσχάρα	Σύστημα τροφοδοσίας	Διαστάσεις (P)	Υγρασία (M)	Τέφρα (A)
Λέβητας ξύλου (κούτσουρα)	<100	Σταθερή	Χειρονακτική	P330-1000	M20	-
Λέβητας θρυμματισμένου ξύλου	<150	Σταθερή	Κοχλίας	P16-45	M20-M30	A1,5
	(30) 150 - 1000	Σταθερή/μερικώς κινητή	Κοχλίας	P16-45	M20-M40	A1,5-3,0
	>1000	Κινητή	Υδραυλικό έμβολο	P16-100	M30-M55	A3,0-10,0

Το μέγεθος που απαιτείται για **λέβητες ξύλου**, με χειρονακτική τροφοδοσία, εξαρτάται από το μέγεθος του ανοίγματος για την τροφοδοσία του καυσίμου. Ορισμένα μοντέλα με ισχύ 100 kW και με μεγαλύτερο άνοιγμα, για την τροφοδοσία των καυσόξυλων, μπορούν να τροφοδοτηθούν με κούτσουρα μήκους μέχρι και 1 m.

Οι λέβητες ξύλου απαιτούν τη χρήση καυσίμου της κατηγορίας M20, αλλιώς η καύση δεν πραγματοποιείται ολοκληρωτικά, καθώς η ενέργεια που απαιτείται για να εξατμιστεί το νερό προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας στον θάλαμο καύσης, κάτω από το ελάχιστο επίπεδο που απαιτείται για τη διατήρηση της καύσης. Η χρήση καυσόξυλου με υγρασία μεγαλύτερη από M20 προκαλεί σημαντική αύξηση στις εκπομπές.

**Οι λέβητες** σταθερής εσχάρας που καίνε **θρυμματισμένο ξύλο** απαιτούν πολύ ομοιογενές υλικό (P16 και P45), λόγω του μικρού μεγέθους της εσχάρας και λόγω του γεγονότος ότι υπερμεγέθη κομμάτια μπορεί να εμποδίσουν τον κοχλία τροφοδοσίας. Αντίθετα, οι λέβητες με μεγαλύτερη ισχύ, στους οποίους είναι δυνατή η εγκατάσταση υδραυλικών εμβόλων τροφοδοσίας, είναι πολύ πιο ευέλικτοι.

Η υγρασία του θρυμματισμένου ξύλου σε λέβητες σταθερής εσχάρας δεν πρέπει να είναι πάνω από 30% (M30) καθώς, έχουν μικρή θερμική αδράνεια, στο μέτρο που ο όγκος του θαλάμου καύσης, άρα και του νερού στον εναλλάκτη θερμότητας, είναι περιορισμένος. Έτσι, η εισαγωγή υλικού υψηλής υγρασίας θα μειώσει τη θερμοκρασία καύσης δραστικά. Επιπλέον, η πολύ υψηλή υγρασία ενδέχεται να θέσει σε κίνδυνο την αρχική φάση της καύσης, δεδομένου ότι οι λέβητες είναι εφοδιασμένοι με σύστημα αυτόματης (ηλεκτρικής) ανάφλεξης. Η θρυμματισμένη ξυλεία θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομοιογενής, ως προς την υγρασία της. Πραγματικά, όσο πιο ετερογενής είναι, τόσο μεγαλύτερες δαπάνες κεφαλαίου απαιτούνται για την εξασφάλιση τεχνολογίας ικανής να διαχειριστεί ακόμα πιο σύνθετες διαδικασίες καύσης που μπορεί να προκύψουν από αυτό το γεγονός. Στους λέβητες κινητής εσχάρας μπορεί να καεί και νωπό θρυμματισμένο ξύλο. Ωστόσο, όσο υψηλότερη είναι η υγρασία τους, τόσο περισσότερο θα πέσει η απόδοση της διαδικασίας παραγωγής ενέργειας. Πράγματι, μέρος της παραγόμενης ενέργειας πρέπει να καταναλωθεί για να εξατμιστεί το νερό από το ξύλο. Επιπλέον, η χρήση θρυμματισμένου ξύλου χαμηλής ποιότητας (π.χ. θρύμματα που προέρχονται αποκλειστικά από υπολείμματα υλοτομίας κωνοφόρων και κυρίως βελόνες) αυξάνει το κόστος συντήρησης (τήξη επικαθήσεων, καθαρισμός εναλλάκτη) και προκαλεί σημαντική πτώση στην απόδοση του λέβητα, με αποτέλεσμα την αύξηση του τελικού κόστους της ενέργειας.<sup>[14]</sup>

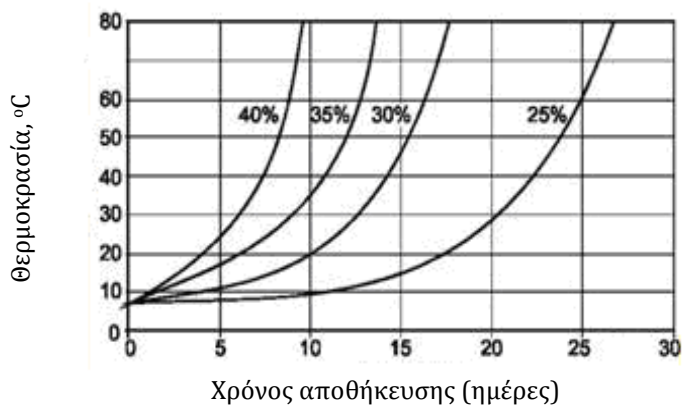
## 4.5 Διαδικασίες φυσικής ξήρανσης του ξύλου

### Αύξηση θερμότητας σωρού κατά την αποθήκευση

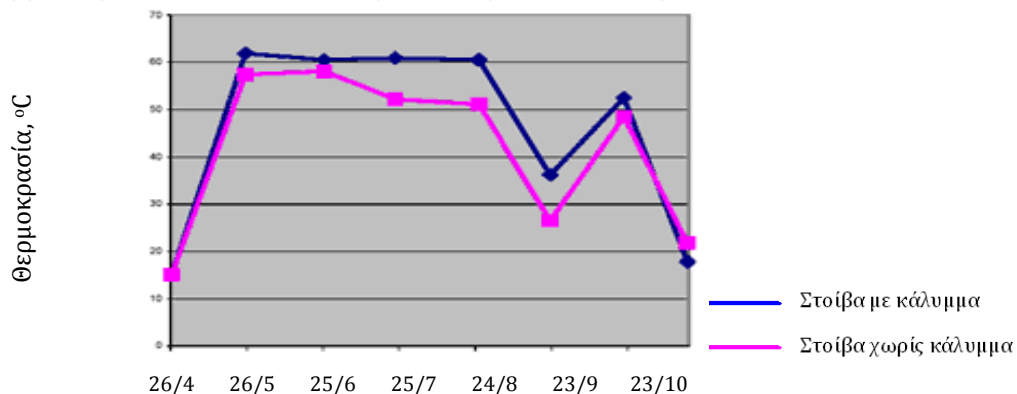
Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, η φρέσκια λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα θερμαίνεται λόγω της διαδικασίας της αναπνοής στα ακόμη ζωντανά παρεγχυματικά κύτταρα. Αυτή η διαδικασία σταματά όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 40°C. Η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας της μάζας του ξύλου μπορεί να αποδοθεί στο μεταβολισμό μυκήτων και βακτηρίων. Αν και οι μύκητες μπορούν να επιζήσουν μέχρι και σε θερμοκρασία 60°C, περίπου, η δραστηριότητα των θερμοφίλων βακτηρίων ξεκινά από τους 75 έως 80°C. Σε ειδικές περιπτώσεις, η θέρμανση της μάζας του ξύλου μπορεί να φτάσει ακόμη και σε θερμοκρασία 100°C περίπου. Ωστόσο, οι λόγοι για αυτήν την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας, δεν έχουν ακόμη εξηγηθεί. Στους 100°C αρχίζουν κάποιες διαδικασίες θερμοχημικής μετατροπής που μπορεί να οδηγήσουν, αν και αυτό συμβαίνει πολύ σπάνια, σε φαινόμενα αυτανάφλεξης. Τέτοια φαινόμενα εμφανίζονται, γενικά, σε πολύ λεπτό υλικό ξύλου (πριονίδια) και σε φλοιό.

Κάτω από ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων (π.χ. Μ 40%) το ξύλο αρχίζει να θερμαίνεται μετά από μερικά δευτερόλεπτα. Αντίθετα, οι μικροοργανισμοί δεν ενεργοποιούνται κάτω από συνθήκες μόνιμων χαμηλών θερμοκρασιών (χειμώννας), εκτός και εάν έχουν ενεργοποιηθεί νωρίτερα (Σχήμα 4.5.1 και Σχήμα 4.5.2).

**Σχήμα 4.5.1** Τάσεις της θερμοκρασίας μέσα σε σωρό θρυμματισμένου ξύλου για διαφορετικές περιεκτικότητες σε υγρασία. Όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο υγρασίας τόσο πιο γρήγορα ο σωρός θα ζεσταθεί<sup>[2]</sup>



**Σχήμα 4.5.2** Ανάπτυξη της θερμοκρασίας (από Απρίλιο έως Νοέμβριο) σε δύο στοίβες θρυμματισμένου ξύλου, καλυπτόμενο και μη, από ύφασμα που αερίζεται (TOPTEX)<sup>[12]</sup>



### Απώλεια οργανικής ουσίας του ξύλου

Εξαιτίας της εντατικοποίησης των μεταβολικών δραστηριοτήτων μυκήτων και βακτηρίων, εμφανίζεται αποσύνθεση της οργανικής ουσίας ξύλου και ως εκ τούτου, υπάρχει απώλεια οργανικής μάζας του καυσίμου. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες, οι βιολογικές δραστηριότητες πρέπει να διατηρούνται, όσο το δυνατόν περισσότερο, υπό έλεγχο. Παρακάτω, παρατίθεται μια λίστα μέτρων που πρέπει να ληφθούν, κυρίως για θρυμματισμένο ξύλο και φλοιό, τα οποία, μεταξύ των βιοκαυσίμων, επηρεάζονται πιο συχνά από τέτοιου είδους προβλήματα.

- Αποθηκεύστε το υλικό με την ελάχιστη δυνατή υγρασία και προστατεύστε το από τη βροχή
- Ευνοείτε τον φυσικό αερισμό: αυτό επιταχύνει την απώλεια θερμότητας και υγρασίας
- Να θυμάστε ότι το τραχύ και κανονικού μεγέθους υλικό βοηθά τον εσωτερικό αερισμό
- Χρησιμοποιήστε επαρκώς αιχμηρά εργαλεία κοπής (κανονικού μεγέθους)
- Μειώστε στο ελάχιστο την παρουσία βελονών και φύλλων, τα οποία προσβάλλονται εύκολα από μικροοργανισμούς
- Ελαχιστοποιήστε τη διάρκεια της αποθήκευσης
- Επιλέξτε ένα ιδανικό ύψος για τους σωρούς

Δεν είναι πάντοτε δυνατό να εφαρμοστούν όλες οι παραπάνω πρακτικές. Έτσι, μια ορισμένη απώλεια οργανικής ουσίας του ξύλου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Ο Πίνακας 4.5.1 παρουσιάζει κάποιες ενδεικτικές τιμές των απωλειών αυτών<sup>[2]</sup>

**Πίνακας 4.5.1**

Υλικό / Τύπος αποθήκευσης	Ετήσια απώλεια (B% ξ.β.)
Θρυμματισμένο ξύλο από δάσος, νωπό, ακάλυπτο	20 έως > 35
Θρυμματισμένο ξύλο από δάσος, λεπτό, ξηραμένο φυσικά, καλυμμένο	2-4
Χοντρό θρυμματισμένο ξύλο από δάσος (7-15 cm), νωπό, που καλύπτεται	4
Φλοιός, νωπός, ακάλυπτος	15-22
Κούτσουρα (οξυάς, ελάτης) μετά από 2 χρόνια, καλύπτονται	2,5
Κούτσουρα (οξυάς, ελάτης) μετά από 2 χρόνια, ακάλυπτα	5-6
Κούτσουρα (ερυθρελάτης, ελάτης) νωπά, ακάλυπτα	1-3
Ολόκληρα νεαρά δέντρα (λεύκες, ιτιές) νωπά, ακάλυπτα	6-15

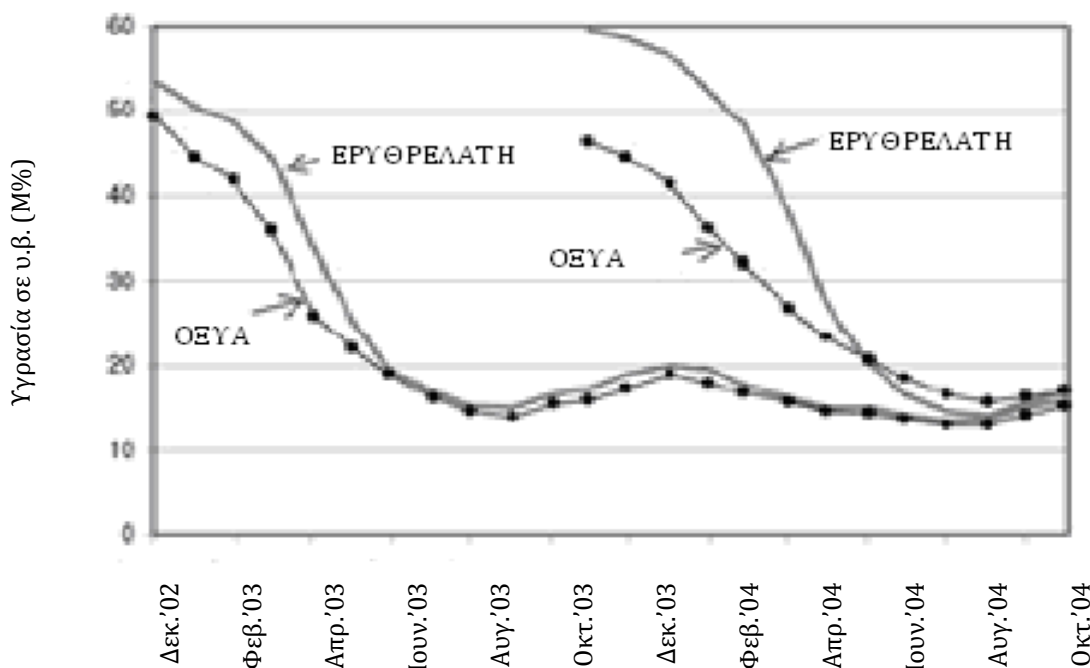
Η απώλεια ξηρής ουσίας μπορεί, εν μέρει τουλάχιστον, να εξισορροπείται από τη μείωση της υγρασίας του υλικού στο χώρο αποθήκευσης. Αυτό συνεπάγεται μια αύξηση της καθαρής θερμογόνου δύναμης (αναφορικά με τη μάζα 1 kg, συμπεριλαμβανομένου του νερού). Ακόμα και όταν καταφεύγουμε σε ξήρανση (με προθερμασμένο αέρα), περίπου το 4% της ξηρής ουσίας πρέπει να υπολογίζεται ως συνολική απώλεια. Όταν προσφεύγουμε, για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, σε δυναμικό αερισμό (με μη θερμασμένο αέρα), το οποίο καθιστά δυνατή την αυτο-θέρμανση της μάζας, η απώλεια διπλασιάζεται μέχρι το 7-8%.<sup>[2]</sup>

## 4.6 Φυσική ξήρανση των κούτσουρων

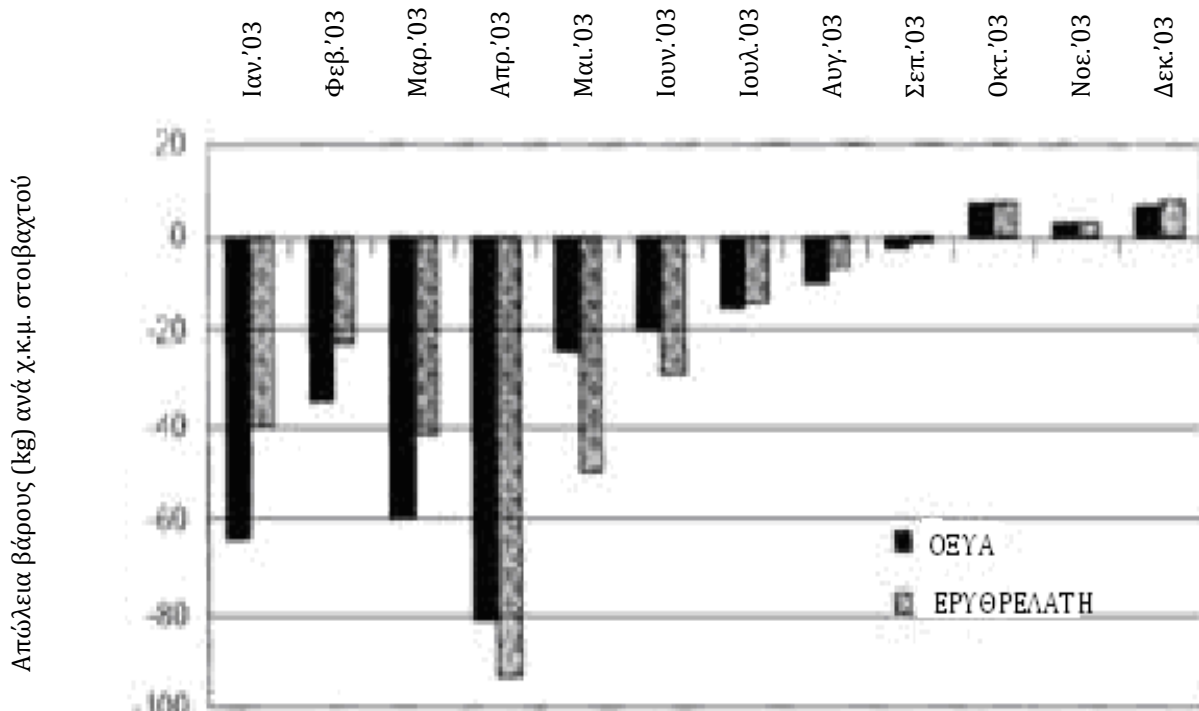
Τα κούτσουρα αρχίζουν να χάνουν νερό το χειμώνα, αλλά το Μάρτιο παρατηρείται η μέγιστη απώλεια νερού (περίπου 10%). Σε ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια (π.χ. το καλοκαίρι του 2003, Σχήμα 4.6.1) το φρέσκο ξύλο που σκίζεται το Δεκέμβριο και αποθηκεύεται κάτω από κάλυμμα μπορεί να φτάσει, ήδη από τον Ιούνιο, σε επίπεδα υγρασίας 20% (M20) και συνεπώς να είναι κατάλληλο για να διακινηθεί στο εμπόριο ως 'έτοιμο ξηρό ξύλο'. Ωστόσο, στην περίπτωση των υγρών καλοκαιριών (π.χ. το καλοκαίρι του 2003, Σχήμα 4.6.1) οι ανιχνεύσιμες διαφορές είναι ελάχιστες και η τιμή M 20% θα επιτευχθεί, ένα μήνα όμως αργότερα. Ξεκινώντας από το Μάιο, το ξύλο της ερυθρελάτης στεγνώνει πιο γρήγορα από το ξύλο της οξυάς, αν και το τελευταίο φαίνεται, αρχικά, να είναι πιο ξηρό από το πρώτο, λόγω της αρχικά χαμηλότερης υγρασίας του, αλλά και της ταχύτερης, αρχικά, απώλειας νερού. Σε κάθε περίπτωση, και τα δύο είδη χρειάζονται, πάνω κάτω, το ίδιο χρονικό διάστημα για να φτάσουν το επίπεδο υγρασίας M20.

Τον Απρίλιο η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από το ξύλο είναι στο μέγιστο επίπεδο, με ανώτατη τιμή περίπου 90 l/χ.κ.μ./μήνα. Ξεκινώντας από το Σεπτέμβριο, το ξύλο επανακτά υγρασία από τον αέρα και τη βροχή. Εκτιμάται ότι μεταξύ Οκτωβρίου και Δεκεμβρίου το ξύλο επανακτά 5 l/ χ.κ.μ./μήνα (Σχήμα 4.6.2).

**Σχήμα 4.6.1** Διαδικασία ξήρανσης σε σκισμένα και στοιβαγμένα κούτσουρα-καυσόξυλα, σε καλυμμένο εξωτερικό χώρο φυσικής ξήρανσης (οξυά, έλατο)<sup>[4]</sup>



**Σχήμα 4.6.2** Μηνιαίος ρυθμός ξήρανσης φρέσκων, σκισμένων και στοιβαγμένων καυσόξυλων, μήκους ενός μέτρου, σε καλυμμένο εξωτερικό χώρο φυσικής ξήρανσης (οξυά, έλατο)<sup>[4]</sup>



Τα κούτσουρα που αποθηκεύονται καλυμμένα στεγνώνουν σχετικά πιο γρήγορα κατά τους πρώτους μήνες του χειμώνα. Αυτό το πλεονέκτημα του καλυπτόμενου ξύλου αντισταθμίζεται για το ακάλυπτο ξύλο κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Η παρουσία ενός ξύλινου υπόστεγου, ειδικά σε πολύ βροχερές περιοχές, κρίνεται σκόπιμη, δεδομένου ότι συμβάλλει στον περιορισμό της υγρασίας που ανακτάται κατά τη διάρκεια της επόμενης περιόδου φθινόπωρο-χειμώνα. Υπό την προϋπόθεση, ότι η δομική κατασκευή επιτρέπει τον επαρκή αερισμό (τοίχοι με σχισμές), η αποθήκευση του ξύλου υπό κάλυψη συνιστάται ανεπιφύλακτα.

Σε σύγκριση με τα σκισμένα ξύλα, τα μη-σκισμένα ξύλα θα φθάσουν σε επίπεδα υγρασίας M20 δύο μήνες αργότερα. Έτσι, προκειμένου να επιτευχθεί το M20, με υψηλότερο βαθμό ασφάλειας και προκειμένου να διατηρηθεί αυτή η υγρασία μέχρι το φθινόπωρο, προτείνεται να σχίζονται τα χαμηλής ποιότητας στρογγυλά κορμοτεμάχια σε καυσόξυλα με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 εκατοστά πριν από τη φυσική ξήρανση.

### Προδιαγραφές για την αποθήκευση κούτσουρων-καυσόξυλων

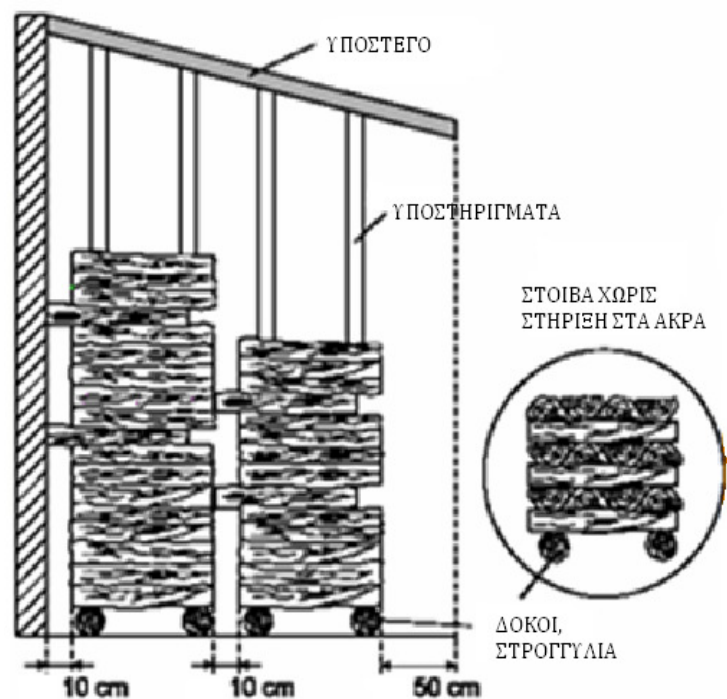
Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του ξύλου και της προετοιμασίας στοιβάξης των καυσόξυλων, είναι σημαντικό να αποφεύγεται, στο μέτρο του δυνατού, η επικάλυψη άλλων υλικών πάνω στα κούτσουρα-καυσόξυλα. Ο χώρος της επεξεργασίας πρέπει να έχει σταθερό δάπεδο (τσιμέντο ή άσφαλτο).

Η φυσική ξήρανση των κούτσουρων μπορεί να είναι γίνει είτε σε ανοικτούς χώρους ή σε καλυπτόμενους και αεριζόμενους χώρους, αλλά σε κάθε περίπτωση πρέπει να προστατεύονται από την υγρασία του εδάφους και τη βροχή.

Βασικές προδιαγραφές για την αποθήκευση των κούτσουρων:

- Το έδαφος (δάπεδο) πρέπει να διατηρείται στεγνό. Αν είναι δυνατόν, η κίνηση του αέρα πρέπει να ευνοείται ανυψώνοντας τη στοίβα από το έδαφος με ξύλινα στηρίγματα (δοκούς, μακριά ξυλοτεμάχια)
- Είναι προτιμότερο να αποθηκεύεται το ξύλο σε θέσεις που είναι ανοικτές στον αέρα και τον ήλιο (π.χ. στην άκρη του δάσους, σε προαύλιο)
- Πρέπει να υπάρχει απόσταση τουλάχιστον 10 εκατοστών ανάμεσα στις στοίβες και μεταξύ στοίβας και τοίχου της κατασκευής αποθήκευσης (Σχήμα 4.6.3)
- Οι εξωτερικοί τοίχοι της κατασκευής πρέπει να έχουν ανοίγματα (σχισμές)
- Όποτε είναι δυνατόν, είναι καλό τα κούτσουρα-καυσόξυλα, για την καθημερινή χρήση, να αποθηκεύονται στο λεβητοστάσιο, ώστε να έχουν προθερμανθεί

**Σχήμα 4.6.3** Παράδειγμα διάταξης και αποστάσεων ανάμεσα σε στοίβες καυσόξυλων αποθηκευμένων σε καλυμμένο χώρο<sup>[2]</sup>



## Κιβώτια για αποθήκευση, φυσική ξήρανση και μεταφορά κούτσουρων-καυσόξυλων

Διαφορετικοί τύποι κιβωτίων για την αποθήκευση, τη φυσική ξήρανση και τη μεταφορά των σκισμένων καυσόξυλων είναι διαθέσιμα στην αγορά. Πιο ενδιαφέρουσες, από οικονομική άποψη, είναι οι συσκευασίες που κατασκευάζονται με την τυπική ξύλινη παλέτα στην οποία εφαρμόζεται ένα μεταλλικό πλέγμα με τετράγωνα ανοίγματα που χρησιμεύει ως τοίχωμα. Το πάνω μέρος τους καλύπτεται από μια δεύτερη παλέτα η οποία είναι προστατευμένη από έξω με νάιλον. Αυτή η κατασκευή έχει 2 μέτρα ύψος και μπορεί να περιέχει 2 χ.κ.μ. σκισμένα καυσόξυλα χύδην, που τοποθετούνται μέσα απευθείας από τη μεταφορική ταινία του επεξεργαστή του ξύλου (Σχήμα 4.6.4).

Σχήμα 4.6.4



Μια άλλη λειτουργική και χαμηλού κόστους δυνατότητα είναι η επαναχρησιμοποίηση του μεταλλικού σκελετού που έχει εγκατασταθεί σε ξύλινη παλέτα, ως υποστήριξη πλαστικού δοχείου αποθήκευσης υγρών, χωρητικότητας 1 m<sup>3</sup> (Σχήμα 4.6.5).

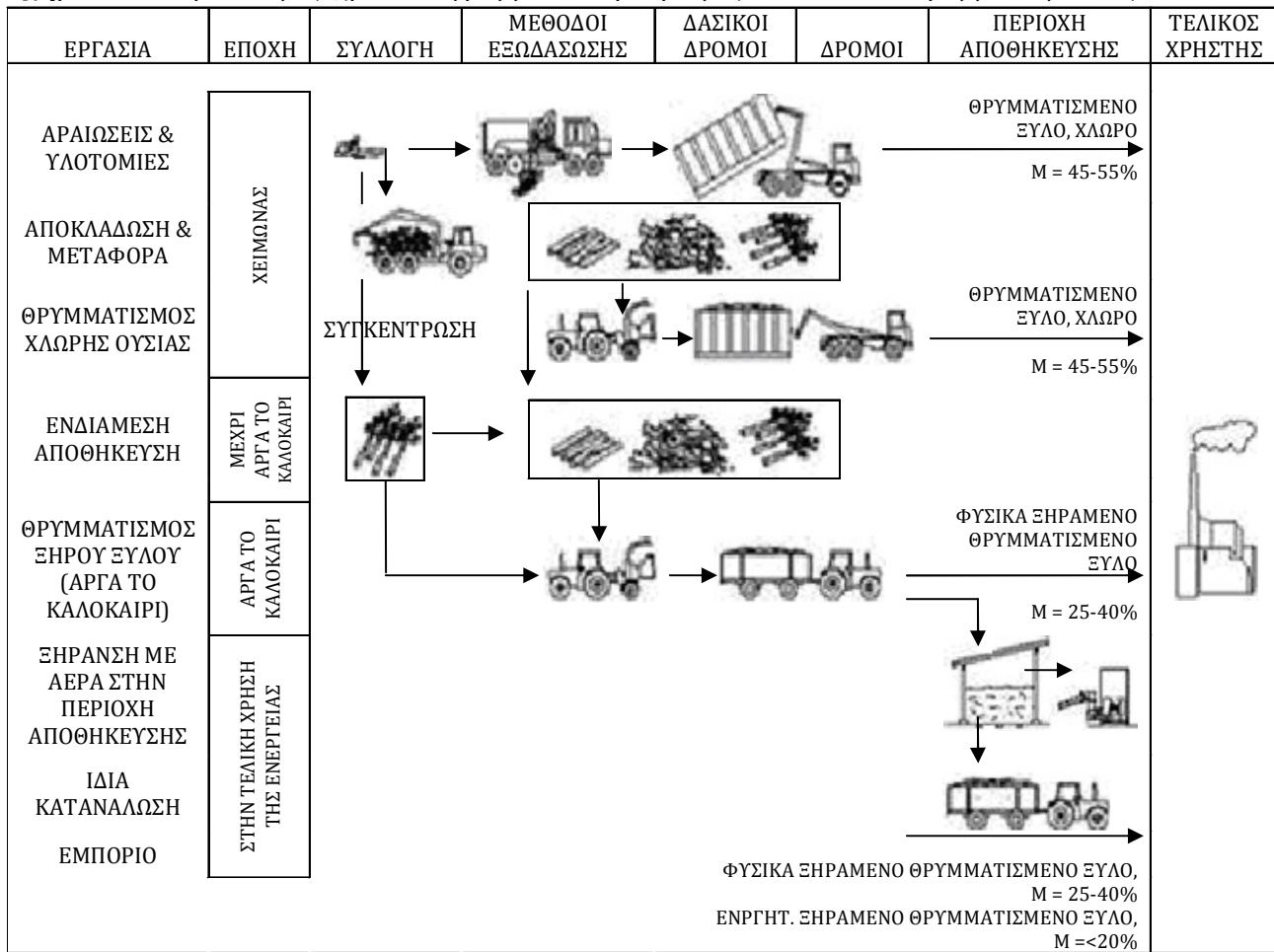
Σχήμα 4.6.5



### 4.7 Φυσική ξήρανση του θρυμματισμένου ξύλου

Για την παραγωγή θρυμματισμένου ξύλου κατάλληλης ποιότητας, ώστε να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλής έως μεσαίας ισχύος (σταθερής εσχάρας) λέβητες, οι ξυλώδεις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι: από κορμοτεμάχια κωνοφόρων χωρίς κλαδιά, σχίζες και πλάκες από κωνοφόρα και πλατύφυλλα, κορμίδια (με ή χωρίς κλαδιά) και υπολείμματα υλοτομίας πλατυφύλλων- κωνοφόρων, ενδεχομένως με ελάχιστη διάμετρο 5 εκατοστών, προκειμένου να διατηρηθεί χαμηλό το περιεχόμενο σε τέφρα, αφού το ποσοστό σε φλοιό σε σχέση με το ξύλο είναι υψηλότερο.

**Σχήμα 4.7.1** Εφοδιασμός, χρονοδιάγραμμα και προορισμός του δασικού θρυμματισμένου ξύλου<sup>[2]</sup>



Το υλικό αυτό θα πρέπει να περάσει από μια φάση φυσικής ξήρανσης, με προσωρινή αποθήκευση στα όρια του δάσους, πριν θρυμματιστεί στο τέλος του καλοκαιριού/αρχές φθινοπώρου (Σχήμα 4.7.1). Η φυσική ξήρανση πρέπει να λάβει χώρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν η παροχή ηλιακής ακτινοβολίας και άνεμου, που ευνοεί τη φυσική ξήρανση του ξύλου, είναι μέγιστη. Η απώλεια της υγρασίας στα πλατύφυλλα, κατά τη διάρκεια της φυσικής ξήρανσης, κυμαίνεται γενικά από 40 έως 50%. Αν κοπούν το Μάιο, με τα φύλλα ακόμα στα κλαδιά, τα φυτά επιταχύνουν τη φυσική ξήρανση του ξύλου. Το ίδιο ισχύει και για τα κωνοφόρα (ερυθρελάτη και ελάτη) που κόβονται κατά τη διάρκεια της



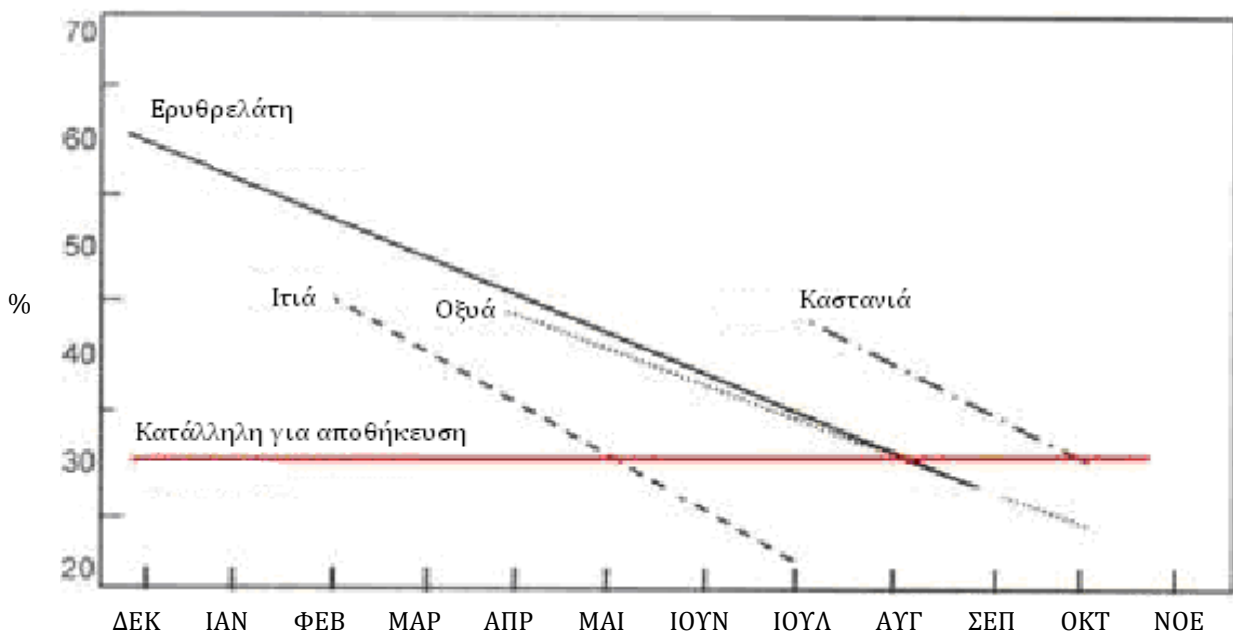
περιόδου που διαρκεί από το τέλος του φθινοπώρου μέχρι τον Δεκέμβριο, και τα οποία στοιβάζονται αργότερα στα όρια του δάσους.

Αφήνοντας σκισμένο ξύλο σε σκιερό περιβάλλον, μέσα στο δάσος, το ξύλο δεν εμφανίζει σημαντική απώλεια υγρασίας. Κατά συνέπεια, **το υλικό θα πρέπει πάντα να ξεραίνεται φυσικά, σε ένα αρκετά ηλιόλουστο και πιθανώς πολύ καλά αεριζόμενο μέρος.**<sup>[3]</sup>

Όταν αποτίθεται σε μια ηλιόλουστη περιοχή κοντά και έξω από το δάσος, το ξύλο, από τη στιγμή που κόβεται (Σχήμα 4.7.2), φτάνει προς το τέλος του καλοκαιριού, σε μια υγρασία κάτω του 30% και συνεπώς είναι έτοιμο να θρυμματιστεί.<sup>[3]</sup>

Το επίπεδο υγρασίας M 30% καθορίζεται ως **όριο καταλληλότητας για αποθήκευση**. Κάτω από αυτό το όριο, το θρυμματισμένο ξύλο ταξινομείται ως κατάλληλο για αποθήκευση χωρίς προβλήματα σταθερότητας βιολογικής προέλευσης (ÖNORM M7133).

**Σχήμα 4.7.2** Διαδικασία ξήρανσης σε διάφορα είδη δέντρων<sup>[3]</sup>



Έτσι, η φυσική ξήρανση του υλικού μπορεί να γίνει στις άκρες ενός δρόμου, με την προϋπόθεση ότι το έδαφος εκτίθεται στον ήλιο και έχει τη κατάλληλη επιφάνεια (έκταση). Διαφορετικά, το υλικό πρέπει να μεταφερθεί σε μια περιοχή εφοδιασμού όπου θρυμματίζεται και αποθηκεύεται καλυμμένο (Σχήμα 4.7.3).

Όταν η φυσική ξήρανση γίνεται σε κέντρο εφοδιασμού και εμπορίας, είναι ένας καλός κανόνας το σχίσσιμο των μεγαλύτερων κούτσουρων ( $\varnothing > 35-40$  cm), με τη χρήση ειδικών μηχανημάτων σχίσσης του ξύλου (Σχήμα 4.7.4), ώστε να επιταχυνθεί η απώλεια του νερού από τα κούτσουρα.

**Σχήμα 4.7.3** Παραγωγή δασικού θρυμματισμένου ξύλου μετά τη φυσική ξήρανση της πρώτης ύλης είτε σε χώρο συγκέντρωσης ή σε κέντρο εμπορίας βιομάζας<sup>[13]</sup>



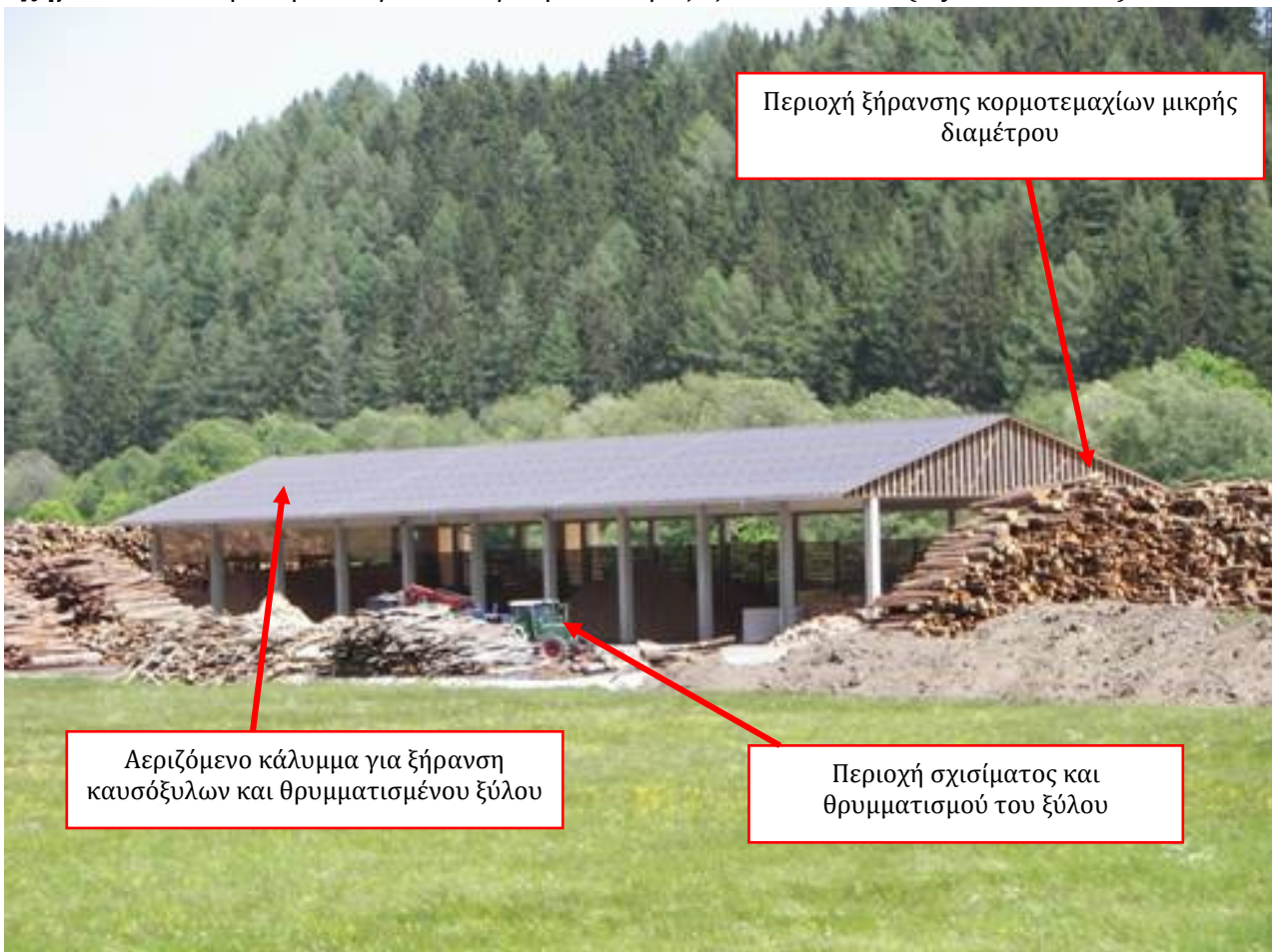
**Σχήμα 4.7.4**



## 4.8 Κέντρο Εφοδιασμού & Εμπορίου Βιομάζας (BL&TC)

Το Κέντρο Εφοδιασμού και Εμπορίας Βιομάζας (BL&TC) είναι μια φυσική θέση που χωροθετείται, με βάση τη δασοπονία και τα παραγωγικά χαρακτηριστικά της περιοχής εφοδιασμού (προμήθεια), καθώς και τη θέση και τα χαρακτηριστικά των αγοραστών (ζήτηση). Διαθέτει περιοχές για την πρώτη αποθήκευση και την φυσική ξήρανση του ξύλου και χώρους καλυμμένους, για την αποθήκευση και την ξήρανση του θρυμματισμένου ξύλου και των κούτσουρων-καυσόξυλων. (Σχήμα 4.8.1). Το Κέντρο Εφοδιασμού και Εμπορίας Βιομάζας είναι μια θεμελιώδης υποδομή, για την παραγωγή και την επαγγελματικού επιπέδου αγορά καυσίμων από ξύλο, η οποία δίνει τη δυνατότητα να διατεθούν στην αγορά προϊόντα που πληρούν τις τεχνικές προδιαγραφές.

**Σχήμα 4.8.1** Κέντρο Εφοδιασμού και Εμπορίου Βιομάζας στο PÖLSTAL (Styria, ΑΥΣΤΡΙΑ)



### Στέγαστρα για αποθήκευση και φυσική ξήρανση θρυμματισμένου ξύλου

Ο καλύτερος τρόπος για να αποθηκεύετε και να ξηράνετε θρυμματισμένο ξύλο είναι να το τοποθετήσετε πάνω σε μια αδιάβροχη επιφάνεια (τσιμέντο ή/και άσφαλτο) που προστατεύεται από στέγαστρο και βρίσκεται σε ηλιόλουστο και αεριζόμενο χώρο. Η αρχιτεκτονική δομή του στεγάστρου (Σχήμα 4.8.2) θα πρέπει να μεγιστοποιεί τον εξαερισμό του αποθηκευμένου υλικού και να διευκολύνει τις εργασίες αναμόχλευσης και διαχείρισης του θρυμματισμένου ξύλου.

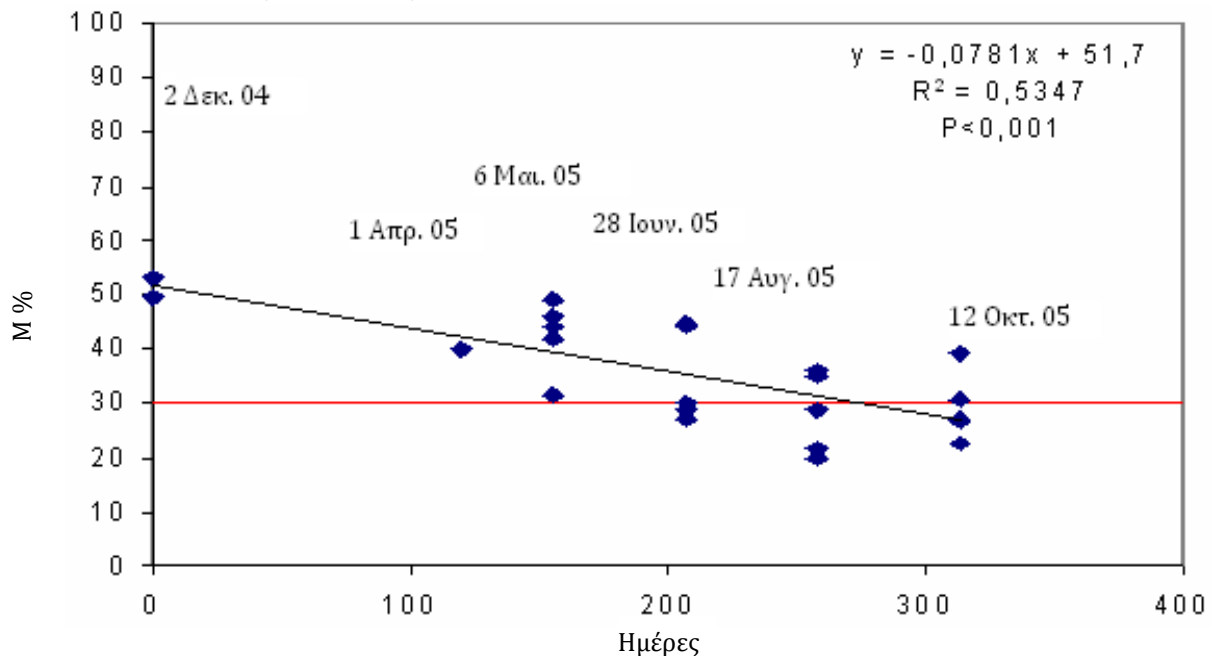
**Σχήμα 4.8.2** Παραδείγματα αρχιτεκτονικής δομής σε δύο Κέντρα Εφοδιασμού και Εμπορίου Βιομάζας (BL&TC), στην Αυστρία (Pölstal, Styria) και στην Ιταλία (Deutschnofen, Bozen).



### Προστατευτικό υφασμάτινο κάλυμμα για θρυμματισμένο ξύλο

Προστατευτικό ύφασμα ειδικά για το θρυμματισμένο ξύλο είναι διαθέσιμο στην αγορά ([www.tencate.com](http://www.tencate.com)). Έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό, τόσο για τη φυσική ξήρανση του υγρού θρυμματισμένου ξύλου, όσο και για την αποθήκευση θρυμματισμένου ξύλου με υγρασία  $M < 30\%$  (Σχήμα 4.8.3).

**Σχήμα 4.8.3** Ξύλο πλατάνου, υλοτομημένο το Δεκέμβριο και θρυμματισμένο φρέσκο, φτάνει σε επίπεδα υγρασίας M30 μετά από 9 μήνες<sup>[15]</sup>



Το ύφασμα αερίζεται και συγκρατεί τον κορεσμένο σε υγρασία αέρα κατά τη διάρκεια του σταδίου της θέρμανσης του υλικού. Το θρυμματισμένο ξύλο πρέπει να αποτίθεται σε αδιάβροχη επιφάνεια και ο σωρός πρέπει να έχει κωνικό σχήμα, έτσι ώστε να ευνοεί τη ροή του νερού της βροχής στην επιφάνεια του υφάσματος (Σχήμα 4.8.4).

**Σχήμα 4.8.4** Σωρός θρυμματισμένου ξύλου καλυμμένος με ύφασμα



## 4.9 Συστήματα ξήρανσης

### **Ξήρανση λόγω της θερμότητας που παράγεται κατά την διαδικασία της ζύμωσης**

Η θερμότητα που προέρχεται από τις διαδικασίες αποσύνθεσης του ξύλου, που πραγματοποιείται σε σωρούς θρυμματισμένου ξύλου, προκαλεί μεταφορά (συναγωγή) θερμότητας. Ως συνέπεια, δροσερός αέρας εισέρχεται από κάτω και πλάγια. Έτσι, το αεριζόμενο δάπεδο λειτουργεί ιδιαίτερα καλά αν χρησιμοποιηθεί σε αποθήκευση με κάλυμμα. Όσο για το θρυμματισμένο ξύλο μεσαίου-μικρού μεγέθους, η αυτό-θέρμανση έχει σημαντικές συνέπειες στην ξήρανση, αν συνδυαστεί με ενεργητικά συστήματα εξαερισμού. Ο κορεσμένος σε νερό αέρας, που προέρχεται από την αυτό-θέρμανση της βιομάζας, παραμένει μακριά και ως εκ τούτου, η βιομάζα κρυώνει.

Στις δομές όπου χρησιμοποιούνται ενεργητικά συστήματα κυκλοφορίας του αέρα, η διαδικασία αερισμού ρυθμίζεται από τις διαφορές στη θερμοκρασία. Μια διαφορά θερμοκρασίας, από 5 έως 10°C ( $\Delta T$ ) είναι αρκετή, για να ευνοηθεί η φυσική κυκλοφορία του αέρα και κατά συνέπεια, να μειώσει το ποσό της ενέργειας που είναι απαραίτητη για τη διαδικασία αυτή.

### **Μηχανικός αερισμός με χρήση αέρα, προθερμασμένου με ηλιακή ενέργεια**

Όποια τεχνικά (εξωτερικά) μέτρα και αν λαμβάνονται για την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, όσο μικρή κι αν είναι αυτή στο εσωτερικό της μάζας του θρυμματισμένου ξύλου, προκαλούν κυκλοφορία αέρα και συνεπώς η ξήρανση του ξύλου διευκολύνεται.

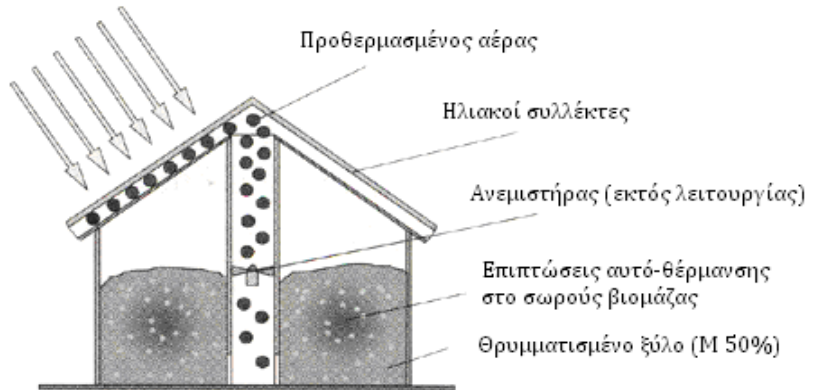
Αν τα στέγαστρα χρησιμοποιηθούν, κατά κύριο λόγο, για τη φυσική ξήρανση του θρυμματισμένου ξύλου, η κατασκευή τους μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να διαθέτουν ενεργητικά συστήματα εξαερισμού με προθερμασμένο αέρα, που τοποθετούνται σε ειδικό κενό χώρο κάτω από στέγη. Ο αέρας, που προθερμαίνεται από τον ήλιο, τροφοδοτείται στη συνέχεια σε ένα αγωγό αερισμού και προωθείται με έναν ανεμιστήρα κάτω από το σωρό του

θρυμματισμένου ξύλου (Σχήμα 4.9.1, Σχήμα 4.9.2). Χάρη σε αυτά τα συστήματα, είναι δυνατόν να μειωθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία, 150 m<sup>3</sup> θρυμματισμένου ξύλου, από το M 50% σε M 30% , σε μία εβδομάδα, περίπου (την περίοδο άνοιξη/καλοκαίρι).

**Σχήμα 4.9.1** Διάγραμμα της αρχής λειτουργίας της διαδικασίας ξήρανσης της βιομάζας με προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία<sup>[6]</sup>

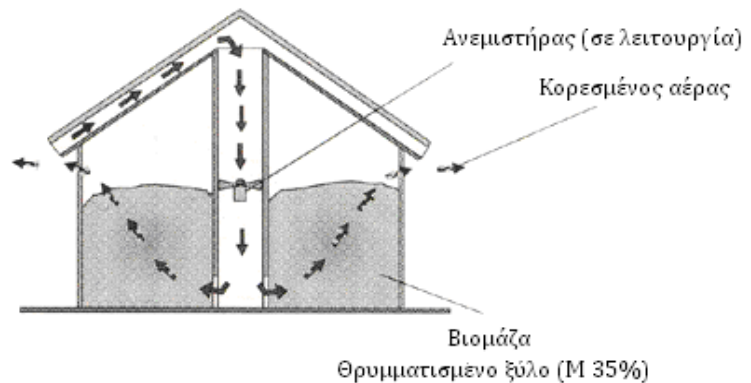
### Βήμα 1

- Θέρμανση του εξωτερικού αέρα με ηλιακούς συλλέκτες
- Επιπτώσεις αυτό-θέρμανσης στους σωρούς βιομάζας

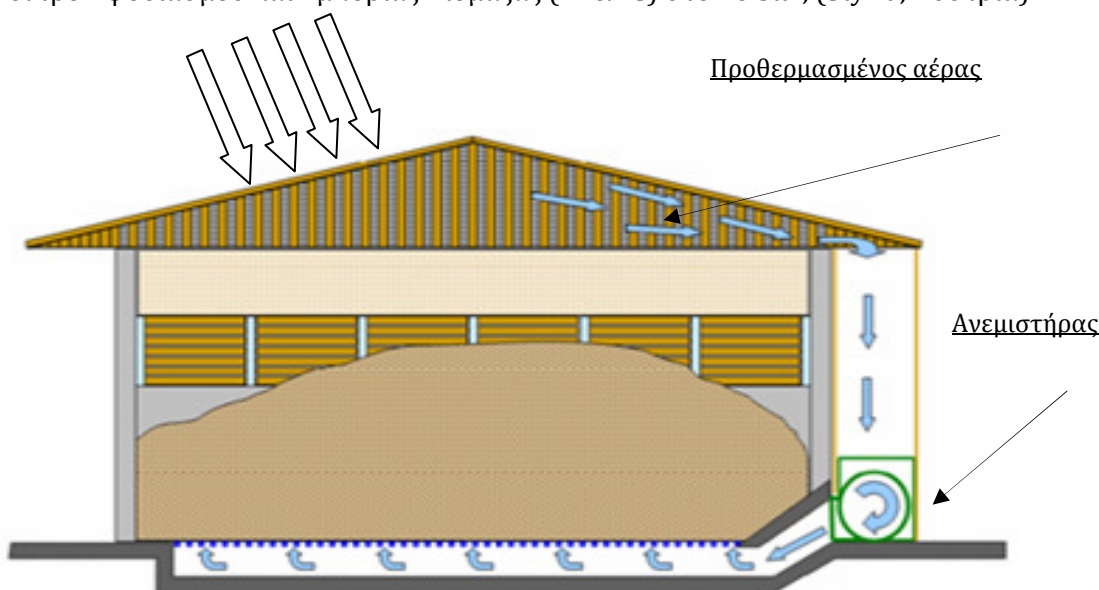


### Βήμα 2

- Ο προθερμασμένος αέρας διοχετεύεται από τον ανεμιστήρα διαμέσου του σωρού βιομάζας
- Το νερό της βιομάζας μεταφέρεται από τον αέρα



**Σχήμα 4.9.2** Εγκατάσταση προθέρμανσης αέρα και ενεργητικού αερισμού, που χρησιμοποιείται στο Κέντρο Εφοδιασμού και Εμπορίας Βιομάζας (BL&TC) στο Pölstal, (Styria, Αυστρία)



Κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι υψηλότερη, είναι σκόπιμο να διακοπεί ο ενεργητικός αερισμός, προκειμένου το θρυμματισμένο ξύλο να μην απορροφά υγρασία.

Για την εκτίμηση το σχεδιασμού της απαιτούμενης παροχής αέρα, μπορεί να γίνει αναφορά στην επιφάνεια που καλύπτεται από το σωρό. Η ποσότητα αυτή εκφράζεται ως ταχύτητα του αέρα η οποία, σε σχέση με το θρυμματισμένο ξύλο, ποικίλει μέσα σε ένα εύρος που κυμαίνεται 180 έως 540 m<sup>3</sup>/h (= 0,05 έως 0,15 m/s) για κάθε m<sup>2</sup> επιφάνειας που καλύπτεται από το σωρό.

Οι ποσότητες αυτές μπορούν, επίσης, να εκφράζονται με ογκομετρικούς όρους (συχνότητα ανανέωσης του αέρα). Υπολογίζεται ότι περίπου 40 m<sup>3</sup>/h αέρα για κάθε m<sup>3</sup> (συμπαγούς) ξύλου προς ξήρανση, είναι απαραίτητα για το θρυμματισμένο ξύλο. Προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία ξήρανσης, είναι συνήθης πρακτική η αύξηση του βαθμού εξαερισμού έως 150 m<sup>3</sup>/(h m<sup>3</sup>)<sup>[2]</sup>

### **Ενεργητικά συστήματα εξαερισμού για κούτσουρα**

Τα κούτσουρα ξηραίνονται σε ένα θερμοκήπιο εφοδιασμένο με σύστημα ενεργητικού αερισμού, το οποίο μειώνει σημαντικά την περίοδο φυσικής ξήρανσης. Σε 15 μέρες είναι δυνατό να πάρετε 200 χωρικά κυβικά μέτρα φρέσκων κούτσουρων-καυσόξυλων, με υγρασία επιπέδου M20. Ο ανεμιστήρας απορροφά περίπου 1 kW και διευκολύνει την κυκλοφορία του αέρα, που θερμαίνεται κυρίως από τον ήλιο, αν και το χειμώνα ένας λέβητας θρυμματισμένου ξύλου/pellets, χρησιμοποιείται επίσης για να συμπληρώνει τη δράση του ήλιου. Αυτόματη ανανέωση του εσωτερικού κορεσμένου αέρα γίνεται δυνατή μέσω ενεργοποίησης των ανοιγμάτων της οροφής. Η κατασκευή (Σχήμα 4.9.3) κοστίζει περίπου 150.000 € και το κόστους παραγωγής των καυσόξυλων αυξάνει κατά περίπου 15 €/χ.κ.μ. Ωστόσο, η επιβάρυνση αυτή αντισταθμίζεται από το μικρότερο χώρο που απαιτείται και από τη δυνατότητα διακίνησης στο εμπόριο ξύλου υγρασίας επιπέδου M20 κατά οκτώμισι μήνες νωρίτερα.

**Σχήμα 4.9.3** Θερμοκήπια για την ξήρανση καυσόξυλων στο Biomassehof Allgäu (Βαυαρία, Γερμανία)



### Ξήρανση με θερμό αέρα

Η επίδραση ξήρανσης μπορεί βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση αέρα που θερμαίνεται από μια μονάδα που παράγει θερμότητα. Η θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να κυμαίνονται από 20 ως 100 °C. Ο αέρας εισάγεται στο σωρό καυσόξυλων/θρυμματισμένου ξύλου μέσω ανεμιστήρα.

Η συνολική θερμότητα, που απαιτείται για την ξήρανση, είναι περίπου 3 με 4 MJ/kg νερού, από τα οποία 2,5 MJ/kg είναι απαραίτητα για την προθέρμανση και την εξάτμιση του νερού. Παράλληλα με τα ενσωματωμένα συστήματα για την παραγωγή θερμότητας, αξίζει να επωφεληθούμε από χαμηλού κόστους (ή δωρεάν) θερμότητα που παράγεται, και μπορεί να ανακτηθεί από σταθμούς συμπαραγωγής (μονάδες παραγωγής βιοαερίου ή θρυμματισμένου ξύλου). Αυτή η θερμική ενέργεια, η οποία τις περισσότερες φορές δεν χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μπορεί να αξιοποιηθεί για να στεγνώσει θρυμματισμένο ξύλο ή κούτσουρα.

### Απλοποιημένες συσκευές ξήρανσης

Οι προτεινόμενες κατασκευές για την ξήρανση θρυμματισμένου ξύλου και κούτσουρων-καυσόξυλων είναι απλουστευμένες δομές (σταθερές ή κινητές) διπλού δαπέδου με οπές, μέσω των οποίων εισάγεται ο ζεστός αέρας. Το σύστημα διανομής θερμότητας αποτελείται από μια σειρά από άκαμπτες σωληνώσεις, που εγκαθίστανται εύκολα στο ξηραντήριο το οποίο μπορεί να βρίσκεται είτε σε ένα κινούμενο κιβώτιο είτε σε ένα ρυμουλκούμενο γεωργικών εφαρμογών (Σχήμα 4.9.4, Σχήμα 4.9.5).

Σήμερα, παράλληλα με τα απλοποιημένα ξηραντήρια, διατίθενται στην αγορά πιο προηγμένες συσκευές, προκειμένου να εκμεταλλευτούν την απορριπτόμενη θερμότητα μονάδων βιοαερίου (Σχήμα 4.9.6).

**Σχήμα 4.9.4** Κιβώτιο: κοστίζει περίπου 50.000 € και μπορούν να αποθηκευτούν 22 χ.κ.μ. χύδη υλικού. Ο υπόλοιπος χώρος καταλαμβάνεται από το σύστημα ανεμιστήρα και από την μονάδα ελέγχου. Χρόνος ξήρανσης: περίπου 5 ημέρες για να φτάσει σε επίπεδο υγρασίας M20<sup>[16]</sup>



Φωτογραφία: Energie Pflanzen, 6/2006



**Σχήμα 4.9.5** Ρυμουλκούμενο γεωργικών εφαρμογών: κοστίζει περίπου 1.500 - 2.000 €. Ο θερμός αέρας έρχεται από εργοστάσιο βιοαερίου μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας: οι δύο εύκαμπτοι σωλήνες φέρνουν το ζεστό αέρα (80°C) στον επίπεδο πυθμένα του ρυμουλκούμενου (πάχους 10 εκατοστών) το οποίο είναι γεμάτο με θρυμματισμένο ξύλο. Κατά τη διαδικασία της ξήρανσης, τα θρύμματα ξύλου δεν χρειάζονται αναμόχλευση και μετά από 2-3 μέρες είναι έτοιμα να παραδοθούν για χρήση (M30)<sup>[17]</sup>



Φωτογραφία: Energie Planzen, 6/2007

**Σχήμα 4.9.6** Ξηραντήριο οριζόντιου τυμπάνου για ξήρανση κούτσουρων και θρυμματισμένου ξύλου ([www.s-und-ue.de](http://www.s-und-ue.de))<sup>[18]</sup>



## 5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ, ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Η τιμή αγοράς καυσίμου, είτε για το ξύλο είτε για τα ορυκτά καύσιμα, εκφράζεται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης (βάρους και όγκου) και χαρακτηρίζεται από σημαντικά διαφορετικές μονάδες θερμογόνου δύναμης. Όλα αυτά καθιστούν δύσκολη μια άμεση σύγκριση. Η παράμετρος που καθιστά δυνατή τη σύγκριση της τιμής των καυσίμων είναι το πρωτογενές κύριο **ενεργειακό** κόστος (€/MWh), δηλαδή το κόστος της ενέργειας που περιέχεται στα καύσιμα πριν την μετατροπή τους σε τελική ενέργεια.

Ο Πίνακας 4.9.1 δείχνει μια σύγκριση μεταξύ του κόστους της ενέργειας για διάφορα καύσιμα (Ιούνιος 2008). Η σχέση τους με το θρυμματισμένο ξύλο υπολογίζεται με βάση τρεις διαφορετικές τιμές πρωτογενούς ενεργειακού κόστους: 20, 25 και 30 €/MWh. **Οι τιμές αφορούν την Ιταλική αγορά.**

**Πίνακας 4.9.1** Κύριο ενεργειακό κόστος με βάση το κόστος θρυμματισμένου ξύλου (χωρίς ΦΠΑ)

		Τιμή	Τιμή Ενέργειας	Αναλογία
	MWh	€	€/MWh	
1 t θρυμματισμένου ξύλου (M30, P45)	3,40	<b>68</b>	<b>20,00</b>	1,00
1 t θρυμματισμένου ξύλου (M40, P45)	2,81	<b>56</b>	<b>20,00</b>	1,00
1 t κούτσουρα (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,63
1 t Pellets (M10) χύδην	4,70	150	31,91	1,60
1 t Pellets (M10) σακί 15 kg	4,70	180	38,30	1,91
100 mc φυσικό αέριο "από δίκτυο"	1,00	70	70,00	3,50
1 t Πετρέλαιο θέρμανσης (θερμοκηπίου)	11,7	808	69,25	3,46
1 t Πετρέλαιο θέρμανσης (οικιακή χρήση)	11,7	1.220	104,54	5,23
1000 l υγραερίου (ιδιόκτητη δεξαμενή)	6,82	1.116	163,64	8,18

		Τιμή	Τιμή Ενέργειας	Αναλογία
	MWh	€	€/MWh	
1 t θρυμματισμένου ξύλου (M30, P45)	3,40	<b>85</b>	<b>25,00</b>	1,00
1 t θρυμματισμένου ξύλου (M40, P45)	2,81	<b>70</b>	<b>25,00</b>	1,00
1 t κούτσουρα (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,31
1 t Pellets (M10) χύδην	4,70	150	31,91	1,28
1 t Pellets (M10) σακί 15 kg	4,70	180	38,30	1,53
100 mc φυσικό αέριο "από δίκτυο"	1,00	70	70,00	2,80
1 t Πετρέλαιο θέρμανσης (θερμοκηπίου)	11,7	808	69,25	2,77
1 t Πετρέλαιο θέρμανσης (οικιακή χρήση)	11,7	1.220	104,54	4,18
1000 l υγραερίου (ιδιόκτητη δεξαμενή)	6,82	1.116	163,64	6,55

		Τιμή	Τιμή Ενέργειας	Αναλογία
	MWh	€	€/MWh	
1 t θρυμματισμένου ξύλου (M30, P45)	3,40	102	<b>30,00</b>	1,00
1 t θρυμματισμένου ξύλου (M40, P45)	2,81	84	<b>30,00</b>	1,00
1 t κούτσουρα (M20, P330)	3,98	130	32,66	1,09
1 t Pellets (M10) χύδην	4,70	150	31,91	1,06
1 t Pellets (M10) σακί 15 kg	4,70	180	38,30	1,28
100 mc φυσικό αέριο "από δίκτυο"	1,00	70	70,00	2,33
1 t Πετρέλαιο θέρμανσης (θερμοκηπίου)	11,7	808	69,25	2,31
1 t Πετρέλαιο θέρμανσης (οικιακή χρήση)	11,7	1.220	104,54	3,48
1000 l υγραερίου (ιδιόκτητη δεξαμενή)	6,82	1.116	163,64	5,45

## 5.1 Το τελικό κόστος της ενέργειας

Μια σημαντική πτυχή οποιασδήποτε οικονομικής αξιολόγησης είναι ο υπολογισμός του τελικού κόστους της ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων και εξόδων, συναφών με τη λειτουργία των μονάδων.

Ενδεικτικά, υπολογίστηκε το κόστος παραγωγής έξι διαφορετικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας με λέβητες 100 kW, για τον ίδιο ετήσιο χρόνο λειτουργίας (1.300 ώρες). Με μια πρόχειρη εκτίμηση, ένα κτίριο (στη Βόρεια Ιταλία), περίπου 100 m<sup>2</sup> που κατοικείται από τρεις ανθρώπους, έχει ετήσια κατανάλωση 10-15 MWh, περίπου. Αυτή η θερμότητα μπορεί να υποστηρίξει, ενδεικτικά, ένα κτίριο που αποτελείται από έξι διαμερίσματα (Πίνακας 5.1.1 και Σχήμα 5.1.1). Οι παραδοχές που έγιναν (π.χ. η επιλογή του επιτοκίου, η διάρκεια των επενδύσεων, η μέση ετήσια παραγωγή του συστήματος, κλπ.) και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σε συνθήκες συνθήκες.

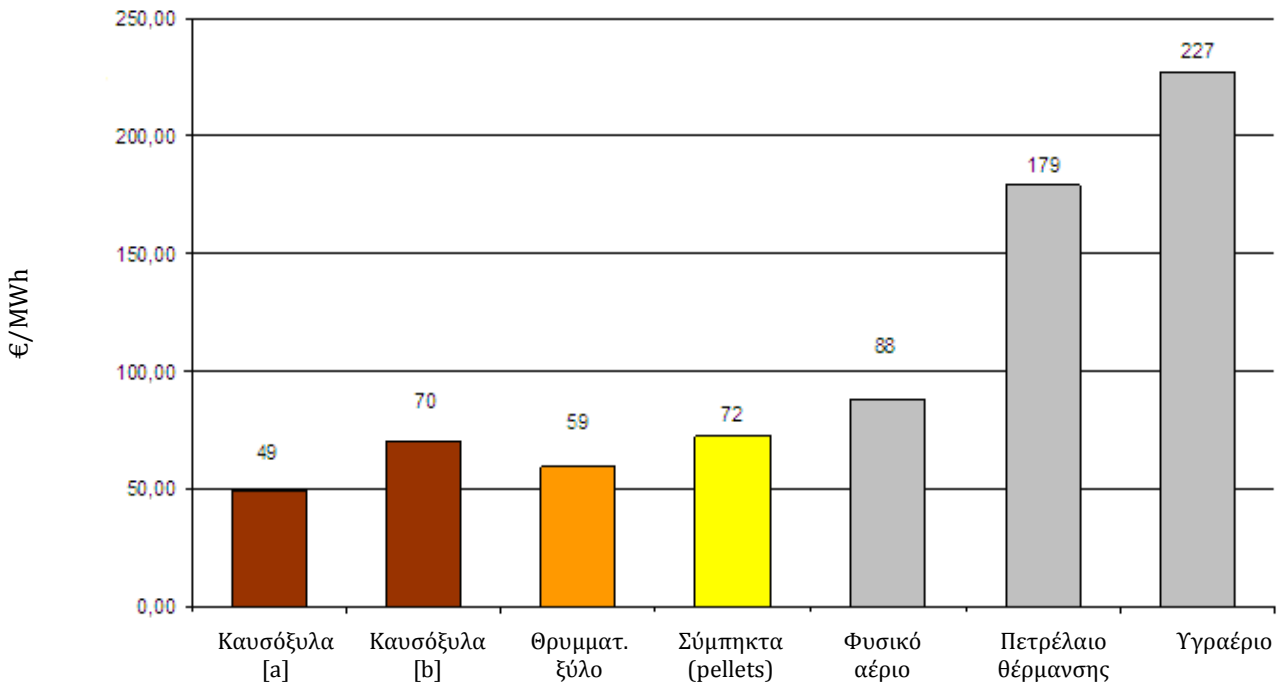
**Πίνακας 5.1.1** Κατηγορίες κόστους και οι τιμές τους (Σεπτέμβριος 2008, Ιταλία)

Κατηγορίες δαπανών	Μονάδα	Καυσόξυλα [a]	Καυσόξυλα [b]	Θρυμματ. ξύλο	Pellets	Φυσικό αέριο	Πετρέλαιο θέρμανσης	Υγραέριο
Επιτόκιο	%	5	5	5	5	5	5	5
Διάρκεια επένδυσης	y	20	20	20	20	20	20	20
Ισχύς καυστήρα	kW	100	100	100	100	100	100	100
Ετήσια λειτουργία	h	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας	MWh/y	130	130	130	130	130	130	130
Εποχική συνολική απόδοση	%	75%	75%	79,0%	84%	90%	85%	90%
Τελική παραγωγή ενέργειας <sup>1</sup>	MWh/y	97,50	97,50	102,70	109,20	117,00	110,50	117,00
Κόστος επένδυσης (συμπ. ΦΠΑ.)	€	45.000	45.000	65.000	40.000	13.000	18.000	13.000
Αποσβέσεις	€/y	1361	1361	1966	1210	393	544	393
Ετήσια ζήτηση καυσίμου	u.m. <sup>1</sup>	32,7	32,7	38,2	27,7	13.542	13.000	19.062
Κόστος /τιμή καυσίμων <sup>2</sup>	€/um	77	130	88	216	0,72	1,464	1,2792
Κόστος ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου (α)	€/y	2.944	4.971	3.365	6.240	9.750	19.032	25.984
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (β)	€/y	50	50	200	100	30	30	30
Λειτουργικό κόστος (O=α+β)	€/y	2.994	5.021	3.565	6.340	9.780	19.062	26.014
Κόστος καθαρισμού (γ)	€/y	130	130	130	130	60	60	60
Έξοδα συντήρησης (δ)	€/y	300	300	400	200	95	95	95
Κόστος λειτουργίας (E=γ+δ)	€/y	430	430	530	330	155	155	155
Ετήσιο κόστος (R+O+E)	€/y	4.785	6.812	6.060	7.880	10.328	19.761	26.562
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>€/MWh</b>	<b>49,08</b>	<b>69,87</b>	<b>59,01</b>	<b>72,16</b>	<b>88,27</b>	<b>178,84</b>	<b>227,02</b>

<sup>1</sup> Θερμογόνος δύναμη που χρησιμοποιείται: κούτσουρα M20, 3,98 MWh/t, θρυμματισμένο ξύλο M30, 3,4 MWh/t, pellets M10 4,7 MWh/t, φυσικό αέριο, 9,6 kWh / m<sup>3</sup>, πετρέλαιο θέρμανσης 10 kWh/l, υγραέριο, 6,82 kWh/l

<sup>2</sup> Τιμές (με ΦΠΑ). Για καύσιμα από ξύλο ο ΦΠΑ είναι 10%, εκτός από τα pellets για τα οποία είναι 20%)

Σημείωση. Κούτσουρα [a]: ίδιας-παραγωγής σε επιθυμητό μέγεθος. Κούτσουρα [b]: αγορασμένα στην τοπική αγορά (P500). Θρυμματισμένο ξύλο: M30, P45

**Σχήμα 5.1.1** Ενεργειακά συστήματα και σχετικό κόστος της ενέργειας (Σεπτέμβριος 2008, Ιταλία )

Σημείωση. Καυσόξυλα [a]: ίδιας-παραγωγής σε επιθυμητό μέγεθος. Καυσόξυλα [b]: αγορασμένα στην τοπική αγορά (P500). Θρυμματισμένο ξύλο: M30, P45.

## 5.2 Πώληση καυσόξυλων και θρυμματισμένου ξύλου

Τα καυσόξυλα και το θρυμματισμένο ξύλο πωλούνται είτε με το βάρος (€/τόνο) ή με τον όγκο στερεού (€/χ.κ.μ. στοιβαχτού ή €/χ.κ.μ. χύδην). Οι επαγγελματίες παραγωγοί παρέχουν στον αγοραστή τις σχετικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των καυσίμων, ώστε να καταστεί δυνατή μια αντικειμενική οικονομική αξιολόγηση των προσφερόμενων τιμών κατά βάρος και όγκο. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή των Ευρωπαϊκών τεχνικών προδιαγραφών στην εμπορία των καυσίμων ξύλου είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η παρουσία επαγγελματιών παραγωγών στην αγορά καθιστά δυνατή την ανάπτυξη πρακτικών και διαφανών συστημάτων αγοράς και πώλησης, που κερδίζουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και ευνοούν την ανάπτυξη της αγοράς.

### Καυσόξυλα-κούτσουρα

Ο Πίνακας 4.1.1 παρέχει ρυθμιστικές πληροφορίες που πρόκειται να καθοριστούν για τις πωλήσεις των καυσόξυλων. Στα πιο προηγμένα κέντρα εφοδιασμού και εμπορίου (πχ. [www.holzbrennstoffe.de](http://www.holzbrennstoffe.de), [www.ofen-holz.at](http://www.ofen-holz.at)) τα ξηραμένα καυσόξυλα (M20) πωλούνται με βάση τον χωρικό όγκο. Παράλληλα, εκτός από την κλάση υγρασίας, έχουν επίσης καθοριστεί η σύνθεση και οι διαστάσεις τους. Ένα παράδειγμα για το πώς συντάσσεται μια λίστα τιμών για επαγγελματική πώληση κούτσουρων παρέχεται στο παράρτημα A4.

Στην πιο απλή περίπτωση, όπου διευκρινίζεται μόνο η σύνθεση των καυσόξυλων και όχι η υγρασία τους, είναι προτιμότερο να αγοράζετε πάντα με βάση τον όγκο και όχι το βάρος. Αυτό οφείλεται στο χαμηλότερο βαθμό αβεβαιότητας για τον προσδιορισμό του ενεργειακού κόστους, ιδίως κατά την αγορά μη ξηραμένου υλικού.<sup>[5]</sup>

Στις μέρες μας, συχνά πωλούνται καυσόξυλα στοιβαγμένα σε παλέτες διαστάσεων 1x1x1,8 m με συγκεκριμένη σύνθεση. Για τους περιστασιακούς χρήστες, σχιστό ξηραμένο (M20) ξύλο είναι διαθέσιμο, σε κιβώτια ή διχτυωτούς σάκους και πωλείται με βάση το βάρος (6 - 17 kg), με καθορισμένο το είδος του ξύλου.



#### Παράδειγμα 5.2.1 Υπολογισμός της τιμής της ενέργειας για τα καυσόξυλα

Υποθέτοντας ότι θέλουμε να αγοράσουμε ένα ορισμένο ποσό καυσόξυλων για να τροφοδοτήσουμε ένα σύγχρονο λέβητα για όλη τη σεζόν, θέλουμε να βρούμε την τιμή της ενέργειας, προκειμένου να συγκρίνουμε διάφορες προσφορές.

Ο παραγωγός των καυσίμων ξύλου θέτει τις ακόλουθες τιμές για καυσόξυλα-κούτσουρα ενός μέτρου (P1000) δύο διαφορετικών ειδών:

Οξυά 62 €/χ.κ.μ.

Ερυθρελάτη 46 €/χ.κ.μ.

Για τον υπολογισμό του βάρους των καυσόξυλων-κούτσουρων (M20, P1000) για τα δύο είδη, χρησιμοποιούνται ο Πίνακας 1.7.2 και ο Πίνακας 1.7.3.

Οξυά ->  $453 \cdot 0,81 = 367 \text{ kg/χ.κ.μ.}$

Ερυθρελάτη ->  $315 \cdot 0,86 = 271 \text{ kg/χ.κ.μ.}$

Το κόστος της ενέργειας (M20) με καθαρή θερμογόνος δύναμη  $NCV_{20} = 4 \text{ MWh/t}$

Οξυά 62:  $(367 \cdot 4) \cdot 1000 = 42,2 \text{ €/MWh (11,7 €/GJ)}$

Ερυθρελάτη 46:  $(271 \cdot 4) \cdot 1000 = 42,4 \text{ €/MWh (11,8 €/GJ)}$

Στις προτεινόμενες τιμές και για τα καυσόξυλα που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε ένα σύγχρονο λέβητα, τα δύο προϊόντα είναι ενεργειακά ισοδύναμα.

#### Θρυμματισμένο ξύλο

Στην βόρειο-κεντρική Ευρώπη και στην περίπτωση που το θρυμματισμένο ξύλο πωλείται απευθείας από το πριστήριο, η σύνθεσή του είναι γενικά γνωστή. Έτσι καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός του κόστους της ενέργειας, με επαρκή ακρίβεια, κατά την πώληση με βάση τον όγκο, ακόμα και όταν η υγρασία δεν έχει καθοριστεί.

Αντίθετα, στην νότιο-κεντρική Ευρώπη και στην περίπτωση παραγωγών ξύλου που εργάζονται σε μεικτές συστάδες δάσους, είναι σχεδόν αδύνατο να είναι γνωστή η σύνθεση του θρυμματισμένου ξύλου. Σε αυτή την περίπτωση, δείχνει προτιμότερη η αγορά και πώληση του θρυμματισμένου ξύλου με βάση το βάρος και με μέτρηση της υγρασίας. Στην πραγματικότητα, αρκεί να είναι γνωστά το βάρος και η υγρασία: όσο μεγάλη και να είναι η διαφορά ως προς τη σύνθεση, η μεταβολή του περιεχομένου της ενέργειας είναι πολύ μικρή, διότι, όπως έχει ήδη επισημανθεί, η καθαρή θερμογόνο δύναμη του ξύλου είναι σχεδόν ίδια στα διάφορα είδη του.<sup>[14]</sup>

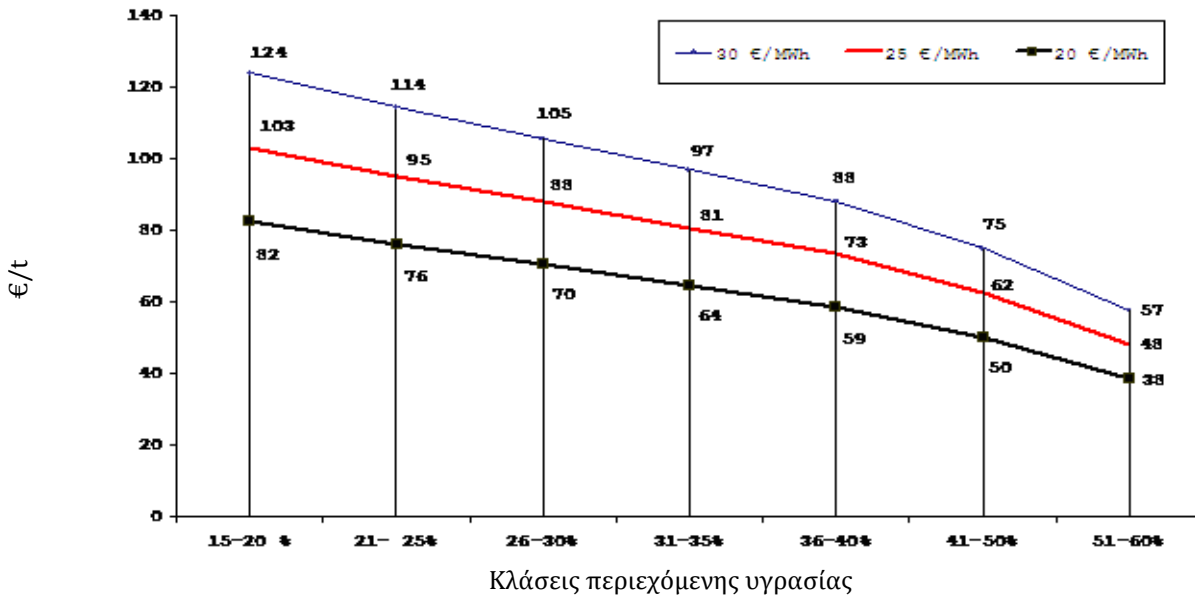
Γενικά, κατά τη συνήθη πρακτική, οι δυο συμβαλλόμενοι διαπραγματεύονται την τιμή του θρυμματισμένου ξύλου, την οποία στοχεύουν, με την ελάχιστη υγρασία, πάνω στη βάση με την οποία υπολογίζεται η τιμή της πρωτογενούς ενέργειας. Στο σημείο αυτό, δημιουργείται ένας πίνακας στον οποίο το θρυμματισμένο ξύλο τιμολογείται ανάλογα με την κλάση της υγρασίας του, ενώ η τιμή της ενέργειας παραμένει σταθερή (Πίνακας 5.2.1).



**Πίνακας 5.2.1** Τιμές θρυμματισμένου ξύλου ανάλογα με τις κλάσεις υγρασίας για τιμή ενέργειας στα 25 €/MWh

Περιεχόμενη υγρασία (Κλάσεις)	M (%)	€/τόνο	
		Χωρίς ΦΠΑ	Συμπ. ΦΠΑ.
M 20	≤ 20	103	114
M 25	≤ 25	95	105
M 30	≤ 30	88	97
M 35	≤ 35	81	89
M 40	≤ 40	73	81
M 50	≤ 50	62	69
M 60	≤ 60	48	53

**Σχήμα 5.2.1** Διακύμανση της τιμής του θρυμματισμένου ξύλου, με βάση τρεις διαφορετικές τιμές ενέργειας



Ένα σχέδιο σύμβασης για την πώληση του θρυμματισμένου ξύλου με βάση το ενεργειακό περιεχόμενο παρουσιάζεται στο παράρτημα Α1.

### 5.3 Κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές CO<sub>2</sub>

Προκειμένου να υιοθετηθούν αειφόρα ενεργειακά συστήματα, είναι τόσο χρήσιμο όσο και σωστό να είναι διαθέσιμες συγκριτικές μελέτες, σχετικά με την κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που είναι απαραίτητες για να τροφοδοτήσουν με ενέργεια και πρώτες ύλες ολόκληρη τη διαδικασία της τελικής παραγωγής ενέργειας (παραγωγική αλυσίδα). Η ενεργειακή ανάλυση<sup>1</sup> περιλαμβάνει όλες τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που καταναλώνονται κατά μήκος της αλυσίδας: εξόρυξη, επεξεργασία, αποθήκευση, μετατροπή των καυσίμων σε ενέργεια, συμπεριλαμβανομένου του κόστους της ενέργειας των μηχανημάτων και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται σε ξεχωριστές φάσεις.

Ο Πίνακας 5.3.1 δείχνει την κατανάλωση ενέργειας η οποία εκφράζεται ως ποσοστό των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που καταναλώνονται για την παραγωγή χρήσιμης θερμικής ενέργειας (CER<sup>2</sup>).

Η κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή και την τελική χρήση του καυσίμου, συνεπάγεται την εκπομπή στην ατμόσφαιρα ενός ορισμένου ποσού διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλων ειδών αερίων του θερμοκηπίου, που εκφράζονται σε συνολική μορφή με την παράμετρο του ισοδύναμου CO<sub>2</sub>.

Ο Πίνακας 5.3.1 παρουσιάζει, επίσης, τις τιμές οι οποίες καθιστούν δυνατό τον υπολογισμό της μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση καυσίμων ξύλου αντί των ορυκτών καυσίμων.

<sup>1</sup> Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της βάσης δεδομένων GEMIS (Παγκόσμιο Μοντέλο Εκπομπών για Ολοκληρωμένα Συστήματα, έκδοση 4.42, Öko-Institut e.V. Darmstadt(Γερμανία) [www.oeko.de](http://www.oeko.de)).

<sup>2</sup> Το CER (Συνολικές Απαιτήσεις Ενέργειας) μετρά το συνολικό ποσό των (κύριων) πηγών ενέργειας, που είναι απαραίτητο για να τροφοδοτηθεί μια μονάδα τελικής θερμικής ενέργειας.

**Πίνακας 5.3.1** Ενεργειακή κατανάλωση και εκπομπές CO<sub>2</sub>

Σύστημα θέρμανσης	CER %	CO <sub>2</sub> kg/MWh	CO <sub>2</sub> eq. kg/MWh
Καυσόξυλα-κούτσουρα (10 kW)	3,69	9,76	19,27
Θρυμματισμένο ξύλο από δάση (50 kW)	7,81	21,12	26,04
Θρυμματισμένο ξύλο από δάση (1 MW)	8,61	21,13	23,95
Θρυμματισμένο ξύλο λεύκης, μικρού περιόδου χρόνου (50 kW)	10,44	27,39	40,16
Σύμψηκτα (Pellets) (10 kW)	10,20	26,70	29,38
Σύμψηκτα (Pellets) (50 kW)	11,08	28,95	31,91
Πετρέλαιο θέρμανσης (10 kW)	17,33	315,82	318,91
Πετρέλαιο θέρμανσης (1 MW)	19,04	321,88	325,43
Υγραέριο (10 kW)	15,03	272,51	276,49
Φυσικό αέριο (10 kW)	14,63	226,81	251,15
Φυσικό αέριο (1 MW)	17,72	233,96	257,72

**Παράδειγμα 5.3.1** Εκτίμηση του CO<sub>2</sub> και της μείωσης του ισοδύναμου CO<sub>2</sub>

Παρακάτω, απεικονίζεται η διαδικασία που θα ακολουθείται, προκειμένου να εκτιμηθεί το ποσό του CO<sub>2</sub> που μπορεί να εξοικονομηθεί από τη μετατροπή ενός λέβητα φυσικού αερίου σε θρυμματισμένο ξύλο. Στο ακόλουθο παράδειγμα γίνεται αναφορά σε μια μονάδα τηλεθέρμανσης 500 kW που καίει θρυμματισμένο ξύλο.

- Υπολογισμός του τελικού ποσού της ενέργειας ως ετήσια παραγωγή της μονάδας:  
2-ετής καταγραφή θερμικής απόδοσης:  $(556+603)/2 = 580 \text{ MWh} / \text{έτος}$  (μέσος όρος)
- Υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO<sub>2</sub> και ισοδύναμων εκπομπών CO<sub>2</sub> με χρήση φυσικού αερίου (Πίνακας 5.3.1):  
Φυσικό αέριο:  $(580*233,96)/1000 = 135,7 \text{ t CO}_2$   
Φυσικό αέριο:  $(580*257,72)/1000 = 149,5 \text{ t ισοδύναμου CO}_2$
- Υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> ισοδύναμων εκπομπών με τη χρήση θρυμματισμένου ξύλου: (πίνακας 5.3.1)  
Θρυμματισμένο ξύλο από δάση:  $(580*21,13)/1000 = 12,3 \text{ t CO}_2$   
Θρυμματισμένο ξύλο από δάση:  $(580*23,95)/1000 = 13,9 \text{ t ισοδύναμου CO}_2$
- Υπολογισμός της μείωσης CO<sub>2</sub> και ισοδύναμων εκπομπών CO<sub>2</sub> με τη χρήση θρυμματισμένου ξύλου, αντί του φυσικού αερίου, για την παραγωγή θερμότητας.  
 $135,7-12,3 = 123,4 \text{ t CO}_2 / \text{έτος}$   
 $149,5-13,9 = 135,6 \text{ t ισοδύναμου CO}_2 / \text{έτος}$   
Αν υποθέσουμε ότι το εργοστάσιο έχει διάρκεια ζωής 20 έτη, μπορεί να υπολογιστεί μια μείωση εκπομπών **2.468 τόνων CO<sub>2</sub>**.  
Ένας οδηγός αυτοκινήτου, ο οποίος καλύπτει κατά μέσο όρο 25.000 χιλιόμετρα το χρόνο εκπέμπει περίπου 3,5 έως 4 t CO<sub>2</sub>. Έτσι, στην περίπτωση αυτή, η μονάδα μπορεί να αντικαταστήσει περίπου 30 αυτοκίνητα που καλύπτουν όλα μαζί 830.000 χιλιόμετρα/έτος.
- Υπολογισμός της νομισματικής αξίας της εξοικονόμησης διοξειδίου του άνθρακα  
Σήμερα στη διεθνή αγορά, ένας τόνος CO<sub>2</sub> έχει την τιμή των 24,7 € (ICE, Σεπτέμβριος 2008)  
 $123,4*24,72 = 3.050 \text{ €} / \text{έτος}$



## 6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### **A1. Σχέδιο σύμβασης για την πώληση θρυμματισμένου ξύλου με ενεργειακό περιεχόμενο (βλ. CEN / TS 14961:2005)**

#### **Συμβαλλόμενοι**

Η σύμβαση αυτή ορίζεται από και μεταξύ των παρακάτω συμβαλλόμενων:

Ο προμηθευτής

*Cooperativa AGROFORESTALE, Viale Università 14*

*32021, Agordo (BL), VAT:01237780265, που θα αναφέρεται εφεξής ως Προμηθευτής*

και ο αγοραστής

*Teleriscaldamento EnergiaLegno Spa, που θα αναφέρεται εφεξής ως Αγοραστής*

#### **Άρθρο 1. Περιεχόμενο**

Το αντικείμενο της παρούσας σύμβασης είναι η παράδοση από τον Προμηθευτή στον Αγοραστή θρυμματισμένου ξύλου που παράγεται με τεμαχισμό πρωτογενούς ξύλου. Το θρυμματισμένο ξύλο χρησιμεύει ως καύσιμο για τον εφοδιασμό της τηλεθέρμανσης που είναι ιδιοκτησία του Αγοραστή.

#### **Άρθρο 2. Χρόνος παράδοσης**

Ο Προμηθευτής δεσμεύεται να παρέχει κάθε φορτίο του καυσίμου μέσα σε 6 εργάσιμες ημέρες από την παραλαβή του γραπτού αιτήματος που του απηύθυνε ο Αγοραστής είτε με φαξ ή μέσω Email. Ο Αγοραστής κοινοποιεί επίσης στην Προμηθευτή την οντότητα του φορτίου που πρέπει να παραδοθεί εκφρασμένη σε τόνους.

#### **Άρθρο 3. Ετήσιες ανάγκες**

Η ποσότητα του θρυμματισμένου ξύλου που πρέπει να παραδοθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου ισχύος της παρούσας σύμβασης είναι ίση με την ποσότητα του θρυμματισμένου ξύλου που πραγματικά θα καταναλωθεί στη μονάδα κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης. Βάσει των υπολογισμών της ενέργειας, εκτιμάται ότι η ποσότητα αυτή θα είναι **500** τόνοι (με υγρασία αναφοράς (M) 30%).

#### **Άρθρο 4. Προέλευση του καυσίμου βιομάζας**

Το θρυμματισμένο ξύλο που παραδίδεται είναι προϊόν της μηχανικής επεξεργασίας πρωτογενούς ξύλου, όπως καθορίζεται στις τεχνικές προδιαγραφές CEN/TS 14961.

Το θρυμματισμένο ξύλο πρέπει να προέρχεται από τον τεμαχισμό: κλαδιών κωνοφόρων ή πλατυφύλλων, κορμιδίων πλατυφύλλων με κλαδιά χωρίς όμως φύλλα, υπολειμμάτων υλοτομίας πλατυφύλλων (είτε χωρίς φύλλα είτε με ξερά φύλλα), σχιζών και δίσκων και άλλων υπολειμμάτων της πρωτογενούς μετατροπής, από το οποία είναι δυνατή η απόκτηση υψηλής ποιότητας θρυμματισμένου ξύλου.

#### **Άρθρο 5. Διαστάσεις**

Όσον αφορά τις διαστάσεις του θρυμματισμένου ξύλου, γίνεται αναφορά στις τεχνικές προδιαγραφές του CEN/TS 14961. Το θρυμματισμένο ξύλο που θα παραδίδεται θα ανήκει στην κατηγορία **P45**.

Κλάσεις διαστάσεων θρυμματισμένου ξύλου σύμφωνα κατά τις τεχνικές προδιαγραφές του CEN/TS 14961

Κλάσεις Διαστάσεων (mm)	Σύνθεση του μεγέθους των σωματιδίων [%]		
	Κύριο ποσό > 80% κ.β.	Λεπτά σωματίδια < 5%	Χοντρά σωματίδια < 1%
P16	3,15≤P≤16	<1 mm	>45 mm όλα <85 mm
P45	3,15≤P≤45	<1 mm	> 63 mm
P63	3,15≤P≤63	<1 mm	> 100 mm
P100	3,15≤P≤100	<1 mm	> 200 mm

### Άρθρο 6. Καθαρότητα

Το θρυμματισμένο ξύλο που θα παραδίδεται δεν πρέπει να περιέχει ξένα σώματα, όπως καλώδια, καρφιά και βίδες, ούτε οποιοδήποτε άλλο μεταλλικό αντικείμενο.

### Άρθρο 7. Υγρασία και βάρος φορτίου

Η υγρασία (M) και το βάρος του φορτίου καθορίζονται από τον *Προμηθευτή*.

### Άρθρο 8. Όροι και προϋποθέσεις τιμολόγησης

Η τιμολόγηση του παρεχόμενου θρυμματισμένου ξύλου γίνεται με αναφορά στο ενεργειακό του περιεχόμενο, που είναι η καθαρή θερμογόνος δύναμη  $NCV_M$ , που εκφράζεται σε MWh/t και υπολογίζεται με βάση το βάρος (t) και την υγρασία (M) του φορτίου, σύμφωνα με το ακόλουθο τύπο:

$$NCV_M = \frac{NCV_o * (100 - M) - 2,44 * M}{100} * 0,278$$

Σε κάθε παράδοση, ο *Προμηθευτής* θα εκδίδει προς τον *Αγοραστή* δήλωση ποιότητας για το θρυμματισμένο ξύλο (βλέπε παράρτημα A2).

### Άρθρο 9. Τιμή παράδοσης στο σταθμού παραγωγής θερμότητας

Ο *Αγοραστής* θα καταβάλλει στον *Προμηθευτή* τη στοχευόμενη τιμή για το θρυμματισμένο ξύλο, ίση με **85,00 €/τόνο** (+ ΦΠΑ 10%), με υγρασία **M30**, στην πόρτα του σταθμού (**24,15 €/MWh**). Η τιμή ποικίλλει ανάλογα με την υγρασία του παραδοθέντος θρυμματισμένου ξύλου. Η υγρασία κατά την παράδοση του θρυμματισμένου ξύλου δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνει το 35%.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τη διακύμανση των τιμών, σύμφωνα με 4 κλάσεις υγρασίας.

Τιμή της ενέργειας:	24,15 €/MWh	€/τόνο	
Κλάσεις του ποσοστού υγρασίας		Χωρίς ΦΠΑ	Συμπ. ΦΠΑ.
M 20	15-20%	95,00 €	104,50 €
M 25	21-25%	90,00 €	99,00 €
M 30	26-30%	85,00 €	93,50 €
M 35	31-35%	75,00 €	82,50 €

### **Άρθρο 11. Πληρωμή**

Η πληρωμή πραγματοποιείται από τον *Αγοραστή* εντός τριάντα ημερών από το τέλος του μήνα της ημερομηνίας έκδοσης του τιμολογίου. Σε περίπτωση μη πληρωμής, στο πλαίσιο των συμφωνηθέντων όρων, ο *Προμηθευτής* επιφυλάσσεται του δικαιώματος να αναστείλει την υπηρεσία προμήθειας και να απαιτήσει τόκους υπερημερίας, για την καθυστερημένη πληρωμή σύμφωνα με τους ισχύοντες κανόνες.

### **Άρθρο 12. Μη συμφωνημένες προμήθειες**

Οποιαδήποτε παραδιδόμενα φορτία θρυμματισμένου ξύλου, μη συμμορφούμενα με τα συμφωνηθέντα, δεν πρέπει να πληρώνονται από τον *Αγοραστή*.

### **Άρθρο 13. Διάρκεια ισχύος**

Η διάρκεια της παρούσας σύμβασης αρχίζει από την ημερομηνία υπογραφής της από τους συμβαλλόμενους και παραμένει σε πλήρη ισχύ για περίοδο τριών ετών.

Σε περίπτωση που η λειτουργία της μονάδας παύσει ή υποστεί ζημιά σε μεγάλο βαθμό, ως συνέπεια της ανάκλησης των απαραίτητων αδειών ή αποφάσεων που εκδίδονται από τις αρμόδιες αρχές ή άλλους λόγους που δεν αποδίδονται στους συμβαλλόμενους, ο *Αγοραστής* έχει το δικαίωμα να τερματίσει οριστικά την παρούσα σύμβαση μέσα σε 6 μήνες.

### **Άρθρο 14. Ειδικές διατάξεις**

1. Σε περίπτωση οποιασδήποτε διαφωνίας ή αξίωσης που θα προκύψει από ή σε σχέση με την παρούσα σύμβαση, συμπεριλαμβανομένων ενδεικτικά, οποιονδήποτε αμφιβολιών σχετικά με το κύρος της, την ερμηνεία της και την ορθή της εκτέλεση, οι συμβαλλόμενοι συμφωνούν ότι αυτές οι διαφορές ή οι αξιώσεις θα διευθετούνται τελεσίδικα με διαιτησία από και ενώπιον των δικαστηρίων τ.....
2. Αυτή η σύμβαση θα είναι σε πλήρη ισχύ και εφαρμογή από και μετά την ημερομηνία υπογραφής της από τους δύο συμβαλλόμενους.
3. Η σύμβαση αυτή συντάχθηκε σε δύο αντίτυπα και κάθε συμβαλλόμενος κρατάει από ένα αντίτυπο.
4. Οποιοσδήποτε αλλαγές στους όρους και τις προϋποθέσεις της παρούσας σύμβασης κοινοποιούνται προς τον άλλο συμβαλλόμενο, γραπτώς.
5. Σε κάθε τρίτο, που αντικαθιστά κάποιον από τους δυο συμβαλλόμενους, θα πρέπει να εκχωρούνται τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις που απορρέουν από την παρούσα σύμβαση.
6. Οι συμβαλλόμενοι συμφωνούν να μοιραστούν εξίσου τις δαπάνες για την σύνταξη της παρούσας σύμβασης, με κάθε μέρος να πληρώνει το 50% του συνολικού κόστους.

Τόπος, ημερομηνία

Τόπος, ημερομηνία

Σφραγίδα και υπογραφή του νόμιμου εκπροσώπου του *Προμηθευτή*

Σφραγίδα και υπογραφή του νόμιμου εκπροσώπου του *Αγοραστή*

## Α2. Παράδειγμα δήλωσης ποιότητας καυσίμου για θρυμματισμένο ξύλο (βλ. CEN / TS 15234:2006)

Αιτούμενος: Cheap-Wood Chips District heating Ltd

<b>ΔΗΛΩΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΓΙΑ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΞΥΛΟ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ CEN/TS14961</b>	
<b>Προμηθευτής</b>	SOLID WOOD-FUELS Cooperative P.O. Box 110 CB 10 1HL - Saffron Walden, Essex (UK) Τηλ. +44.01799 5165689 Fax +44.01799 5165690 Επικοινωνία: κ. Peter Wood Email: <a href="mailto:Delivering@solid.wood-fuels.co.uk">Delivering@solid.wood-fuels.co.uk</a> Αριθμός σύμβασης: N. 0015 /a
<b>Πρώτη ύλη</b>	Κούτσουρα κωνοφόρων, δίσκοι και κλαδέματα (1.1.2.2, 1.2.1.2)
<b>Προέλευση</b>	Uttlesford, District of Essex
<b>Παραδοτέα ποσότητα</b>	<b>10 t</b> (βλ. συνημμένο παραλαβής βάρους/ απόδειξη παραλαβής)
<b>Ιδιότητες</b>	
Μέγεθος σωματιδίων (mm)	P45
Υγρασία (M)	M30
Περιεκτικότητα σε τέφρα (B ξ.β.%)	A3.0
Μαζική πυκνότητα (kg/χ.κ.μ. χύδην)	230
Θερμιδική αξία (MJ/kg)	12,2
Ενεργειακή πυκνότητα (MJ/χ.κ.μ. χύδην)	2806

Τόπος και ημερομηνία

Υπογραφή εκπροσώπου

**A3. Οριακές τιμές για τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην τέφρα βιομάζας που χρησιμοποιείται σε γεωργικές εκτάσεις στην Αυστρία<sup>[9], [10]</sup>.**

Μέταλλα	Οριακή τιμή mg/kg ξ.β.	Διαδεδομένο ποσό g/ha/έτος	
		Καλλιεργήσιμη γη	Λιβάδια- βοσκότοποι
Ψευδάργυρος (Zn)	1.500	1.500	1.125
Χαλκός (Cu)	250	250	190
Χρώμιο (Cr)	250	250	190
Μόλυβδος (Pb)	100	100	75
Βανάδιο (V)	100	100	75
Κοβάλτιο (Co)	100	100	75
Νικέλιο (Ni)	100	100	75
Μολυβδαίνιο (Mo)	20	20	15
Αρσενικό (As)	20	20	15
Κάδμιο (Cd)	8	8	6
PCDD / F (διοξίνη)	100 ng TE /kg <sub>ξβ</sub>	100 μg/ha	75 μg/ha

PCDD /F – Πολυχλωριωμένη διβενζοδιοξίνη/διβινυλ-οξειδιο  
TE: Ισοδύναμο τοξικότητας

## A4. Παράδειγμα καταλόγου τιμών για επαγγελματικές συναλλαγές με κούτσουρα-καυσόξυλα

Οι τιμές που αναγράφονται παρακάτω είναι μόνο ενδεικτικές.

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΤΙΜΩΝ 2007/08

Ισχύει μέχρι 31 Ιουλίου 2008

Από αποθήκη, συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ.

#### ΚΟΥΤΣΟΥΡΑ-ΚΑΥΣΟΞΥΛΑ ΟΞΥΑΣ και ΕΡΥΘΡΕΛΑΤΗΣ, ΞΗΡΑΜΕΝΑ (M20)

Τιμές ανά χ.κ.μ. στοιβαχτού και χύδην, 1 χ.κ.μ. στοιβαχτού ~ 1,4 χ.κ.μ. χύδην

NCV<sub>20</sub> = 4 kWh /kg

~ 450 kg Οξύας ~ 300 kg Ερυθρελάτης M20 = 1 χ.κ.μ. στοιβαχτού P330 (L=33 cm)

Οξύ (με ποσοστό άλλων πλατύφυλλων ειδών) 1 χ.κ.μ. στοιβαχτού = 450 kg 1 χ.κ.μ. χύδην = 320 kg	Μήκος (L)	Μέχρι 7 χ.κ.μ. χύδην	Μέχρι 5 χ.κ.μ. στοιβαχτού	Πάνω από 5 χ.κ.μ. στοιβαχτού 5% έκπτωση
	100 cm (P1000)	-	79,00 €	75,05 €
50 cm (P500)	-	84,00 €	79,80 €	
33 cm (P330)	59,70 €	84,00 €	79,80 €	
25 cm (P250)	63,30 €	89,00 €	84,55 €	
Ερυθρελάτη (με ποσοστό άλλων πλατύφυλλων ειδών) 1 χ.κ.μ. στοιβαχτού = 300 kg 1 χ.κ.μ. χύδην = 215 kg	Μήκος (L)	Μέχρι 7 χ.κ.μ. χύδην	Μέχρι 5 χ.κ.μ. στοιβαχτού	Πάνω από 5 χ.κ.μ. στοιβαχτού 5% έκπτωση
	100 cm (P1000)	-	69,00 €	65,55 €
50 cm (P500)	-	74,00 €	70,30 €	
33 cm (P330)	53,00 €	74,00 €	70,30 €	
25 cm (P250)	56,60 €	79,00 €	75,05 €	

## A5. Συντομογραφίες και σύμβολα

$m^3$ ή κ.μ.:	κυβικό μέτρο συμπαγές
χωρικό $m^3$ ή χ.κ.μ. στοιβαχτού:	χωρικό κυβικό μέτρο στοιβαχτού
χωρικό $m^3$ ή χ.κ.μ. χύδην:	χωρικό κυβικό μέτρο χύδην
u:	υγρασία σε ξηρή βάση [%]
M:	υγρασία σε υγρή βάση [%]
Mv:	πυκνότητα στερεού, [μάζα όγκου] [ $kg/m^3$ ]
Ms:	φαινόμενη πυκνότητα, στοιβάς και χύδην [ $kg/msa$ , $kg/msr$ ]
Ww:	υγρό βάρος [ $kg$ , t]
W0:	ξηρό βάρος [ $kg$ , t]
d.b.:	ξηρή βάση, ξ.β. [ $kg$ , t]
w.b.:	υγρή βάση, υ.β. [ $kg$ , t]
GCV:	ακαθάριστη ή ανώτερη θερμογόνος δύναμη, [ $MJ/kg$ , $kWh/kg$ ]
NCV <sub>M</sub> :	καθαρή ή κατώτερη θερμογόνος δύναμη, ΚΘΔ [ $MJ/kg$ , $kWh/kg$ ]
toe:	τόνος ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ)
Q:	θερμική ισχύς λέβητα [ $kW$ ]
Q <sub>B</sub> :	εγκατεστημένη ισχύς λέβητα [ $kW$ ]
Q <sub>N</sub> :	ονομαστική θερμική ισχύς [ $kW$ ]
$\eta_k$ :	απόδοση [%]
$\beta_v$ :	συρρίκνωση [%]
$\alpha_v$ :	διόγκωση [%]
SRC:	πρεμνοφυείς φυτείες μικρού περίτρουχου χρόνου

**A6. Μονάδες Διεθνούς Συστήματος**

$10^N$	Πρόθεμα	Σύμβολο	Μακρά κλίμακα	Δεκαδικός
$10^{15}$	<u>peta</u>	P	<u>Τετράκις εκατομμύριο</u>	1 000 000 000 000 000
$10^{12}$	<u>tera</u>	T	<u>Τρισεκατομμύριο</u>	1 000 000 000 000
$10^9$	<u>giga</u>	G	<u>Δισεκατομμύριο</u>	1 000 000 000
$10^6$	<u>mega</u>	M	<u>Εκατομμύριο</u>	1 000 000
$10^3$	<u>kilo</u>	k	<u>Χίλια</u>	1 000
$10^2$	<u>hecto</u>	h	<u>Εκατό</u>	100
10	<u>deca</u>	da	<u>Δέκα</u>	10
$10^{-1}$	<u>deci</u>	d	Δέκατο	0,1
$10^{-2}$	<u>centi</u>	c	Εκατοστό	0,01
$10^{-3}$	<u>milli-</u>	m	Χιλιοστό	0,001
$10^{-6}$	<u>micro</u>	μ	Εκατομμυριοστό	0,000 001



## 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] GIORDANO G., 1988 - Tecnologia del legno. UTET, Milano.
- [2] HARTMANN, H. (Hrsg.): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen 2007 (2nd edition).
- [3] Sonderpublikation des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und
- [4] Landwirtschaft (BMVEL) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR),
- [5] Gülzow (DE) 224 S., ISBN 3-00-011041-0, Mai 2007.
- [6] JONAS A., HANEDER H., FURTNER K. 2005. Energie aus Holz. Landwirtschaftskammer Niederösterreich St. Pölten (AT).
- [7] HÖLDRICH A., HARTMANN H., DECKER T., REISINGER K., SOMMER W., SCHARDT M., WITTKOPFT S., OHRNER G. 2006 – Rationelle Scheitholzbereitungsverfahren. Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing (DE).
- [8] HELLRIGL B. 2006 – Elementi di xiloenergetica. Definizioni, formule e tabelle.
- [9] Ed. AIEL, Legnaro (PD).
- [10] LOO VAN S., KOPPEJAN J. 2003 - Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing. Ed. Twente University Press (NL).
- [11] FRANCESCATO V., ANTONINI E., PANIZ A., GRIGOLATO S. 2007 – Vitis Energetica, valorizzazione energetica dei sarmenti di vite in provincia di Gorizia. Informatore Agrario n° 10.
- [12] OBERNBERGER I., 1995 - Logistik der Aschenaufbereitung und Aschenverwertung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn (DE)
- [13] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT 1997 - Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Wald. – Wien (AT)
- [14] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT 1998 - Der sachgerechte Einsatz von Pflanzenaschen im Acker- und Grünland. Wien (AT)
- [15] AA.VV. Progetto BIOCEN. 2004 - Gestione e valorizzazione delle ceneri di combustione nella filiera legno-energia. Regione Lombardia
- [16] BURGER F. 2005 - Wood Chip Drying Pilot Study “Wadlhausen”. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising (DE).
- [17] ITEBE 2004 - Produire de la plaquette forestière pour l'énergie. Bonne pratique n°1 du bois déchiqueté. Lons Le Saunier (FR).
- [18] FRANCESCATO V., ANTONINI E., MEZZALIRA G. 2004 – L'energia del legno. Nozioni, concetti e numeri di base. Regione Piemonte.
- [19] FRANCESCATO V., PANIZ A., ANTONINI E., CORREALE S.F., AGOSTINETTO L. 2007. Rivista Tecnica AGRIFOREENERGY n° 2. Ed. AIEL, Legnaro (PD).
- [20] FLORIAN G. 2006 – Nicht länger das Aschenputtel der Holzbranche. Energie Pflanzen n°6. Das Fachmazin für nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien. Scheeßel-Hetzwege (DE).
- [21] DANY C. 2007 – Allgäuer Hackschnitzel. Energie Pflanzen n°6. Das Fachmazin für nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien. Scheeßel-Hetzwege (DE).

- [22] BIERNATH D. 2006 – Brennholztrocknung mit der Biogasanlage. Energie Pflanzen n°2. Das Fachmazin für nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien. Scheeßel-Hetzwege (DE).
- [23] Stampfer K., Kanzian C., 2006. Current state and development possibilities of wood chip supply chains in Austria. Croatian Journal of Forest Engineering 27 (2): pp 135 – 144.
- [24] CEN/TS 14961 – 2005 Technical Specification - Solid biofuels – Fuel specification and classes.

[www.biomassstradecentre2.eu](http://www.biomassstradecentre2.eu)

