



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

---

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

*ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ  
ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ*



ΕΥΤΥΧΙΑ ΜΑΥΡΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δρ. ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΒΑΜΒΟΥΚΑ  
ΚΑΛΟΥΜΕΝΟΥ

Δρ. ΜΙΧΑΛΗΣ ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ

Δρ. ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ  
(ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ)

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΝΙΑ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2006

*Στη Λέσβο και τη Κρήτη,  
για όσα μου μάθανε*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) έχει θέσει στόχο τον διπλασιασμό της παραγωγής ενέργειας από Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) μέχρι το 2010. Η ΣΗΘ σχετίζεται με τη δέσμευση της Ε.Ε. για μείωση εκπομπών θερμοκηπίου σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο. Ο τομέας της συμπαγωγής στα κράτη -μέλη της Ε.Ε. παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις.

Στην εργασία γίνεται μια ανάλυση της κατάστασης και προοπτικής της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) με ιδιαίτερη μνεία στο καύσιμο βιομάζα. Αναπτύσσονται οι θερμικές ιδιότητες της βιομάζας ως καύσιμη ύλη. Γίνεται κριτική και σύγκριση των επικρατέστερων καινοτόμων τεχνολογιών ΣΗΘ, ενώ αναφέρονται το Νομοθετικό και χρηματοδοτικό πλαίσιο που σχετίζεται με την ΣΗΘ, τόσο στην Ε.Ε., όσο και σε επιλεγμένες χώρες - μέλη. Αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας, από την παραγωγή μέχρι τη καύση. Τέλος, γίνεται πρόταση βέλτιστης εφαρμογής συστήματος ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα στην Φοιτητική Εστία (ΦΕ) του Πολυτεχνείου Κρήτης (ΠΚ).

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Δρ. Δ. Βάμβουκα Καλουμένου για την ανάθεση του θέματος της διατριβής μου, την συνεισφορά και την υπομονή της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ.κ. Δρ. Μ. Γαλετάκη και Δρ. Θ. Τσούτσο για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους. Σημαντική η συμβολή της κα Παπαμιχαήλ από το ΚΑΠΕ για τις συμβουλές και τα στοιχεία που προσέφερε για να γίνει εφικτή αυτή η εργασία.

Ευχαριστώ επίσης τον Γρηγόρη Μπανδέλη για την πολύτιμη συνεισφορά και βοήθεια του, χωρίς τον οποίο η παρούσα εργασία δεν θα είχε αυτή τη μορφή.

Τα παιδιά του εργαστηρίου, που έκαναν τις ώρες που περάσαμε εκεί πιο ευχάριστες.

Και φυσικά, τους "οικείους"...

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγικά: Η σύγχρονη ενεργειακή πολιτική	1
1.1. Δομή της εργασίας	2
1.2. Το ενεργειακό ζήτημα	4
1.3. Οι τάσεις της νέας Ευρωπαϊκής πολιτικής	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βιομάζα και Ενέργεια	10
2.1 Γενικά	11
2.2 Τύποι και πηγές βιομάζας	13
2.3 Χαρακτηριστικά βιομάζας ως καύσιμο	15
2.3.1 Θερμικές ιδιότητες βιομάζας	16
2.3.1.1 Περιεκτικότητα σε υγρασία	16
2.3.1.2 Περιεκτικότητα σε τέφρα	20
2.3.1.3 Περιεκτικότητα σε πτητική ύλη	20
2.3.1.4 Στοιχειακή σύνθεση	20
2.3.1.5 Θερμαντική αξία	23
2.3.1.6 Πυκνότητα μάζας	26
2.3.2 Συστατικά βιομάζας - ρυπαντές κατά την καύση	27
2.3.3. Συσχέτιση ιδιοτήτων βιομάζας και ενεργειακού περιεχόμενου	28
2.3.3.1 Περιεκτικότητα σε υγρασία και ενεργειακό περιεχόμενο	29
2.3.3.2 Περιεκτικότητα σε τέφρα και ενεργειακό περιεχόμενο	30
2.3.3.3 Πυκνότητα μάζας και ενεργειακό περιεχόμενο	31
2.3.3.4. Οργανικό υλικό και ενεργειακό περιεχόμενο	32
2.3.4 Χημική δομή των βασικών συστατικών	36
2.4 Σχέση ιδιοτήτων βιομάζας και διεργασιών μετατροπής	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα	42
3.1 Ταξινόμηση Συστημάτων Συμπαραγωγής	43
3.1.1 Συστήματα κορυφής	43
3.1.2 Συστήματα κύκλου βάσης	43
3.2 Συμβατικές Τεχνολογίες Συμπαραγωγής με Καύσιμο Βιομάζα	44
3.2.1 Συστήματα αεριοστροβίλου	44
3.2.1.1 Ανοικτού κύκλου	44
3.2.1.2 Κλειστού κύκλου	44
3.2.2. Συστήματα ατμοστροβίλου	47
3.2.2.1. Συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης	50
3.2.2.2. Συστήματα με ατμοστρόβιλο απομάστευσης	51
3.2.2.3. Σύγκριση συστημάτων ατμοστροβίλου αντίθλιψης- απομάστευσης	51
3.2.3. Συστήματα συνδυασμένου κύκλου	52
3.2.4. Συστήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης	54
3.3. Καινοτόμες τεχνολογίες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα	56
3.3.1 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells)	56
3.3.2. Μηχανές θερμού αέρα: Stirling	58
3.3.3 Organic Rankine Cycle (ORC)	60
3.3.4 Άλλες τεχνολογίες υπό έρευνα και ανάπτυξη	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συμπαραγωγή με καύσιμο βιομάζα στην Ευρώπη	65
4.1 Γενική κατάσταση	66
4.1.1 Στόχοι της εφαρμογής συστημάτων συμπαραγωγής στην Ε.Ε.	66
4.1.2 Εμπόδια για την εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ	67
4.1.3 Μελλοντικά σενάρια	67
4.2 Ευρωπαϊκοί χρηματοδοτικοί μηχανισμοί και νομοθετικές διατάξεις	69

4.2.1 Νομοθετικές διατάξεις	69
4.2.2 Χρηματοδοτικοί μηχανισμοί	70
4.3 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση	76
4.3.1 Ενεργειακά δεδομένα και κατάσταση συμπαραγωγής	76
4.3.2. Συμπαραγωγή με βιομάζα	77
4.3.3.Μικρής κλίμακας ΣΗΘ	81
4.3.4 Εκτεταμένη ανάλυση επιλεγμένων χωρών	83
4.3.4.1 <i>Αυστρία</i>	84
4.3.4.2. <i>Δανία</i>	94
4.3.4.3 <i>Φινλανδία</i>	100
4.3.4.4. <i>Πορτογαλία</i>	106
4.3.4.5. <i>Ιρλανδία</i>	112
4.3.4.6 Ελλάδα	117
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση βιομάζας για Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας	137
5.1 Εισαγωγή	138
5.2 Επιπτώσεις κατά την παραγωγή βιομάζας	139
5.2.1 Επιπτώσεις στο εδαφικό περιβάλλον	139
5.2.2 Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους	143
5.2.3. Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα	146
5.3 Επιπτώσεις κατά τη μεταφορά	149
5.3.1 Επιπτώσεις κατά τη συγκομιδή	149
5.3.2. Επιπτώσεις κατά την αποθήκευση	150
5.3.3. Επιπτώσεις κατά την μεταφορά	152
5.4 Επιπτώσεις κατά την παραγωγή ενέργειας	154
5.4.1 Αέριοι ρύποι	157
5.4.2 Στερεά απόβλητα	165
5.4.3 Χωροθέτηση	166
5.4.4. Επιπτώσεις στην κατανάλωση υδατικών πόρων	167
5.4.5 Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις	167
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελέτη Εφαρμογής Συστήματος Συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα στην Κρήτη	178
6.1 Πηγές βιομάζας και ανάλυση καύσιμης ύλης	179
6.1.1 Δυναμικό Γεωργικών Υπολειμμάτων στην Κρήτη.	179
6.1.2. Προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση πυρηνόξυλου	182
6.2 Μελέτη εφαρμογής τεχνολογίας ΣΗΘ στο Πολυτεχνείο Κρήτης	183
6.2.1. Περιγραφή έργου- δεδομένα εστίας	183
6.2.2. Υπολογισμοί	184
6.2.2.1. Διαθέσιμη ενέργεια από βιομάζα στην περιοχή εφαρμογής	184
6.2.2.2 Ώρες λειτουργίας του λέβητα θέρμανσης νερού	185
6.2.2.3 Θεωρητική κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση νερού της ΦΕ	186
6.2.2.4 Ώρες λειτουργίας του λέβητα θέρμανσης χώρων	186
6.2.2.5. Θεωρητική κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση χώρων της ΦΕ	188
6.2.2.6.Θεωρητική συνολική κατανάλωση πετρελαίου της ΦΕ	188
6.2.2.7.Ενεργειακές απαιτήσεις εστίας για θέρμανση το 2006	189
6.2.2.8 Μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις εστίας	190
6.2.2.9 Απαιτήσεις σε καύσιμο βιομάζας	191
6.2.2.10 Υπολογισμός κατανάλωσης ρεύματος	192
6.3. Επιλογή τεχνολογίας	193
6.4. Χρηματοδότηση	201
6.5. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	202
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	206
ΕΝ ΚΑΤΑΚΛΕΙΔΙ: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	210

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:**

*Εισαγωγικά: Η σύγχρονη ενεργειακή πολιτική*

## 1.1 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία προέκυψε από την ανάγκη μελέτης της αξιοποίησης της βιομάζας για Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Η αξιοποίηση βιομάζας είναι ένας τομέας των ΑΠΕ που δεν έχει ιδιαίτερη άνθηση στη χώρα μας, αν και λόγω των αγροτικών δραστηριοτήτων έχει ενδιαφέρουσες προοπτικές. Ο τομέας της συμπαγωγής φαίνεται να είναι πιο ελκυστικός από την αποκλειστική χρήση του καυσίμου για παραγωγή ηλεκτρισμού ή για θερμότητα, καθώς έχει *σημαντικά καλύτερες αποδόσεις*, και για αυτούς τους λόγους έγινε επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Στην εργασία γίνεται μια ανάλυση της κατάστασης και προοπτικής της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) με ιδιαίτερη μνεία στο καύσιμο βιομάζα.

Στο Κεφάλαιο 1 περιγράφεται συνοπτικά το ενεργειακό ζήτημα που εξηγεί την στροφή της παγκόσμιας και ευρωπαϊκής πολιτικής προς τις ΑΠΕ. Αναπτύσσονται συνοπτικά οι νέες τάσεις της σύγχρονης ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής.

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η βιομάζα ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας, οι πηγές της, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες της που σχετίζονται με την θερμική απόδοση.

Στη συνέχεια (Κεφάλαιο 3) παρουσιάζονται συνοπτικά οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ΣΗΘ, τόσο οι παραδοσιακές όσο και οι καινοτόμες, οι οποίες και παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Στο Κεφάλαιο 4, αναλύεται η παρούσα ενεργειακή κατάσταση στην Ε.Ε., η εξέλιξη σε σχέση με τις δεσμεύσεις του Κιότο, η κατάσταση της συμπαγωγής και οι δυνατότητες εξέλιξης. Γίνεται αναφορά στη νομοθεσία, το θεσμικό και χρηματοδοτικό πλαίσιο της Ε.Ε. Περιγράφεται αναλυτικότερα η κατάσταση σε επιλεγμένες χώρες της κοινότητας. Η επιλογή γίνεται με βάση το επίπεδο εξέλιξης και προόδου της χώρας στο θέμα αυτό. Αναλύονται χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών (case studies) από κάθε χώρα. Η επιλογή των



εφαρμογών που αναλύθηκαν έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών περιπτώσεων.

Στο Κεφάλαιο 5 μελετώνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση βιομάζας ως καύσιμο. Πρόκειται για ολοκληρωμένη ανάλυση του όλου συστήματος, ξεκινώντας από τις επιπτώσεις από την καλλιέργεια βιομάζας σε έδαφος, νερό, ατμόσφαιρα και βιοποικιλότητα. Η περιβαλλοντική ανάλυση συνεχίζει με τις επιπτώσεις στο οικοσύστημα από τη συγκομιδή και μεταφορά, καταλήγοντας στις επιπτώσεις στο περιβάλλον από την συμπαραγωγή.

Τέλος, γίνεται μια πρόταση εφαρμογής συστήματος ΣΗΘ στην φοιτητική εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης. Καθώς η Κρήτη είναι μια περιοχή με έντονη γεωργική δραστηριότητα, υπάρχουν αγροτικά υπολείμματα, οπότε υπάρχει η καύσιμη ύλη διαθέσιμη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μειωμένο κόστος προμήθειας, ενώ αξιοποιείται το τοπικό ενεργειακό δυναμικό σε βιομάζα, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην προστασία του περιβάλλοντος.

Σημαντικά οφέλη από την εφαρμογή αυτή αναμένονται να είναι:

- η μείωση εκπομπών του θερμοκηπίου
- η συμβολή στην εκπλήρωση των δεσμεύσεων της χώρας προς την κοινότητα
- η ενίσχυση της τοπικής οικονομίας
- η απεξάρτηση από εισαγόμενες ενεργειακές πηγές, και επομένως ενίσχυση της τοπικής ανεξαρτησίας, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για νησιώτικές περιοχές
- η εξοικείωση του πολίτη - καταναλωτή με ένα θέμα για το οποίο υπάρχει άγνοια.

Στα περιβαλλοντικά ζητήματα η συμμετοχή και η ενημέρωση του κοινού είναι από τις πιο σημαντικές συνιστώσες για την επιτυχία του τελικού σκοπού. Όσον αφορά στην ανάπτυξη και εξέλιξη της συμπαραγωγής σε ευρωπαϊκό επίπεδο, σύμφωνα και με μελέτες της ΕΕ, η άγνοια είναι ένα από τα σημαντικά εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Συγκεκριμένα στην Κρήτη, η καύση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι σχετικά οικεία στο κοινό, καθώς σημαντικές ποσότητες βιομάζας χρησιμοποιούνται για θέρμανση θερμοκηπίων, αλλά και οικείων. Η εισαγωγή του σχετικά καινοτόμου, για τα ελληνικά δεδομένα, θέματος της συμπαραγωγής αναμένεται να έχει ενδιαφέρουσες προοπτικές.

## 1.2 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΖΗΤΗΜΑ

Ένα από τα πιο πολυσύνθετα και πολύπλοκα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η σύγχρονη κοινωνία, είναι το ενεργειακό ζήτημα, καθώς πλέον η πλειοψηφία των δραστηριοτήτων του απαιτεί ενέργεια. Η παρούσα ενεργειακή κατάσταση έχει επιπτώσεις σε ποικίλους τομείς με αποτέλεσμα τα προβλήματα που σχετίζονται τόσο με την παραγωγή ηλεκτρισμού, όσο και με την κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση και μετακίνηση να γίνονται όλο εντονότερα.

Τα ορυκτά καύσιμα έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Είναι σχετικά φθηνή η εξόρυξή τους, εύκολη η χρήση τους και είναι ευρέως διαθέσιμα. Η υποδομή για την παροχή τους υπάρχει ήδη. Οι κλάδοι εφοδιασμού με ορυκτά καύσιμα είναι καλά οργανωμένοι [1].

Η παραγωγή ενέργειας όμως από αυτά έχει και σημαντικά μειονεκτήματα. Ενδεικτικά αναφέρονται:

Οι ανάγκες σε κατανάλωση ενέργειας αυξάνονται συνεχώς, ενώ τα *αποθέματα μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων* μειώνονται.

Η *εξάρτηση* από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους προκαλεί ανασφάλεια, κυρίως όταν αυτοί σχετίζονται με οικονομικές και κοινωνικές μεταβλητές. Η αγορά του πετρελαίου εμπεριέχει οικονομική αστάθεια, συνάρτηση με πολιτικές εξελίξεις ενώ είναι αφορμή για κοινωνικές ταραχές (πολέμους), και προκαλεί κοινωνικές αντιδράσεις.

Η παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας καθορίζουν την *ποιότητα ζωής και του περιβάλλοντος*. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ενέργειας από ορυκτούς πόρους συνοψίζονται σε:

*Υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα*

*Υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων,*

*Καταστροφή του εδάφους*

*Επιπτώσεις από διαρροές (πετρελαιοκηλίδες)*

*Επιβλαβείς επιπτώσεις στα συστήματα υποστήριξης της ζωής στο πλανήτη.*

*Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου*<sup>1</sup>, που οι επιπτώσεις τους είναι πλέον ιδιαίτερα αισθητές, καθώς προκαλούν πλήρη ανατροπή της περιβαλλοντικής ισορροπίας του πλανήτη με ανυπολόγιστες συνέπειες (κλιματική αλλαγή, τήξη πάγων, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, απερίημωση, απώλεια βιοποικιλότητας, ακραία καιρικά φαινόμενα κτλ).

Δεδομένων των παραπάνω αλλά και άλλων λόγων που αναπτύσσονται διεξοδικότερα στη συνέχεια της εργασίας, υπάρχει επιτακτική ανάγκη για ένα αυτόνομο, ανεξάρτητο και αποκεντρωμένο εθνικό σύστημα ενέργειας, που θα εκμεταλλεύεται τους τοπικούς ενεργειακούς πόρους με έμφαση στις ΑΠΕ.

---

<sup>1</sup> Τα κύρια αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι: διοξείδιο του άνθρακα (80,5% των εκπομπών), μεθάνιο (7,5%), οξείδιο του αζώτου (8,5%), αέρια του θείου (υδροφθοράνθρακες, υπερφθοράνθρακες, εξαφθορειούχο θείο, 3,5%)

### 1.3 ΟΙ ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Η Ε.Ε. δεν έχει τόσους ενεργειακούς πόρους ώστε να είναι ενεργειακά ανεξάρτητη. Η οικονομία εξαρτάται κατά πολύ από το πετρέλαιο, αλλά και από τα ορυκτά καύσιμα. Η κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε. σημείωσε αύξηση κατά 10% το 2000 σε σχέση με το 1990 [3].

Στο Πρωτόκολλο του Κιότο, η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύτηκε ότι το 2010 θα έχει μειώσει κατά 8% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 [3]. Στον Πίνακα 1.1 φαίνονται οι δεσμεύσεις της κάθε χώρας για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Οι διάφορες χώρες μετά από σειρά διαπραγματεύσεων πέτυχαν να εξασφαλίσουν το δικαίωμα να αυξήσουν το ποσοστό εκπομπών το 2010 (στον πίνακα αυτό αναγράφεται με το θετικό πρόσημο). Ανάμεσα στις χώρες αυτές είναι και η Ελλάδα, που της επιτρέπεται η αύξηση των εκπομπών της κατά 25% (σε σχέση με τα επίπεδα του 1990).

Η Ε.Ε. προκειμένου να διασφαλίσει την εκπλήρωση των στόχων που έχει θεσπίσει, παρακολουθεί στενά τα κράτη μέλη ως προς την εφαρμογή των απαιτήσεων ενώ η Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων εκδίδει οδηγίες που σχετίζονται με την ενεργειακή απόδοση των μελών της.

**Πίνακας 1.1** Δεσμεύσεις χωρών της ΕΕ μείωσης εκπομπών θερμοκηπίου στην ΕΕ [2]

<b>ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΩΝ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ</b>			
Λουξεμβούργο	-28%	Γαλλία, Φινλανδία	0%
Γερμανία, Δανία	-21%	Σουηδία	+4%
Αυστρία	-13%	Ιρλανδία	+13%
Μ. Βρετανία	-12,5%	Ισπανία	+15%
Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία,	-8%	Ελλάδα	+24%
Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία			
Βέλγιο	-7,5%	Πορτογαλία	+27%
Ουγγαρία, Πολωνία, Ολλανδία	-6%	Ιταλία	-6,5%

Οι νέες τάσεις στην ενεργειακή οικονομία και πολιτική της Ε.Ε. προκειμένου να αντεπεξέλθει στις δεσμεύσεις αυτές συνοψίζονται στα παρακάτω:

Υπάρχει καταρχήν *μια στροφή προς τις ΑΠΕ*, κυρίως την ηλιακή ενέργεια, καθώς και την εκμετάλλευση του υδρογόνου. Από το 1997, ο στόχος της Ε.Ε. είναι η συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας κατά 12% μέχρι το 2010. Το 1997 το μερίδιο των ΑΠΕ ήταν 5.4% ενώ το 2001 6% [2].

Παρατηρείται στροφή προς την *αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας* και τα *μικροσυστήματα ισχύος* [2]. Η νέα τάση οδηγεί σε *απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς*. Το ενεργειακό μονοπώλιο σπάει, και η ενέργεια γίνεται υπόθεση και της τοπικής κοινωνίας.

Η αλλαγή στα *κοινωνικο-περιβαλλοντικά δεδομένα* ωθεί στην αλλαγή ενεργειακής πολιτικής. Παρατηρείται κοινωνική ευαισθητοποίηση ως προς το περιβαλλοντικό αλλά και κοινωνικό ζήτημα που σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας. Οι καταναλωτές, κυρίως χωρών του δυτικού αναπτυγμένου κόσμου, δείχνουν προτίμηση στην πράσινη ενέργεια.

Αίσθηση επίσης προκαλεί η *έλλειψη πρόσβασης των αναπτυσσόμενων χωρών σε ενέργεια* που είναι απαραίτητη για βασικές ανάγκες. Η υιοθέτηση «*πράσινης*» ενέργειας και για την αντιμετώπιση της φτώχειας αποτελεί ενδιαφέρον ενώ η ανάπτυξη και εξέλιξη νέων τεχνολογιών στον τομέα αυτό συντελεί στην αξιοποίηση τοπικών ενεργειακών πόρων.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται για την υιοθέτηση συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ είναι κυρίως λειτουργικά, καθώς το υπάρχον δίκτυο βασίζεται σε συμβατικές πηγές (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), και έχει διαφορετική δομή από αυτή που χρειάζεται το δίκτυο των ανανεώσιμων για να λειτουργήσει (κεντρικό σε αντίθεση με τοπικό). Επιπλέον, οι ανανεώσιμες απαιτούν αρχικά μεγάλο επενδυτικό κόστος. Επομένως, η αγορά ενέργειας από ΑΠΕ για να ευδοκιμήσει απαιτεί οικονομική στήριξη και ενίσχυση από κρατικούς φορείς.

Νέα οικονομικά εργαλεία και μηχανισμοί διαμορφώνουν διαφορετική προοπτική στην ενεργειακή πολιτική. Αναλυτικότερα:

Η *ενσωμάτωση του περιβαλλοντικού και κοινωνικού κόστους* από την παραγωγή και χρήση της ενέργειας στην οικονομία (ενεργειακοί φόροι, “ο ρυπαίνων πληρώνει”).

Η απελευθέρωση των ενεργειακών ανοίγει το δρόμο για νέες επιχειρηματικές πρωτοβουλίες και επενδύσεις, που δίνει *οικονομικό κίνητρο* στην τοπική αυτοδιοίκηση.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο θέσπισε εργαλεία (πχ *πιστοποιητικά πράσινης ενέργειας*) με σκοπό την αλλαγή του ενεργειακού καθεστώτος [2].

Οι *επενδύσεις σε έρευνα* για καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες, που μέχρι πρότινος χαρακτηρίζονταν ως μη ανταγωνιστικές ή μη αποδοτικές τις καταστούν πλέον τεχνολογικά ώριμες.

Η δημιουργία *θέσεων εργασίας* που δημιουργούνται ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ είναι σημαντικό κίνητρο για τις τοπικές κοινωνίες, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ποσοστό ανεργίας και να αποφευχθεί η μετανάστευση πληθυσμού.

Επιπλέον, η ΕΕ στοχεύει στην μείωση της ενεργειακής έντασης, που επιτυγχάνεται με αύξηση της απόδοσης στην παραγωγή και τη κατανάλωση ενέργειας (βιομηχανίες, μεταφορές, νοικοκυριά). Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ίσως ο αποτελεσματικότερος τρόπος ελάττωσης των αρνητικών επιπτώσεων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1<sup>ου</sup>**

[1] COM 2004, «Το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας της Ε.Ε.»: Ανακοίνωση της Επιτροπής των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Βρυξέλλες, 26.5.2004

[2] Ψωμάς Σ., 2003 «Ενέργεια, Περιβάλλον και επιχειρηματικότητα. Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο» Έκθεση Εθνικού Κέντρου Περιβάλλοντος & Αειφόρου ανάπτυξης, Νοέμβριος 2003.

[3] ΕΚΠΑΑ, 2001 «Ελλάδα: Η κατάσταση του περιβάλλοντος, μια συνοπτική έκθεση» Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου ανάπτυξης, Οκτώβριος 2001.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:**  
*Βιομάζα και Ενέργεια*



## 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ως βιομάζα χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε προϊόν ή υποπροϊόν ή υπόλειμμα προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς σε ανανεώσιμη βάση.

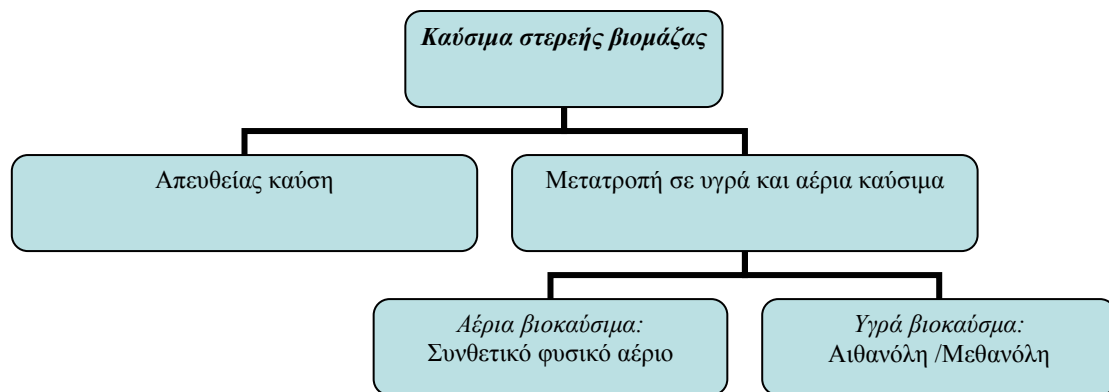
Στο «*White Paper for a Community Strategy and Action Plan*» [1], μια οδηγία που εκδόθηκε από την ΕΕ το 1997, τέθηκε στόχος παραγωγής 90Μtoe ενέργειας από βιομάζα το 2010, το οποίο αντιστοιχεί στο 8.5% της συνολικής προβλεπόμενης κατανάλωσης ενέργειας του 2010. Η ενέργεια αυτή προβλέπεται να παράγεται από αγροτικά και δασικά υπολείμματα, καθώς και υπολείμματα βιομηχανίας ξύλου, νέες ενεργειακές καλλιέργειες και επεξεργασία αποβλήτων. Η ΕΕ έχει επομένως δεσμευτεί να αξιοποιήσει καλύτερα τις ενεργειακές πηγές βιομάζας, τα χαρακτηριστικά της οποίας αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Οι σύγχρονες εφαρμογές της βιομάζας βρίσκουν πρόσφορο έδαφος, κυρίως στις χώρες της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης, όπου η διαθεσιμότητα πρώτων υλών είναι δεδομένη. Η βιομάζα αξιοποιείται συνήθως με την καύση τεμαχιδίων ξύλου (wood chips) ή συσσωματωμάτων (wood pellets, πελλέτες, μικρά πιεσμένα κομμάτια από σκόνη ξύλου) σε σύγχρονους λέβητες υψηλής τεχνολογίας με αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη παροχή αέρα. Τέτοιες τεχνολογίες είναι σε θέση να αποδώσουν περισσότερο από το 90% της ενέργειας που περιέχεται στο ξύλο για θέρμανση, ενώ ένα συμβατικό τζάκι δίνει περίπου 10% και ένας συμβατικός λέβητας ξύλου 50%.

Μορφές βιομάζας καίγονται άμεσα σαν στερεό καύσιμο, ή μετατρέπονται σε αέριο ή υγρό καύσιμο (Σχήμα 2.1). Η καύση του ξύλου και της κοπριάς για τη θέρμανση κτιρίων και το μαγείρεμα τροφοδοτεί περίπου το 13% της παγκόσμιας ενέργειας (4-5% σε Καναδά και Η.Π.Α) και περίπου το 36% της ενέργειας που καταναλώνουν οι χώρες του Τρίτου Κόσμου [2].

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος, όσο τα δέντρα και τα φυτά δεν καταστρέφονται με ρυθμό ταχύτερο από αυτόν της ανάπτυξης τους. Δεν σημειώνεται καμία αύξηση των ατμοσφαιρικών επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα, όσο τα ποσοστά της καταστροφής και καύσης των δασών και το ποσοστό

απώλειας της υπεδαφικής οργανικής ύλης δεν ξεπερνούν το ποσοστό αναγέννησης [3].



**Σχήμα 2.1:** Τρόποι καύσης βιομάζας

Σύμφωνα με το Worldwatch Institute [10], οι παρούσες προμήθειες ξύλου και αγροκαλλιεργητικών υπολειμμάτων μπορούν να παράγουν περίπου το 30% του παγκόσμιου ηλεκτρικού ρεύματος. Το να γίνει αυτό πραγματικότητα εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της παραγωγικής έκτασης, της επάρκειας νερού και λιπάσματος και την ικανότητα ελαχιστοποίησης των επιβλαβών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής βιομάζας ευρείας κλίμακας [2].

Υπάρχει η τάση εκμετάλλευσης της δυναμικά ανανεώσιμης βιομάζας με τρόπους που δεν είναι ανανεώσιμοι ή αειφόροι (αποψίλωση των δασών, διάβρωση του εδάφους και ανεπαρκούς καύσης). Χωρίς τον αποτελεσματικό έλεγχο χρήσης γης και την επαναφύτευση, η ευρεία καταστροφή των δέντρων και φυτών μπορεί να μειώσει τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους και να προξενήσει εκτενή διάβρωση, ρύπανση του νερού, πλημμύρες κα[3].

## 2.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Οι βασικοί τύποι βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι οι εξής:

*ξύλο, ξυλάνθρακας, αγροτικά φυτικά υπολείμματα, υπολείμματα υλοτομίας (κλαδιά, κόμμες, ξύλα),*

*ζωικά απόβλητα (κοπριά),*

*υδρόβια φυτά (υάκιθοι κα),*

*αστικά απόβλητα (χαρτί και άλλα εύφλεκτα υλικά, ιλύς μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων) και*

*οργανικά απόβλητα βιομηχανίας (κτηνοτροφικής βιομηχανίας, βιομηχανίας τροφίμων κλπ).*

Τους τύπους βιομάζας μπορούμε να τους χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες: σε υπολείμματα (που αξιοποιούν τη βιομάζα αφού έχει χρησιμοποιηθεί για τον αρχικό της προορισμό όπως αγροτο-βιομηχανικά απορρίμματα) και σε ενεργειακές καλλιέργειες.

### Καύση ξυλείας- υπολειμμάτων υλοτομίας

Η κυριότερη πηγή βιομάζας ως καύσιμο είναι το ξύλο. Σχεδόν το 70% του πληθυσμού των αναπτυσσόμενων χωρών χρησιμοποιούν την καύση ξύλου ή ξυλάνθρακα για θέρμανση και μαγείρεμα.

Το ξύλο έχει μέτρια ως υψηλή παραγωγή όταν συλλέγεται και καίγεται αποδοτικά κοντά στην πηγή προέλευσης. Οι συμβατικοί, ανεξέλεγκτοι και παραδοσιακοί τρόποι καύσης έχουν πολύ μειωμένες αποδόσεις σχετικά με καινοτόμους και ελεγχόμενους.

### Καύση κατάλοιπων αγροτικής και ζωικής παραγωγής

Σε αγροτικές περιοχές, τα υπολείμματα των καλλιεργειών (π.χ. άχυρο από δημητριακά, φλοιός από ρύζι, καρύδα ή καφέ, κοτσάνι από καλαμπόκι ή βαμβάκι και υπολείμματα εκχύλισης ζάχαρης από ζαχαροκάλαμο) και η κοπριά ζώων μπορούν να καούν ή να μετατραπούν σε βιοκαύσιμο. Η αξιοποίηση των καταλοίπων αγροτικής παραγωγής σαν καύσιμο αποτελεί και μια λύση στο περιβαλλοντικό πρόβλημα της διάθεσης τους [3].

### Ενεργειακές καλλιέργειες

Στις ενεργειακές καλλιέργειες φυτεύεται μεγάλος αριθμός φυτών, με σκοπό τη χρήση τους ως καύσιμα. Καλλιεργούνται είδη με γρήγορη ανάπτυξη, όπως λεύκες και ιτιές σε ήπια κλίματα, και ζαχαροκάλαμα ή γλυκό σόργο σε τροπικές περιοχές. Μετά την καλλιέργεια τα φυτά καίγονται άμεσα, ή μετατρέπονται σε καύσιμο αέριο, ή ζυμώνονται με καύσιμη αλκοόλη.

Αυτές οι φυτείες μπορούν να ακμάσουν σε ημιάνυδρες περιοχές, που δε χρησιμεύουν στην καλλιέργεια άλλων καρπών, μειώνοντας παράλληλα την διάβρωση του εδάφους και αυξάνοντας τον ρυθμό αποκατάστασης της υποβαθμισμένης περιοχής. Η μετατροπή μεγάλων δασικών εκτάσεων ή φυσικών βιοτόπων σε καλλιέργειες μεμονωμένου είδους μειώνουν την βιοποικιλότητα [3]. Το βέλτιστο είναι η εκμετάλλευση για καλλιέργεια ενεργειακών φυτών περιοχών που είναι ήδη υποβαθμισμένες, και όχι η μετατροπή βιώσιμων οικοσυστημάτων σε ενεργειακές καλλιέργειες. Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαία η μελέτη χωροθέτησης και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

### Μετατροπή της βιομάζας σε αέρια και υγρά καύσιμα

Τα φυτά, τα οργανικά απόβλητα, η ιλύς των αποβλήτων, ο πολτός και τα υπολείμματα της επεξεργασίας χαρτιού, καθώς και άλλες μορφές βιομάζας μπορούν μέσω των βακτηρίων να μετατραπούν σε αέρια και υγρά καύσιμα. Το βιοαέριο, για παράδειγμα, είναι ένα μείγμα 60% μεθανίου (κύριο συστατικό του φυσικού αερίου) και 40% διοξειδίου του άνθρακα. Άλλα παραδείγματα είναι η υγρή αιθανόλη και η υγρή μεθονόλη. Οι επεξεργαστές βιοαερίου είναι πολύ αποδοτικοί στη διάρκεια της λειτουργίας τους, όμως είναι αργής λειτουργίας και εξαιρετικά απρόβλεπτοι.

Το αέριο μεθάνιο, που παράγεται από αναερόβια αποσύνθεση της οργανικής ύλης σε χώρους υγειονομικής ταφής μπορεί να συλλεχθεί με αγωγούς που τοποθετούνται στο έδαφος, να διαχωριστεί από τα άλλα αέρια και να καεί ως καύσιμο. Αέριο μεθάνιο παράγεται επίσης από την αναερόβια επεξεργασία της κοπριάς, από ζωικά απόβλητα και αποχετευτική ιλύ. Η αιθανόλη μπορεί να παρασκευαστεί από σάκχαρα και καλλιεργητικούς καρπούς (ζαχαροκάλαμα, σόργο, αραβόσιτο) με τη διαδικασία της ζύμωσης και της διύλισης [3].

### 1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ

Αν και παρουσιάζουν ομοιότητες, τα είδη καύσιμης βιομάζας έχουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τα φυσικά (περιεκτικότητα σε υγρασία και πυκνότητα μάζας), χημικά (περιεκτικότητα σε πτητικά και περιεκτικότητα σε τέφρα) και μορφολογικά (μέγεθος και κατανομή μεγέθους) χαρακτηριστικά.

Τα χαρακτηριστικά του κάθε είδους καυσίμου επηρεάζουν σημαντικά το είδος της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή: «εύκολα» καύσιμα, όπως ο γαιάνθρακας ή τεμάχια ξύλων, μπορεί να επεξεργαστούν με πληθώρα μηχανημάτων, ενώ «δύσκολα» καύσιμα, όπως φλοιός ρυζιού, απαιτούν πολύ συγκεκριμένη τεχνολογική επεξεργασία, η οποία συνήθως απαιτεί και υψηλό κόστος, είτε στις εγκαταστάσεις προετοιμασίας (προεπεξεργασία) του καυσίμου, είτε στον εξοπλισμό μετατροπής.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια είδη βιομάζας που χρησιμοποιούνται εμπορικώς για παραγωγή ενέργειας, ενώ αναφέρεται η περιεκτικότητα σε υγρασία, η περιεκτικότητα σε τέφρα και η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ). Περαιτέρω αναφορά στις ιδιότητες αυτές και το ενεργειακό περιεχόμενο γίνεται σε επόμενη παράγραφο.

**Πίνακας 2.1:** Κύρια χαρακτηριστικά διαφόρων ειδών καυσίμων τύπων βιομάζας, που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο για παραγωγή ενέργειας [4]

Τύπος	ΚΘΔ (kJ/kg)	MCw(%)	ACd (%)
Ζαχαροκάλαμο	7.700-8.000	40-60	1,7-3,8
Κακάο	13.000-16.000	7-9	7-14
Καρύδα	18.000	8	4
Καφές	16.000	10	0,6
Βαμβάκι	15.000	10-20	0,1-12
Καλαμπόκι	13.000-15.000	10-20	2-7
Ρύζι	14.000	9	19
Άχυρο	12.000	10	4,4
Ξύλο	8.400-17.000	10-60	0,25-1,7

MCw: Περιεκτικότητα σε υγρασία (υγρή βάση), ACd :Περιεκτικότητα σε τέφρα (επί ξηρού)

Στη συνέχεια της εργασίας περιγράφονται οι θερμικές ιδιότητες της βιομάζας, η σχέση των ιδιοτήτων αυτών με το ενεργειακό περιεχόμενο της καύσιμης ύλης, τα ρυπαντικά στοιχεία που συναντούνται στην βιομάζα και εκπέμπονται κατά την καύση, ενώ τέλος συσχετίζονται οι ιδιότητες της βιομάζας με την διεργασία μετατροπής της. Τα παραπάνω μελετούνται για την επιλογή και τον σχεδιασμό συστημάτων καύσης και ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.

### **2.3.1 Θερμικές ιδιότητες βιομάζας**

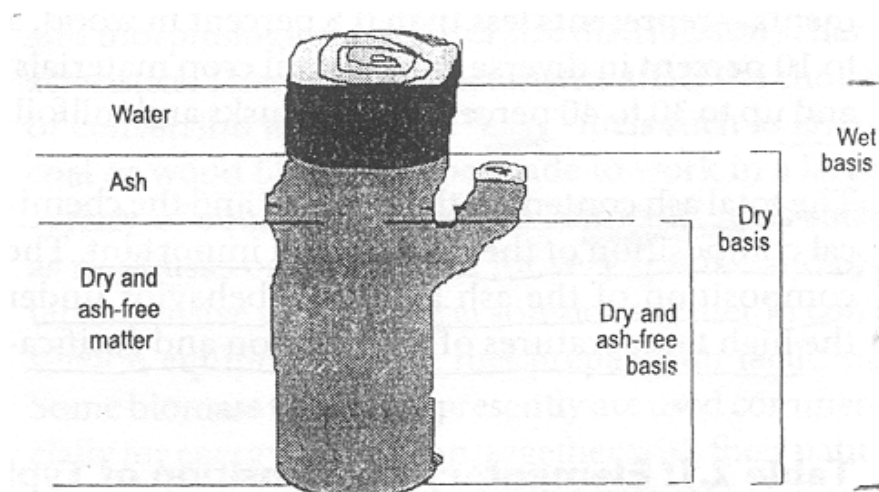
Κάθε τύπος βιομάζας έχει συγκεκριμένες ιδιότητες που καθορίζουν τη συμπεριφορά της σαν καύσιμο σε μηχανές καύσης ή αεριοποίησης ή και στις δυο. Οι πιο σημαντικές ιδιότητες που σχετίζονται με την θερμική μετατροπή της βιομάζας είναι:

- Περιεκτικότητα σε υγρασία
- Περιεκτικότητα σε τέφρα
- Περιεκτικότητα σε πτητική ύλη
- Στοιχειακή σύνθεση
- Θερμαντική αξία
- Πυκνότητα μάζας

Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της βιομάζας, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αποτελείται από υγρασία, τέφρα και οργανική ύλη, ενώ η αναλογία των συστατικών αυτών είναι καθοριστική στην αξιολόγηση της καταλληλότητας της βιομάζας σαν καύσιμο. (Σχήμα 2.2). Στο Σχήμα, εκτός από μια ενδεικτική αναλογία των συστατικών της βιομάζας, φαίνεται και σε ποια βάση απαντάται το κάθε ένα από τα παραπάνω συστατικά (πχ η υγρασία απαντάται μόνο όταν η βιομάζα βρίσκεται σε υγρή βάση).

#### **2.3.1.1 Περιεκτικότητα σε υγρασία**

Η περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας είναι η ποσότητα νερού στο υλικό, εκφρασμένη ως ποσοστό στο βάρος του υλικού. Το βάρος μπορεί να εκφραστεί σε υγρή βάση, σε ξηρή βάση και σε ξηρή-και- απαλλαγμένη τέφρας βάση.



**Σχήμα 2.2:** Σύνθεση βιομάζας [5]

Αν η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι προσδιορισμένη σε 'υγρή' βάση, το βάρος του νερού εκφράζεται σαν ένα ποσοστό του αθροίσματος του βάρους του νερού, της τέφρας και ξηρού- και – απαλλαγμένου τέφρας υλικού.

*Βάρος του νερού (υγρασία):*

$$\% \left( \text{βάρος του νερού} + \text{βάρος της τέφρας} + \text{βάρος ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού} \right)$$

Ομοίως, όταν υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε υγρασία σε ξηρή βάση, το βάρος του νερού εκφράζεται σαν ένα ποσοστό του βάρους της τέφρας και ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού.

*Βάρος του νερού (υγρασία):*

$$\% \left( \text{βάρος της τέφρας} + \text{βάρος ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού} \right)$$

Τέλος, η περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να εκφραστεί σαν ένα ποσοστό της περιεκτικότητας του ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού.

*Περιεκτικότητα σε υγρασία:*

$$\% \text{ περιεκτικότητας του ξηρού και απαλλαγμένου τέφρας υλικού}$$

Σε αυτή τη περίπτωση, το βάρος του νερού σχετίζεται με το βάρος της ξηρής βιομάζας.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία γενικώς προσδιορίζεται πειραματικά ξηραίνοντας ένα δείγμα στους 100-105°C σε ατμοσφαιρική πίεση ή σε χαμηλότερη θερμοκρασία και μειωμένη πίεση. Σε κάποιες περιπτώσεις, κάποια οργανικά συστατικά μπορεί να καθούν κατά την παραπάνω διεργασία, λόγω της πτητικότητας και/ ή την απόσταξη ατμών, αλλά σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα είναι κατάλληλα για τον χαρακτηρισμό της βιομάζας.

Καθώς η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει την αξία της βιομάζας ως καύσιμο, η βάση στην οποία μετράται πρέπει πάντα να αναφέρεται. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί τα διαφορετικά είδη βιομάζας παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα περιεκτικότητας σε υγρασία (σε υγρή βάση) που κυμαίνεται από λιγότερο από 10% σε κόκκους δημητριακών μέχρι 50-70% σε υπολείμματα ξυλείας δασών.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία έχει βασικό ρόλο στη χρήση της βιομάζας. Σε πολλά προϊόντα, η υγρασία πρέπει να μειωθεί σε χαμηλά επίπεδα, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις που υπάρχουν ως προς την πρότυπη ποιότητα των προϊόντων. Το νερό, επίσης, προσθέτει βάρος στο υλικό, που συνεπάγεται αυξημένο κόστος μεταφοράς. Η απομάκρυνση του νερού απαιτεί σημαντικό ποσό ενέργειας.

#### Διαφοροποιήσεις περιεκτικότητας σε υγρασία σε ξυλώδη βιομάζα

Η δασική βιομάζα, στο αρχικό στάδιο (πηγή), παρουσιάζει διαφορές ως προς την περιεκτικότητα σε υγρασία, σε ξηρή και χλωρή βάση. Η βιομάζα που δεν έχει πλέον ζωντανά κύτταρα έχει περισσότερο ξηρό υλικό (χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία) και παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο για πυρκαγιά. Τα πράσινα φύλλα έχουν συνήθως πολύ μεγαλύτερο ποσοστό σε υγρασία από ότι το ξύλο. Ο μέσος όρος της περιεκτικότητας σε υγρασία των πράσινων δέντρων, σε μηνιαία βάση, αλλάζει πολύ λίγο κατά τη διάρκεια του έτους. Όμως, η περιεκτικότητα υγρασίας στο φύλλωμα και στα κλαδιά μεταβάλλεται σημαντικά, με τα νέα προϊόντα να έχουν αρκετά μεγαλύτερη περιεκτικότητα από ότι τα παλαιά. Η περιεκτικότητα σε υγρασία επίσης παρουσιάζει διαφορές ανάμεσα σε μαλακή ξυλεία (από κωνοφόρα) και σε σκληρή ξυλεία (από φυλλοβόλα).



**Πίνακας 2.2:** Περιεκτικότητα σε υγρασία υλικών βιομάζας [3]

<i>Είδος βιομάζας</i>	<i>Ξηρή βάση (%)</i>	<i>Υγρή βάση (%)</i>
Κωνοφόρα (καρδιά δέντρου)	55	(35)
Κωνοφόρα (σομφό ξύλο)	150	(60)
Λυτικά Κωνοφόρα (καρδιά δέντρου)	33-100	(25-50)
Λυτικά Κωνοφόρα (σομφό ξύλο)	110-200	(52-67)
Φυλλοβόλα (καρδιά δέντρου)	60	(38)
Φυλλοβόλα (σομφό ξύλο)	100	(50)
Κλαδέματα δέντρων	(54-122)	35-55
Άχυρο ρυζιού	(100-400)	50-80
Κύρια υπολείμματα ξυλείας	(17)	15
Απορρίμματα μαντρών	(122)	55

(Οι τιμές σε παρένθεση είναι μετατροπές των μετρημένων τιμών εκτός παρένθεσης)

Το εύρος των τιμών της περιεκτικότητας σε υγρασία, που αναμένεται στα διάφορα είδη βιομάζας, φαίνεται στον Πίνακα 2.2. Η περιεκτικότητα σε υγρασία εδώ μετράται σε ξηρή βάση και σε υγρή βάση.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία σε υλικά όπως η δασική βιομάζα, είναι ενεργητική ιδιότητα, δηλαδή μεταβάλλεται όταν μεταβάλλονται οι συνθήκες του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε υγρασία ξηρής ξυλείας διαφοροποιείται με τη ποσότητα υγρασίας στον αέρα. Το ισοζύγιο περιεκτικότητας σε υγρασία EMC (Equilibrium Moisture Content) επηρεάζεται περισσότερο από τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας από ότι της θερμοκρασίας. Τη θερινή περίοδο, οι συνθήκες EMC μπορεί να μεταβληθούν από 5 έως 10% ωριαίως, ανάλογα με την αντίστοιχη μεταβολή της υγρασίας [4]. Μεγάλοι όγκοι βιομάζας, όπως κορμοί δέντρων, αντιδρούν πολύ αργά σε τόσο γρήγορες διακυμάνσεις, αλλά μικρά τμήματα με μεγάλη επιφάνεια εκτεθειμένη στον αέρα ανταποκρίνονται πολύ γρήγορα.

Για την αποτελεσματική χρήση της βιομάζας είναι σημαντική η γνώση της αλληλεπίδρασης της περιεκτικότητας σε υγρασία.

### **2.3.1.2 Περιεκτικότητα σε τέφρα**

Τα ανόργανα συστατικά (περιεκτικότητα σε τέφρα) μπορούν να εκφραστούν με τον ίδιο τρόπο με την περιεκτικότητα σε υγρασία- σε υγρή, ξηρή, ή ξηρή και απαλλαγμένης τέφρας βάση. Γενικά εκφράζεται σε υγρή βάση.

Η ενυπάρχουσα ποσότητα τέφρας- ένα αναπόσπαστο μέρος της δομής του φυτού που περιέχει ένα ευρύ φάσμα στοιχείων- αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 0.5% σε ξύλο, το 5-10% σε διάφορα γεωργικά προϊόντα, και μέχρι το 30-40% σε κέλυφος ρυζιού.

Τόσο η συνολική περιεκτικότητα σε τέφρα, όσο και η χημική της σύσταση είναι σημαντικά στοιχεία της βιομάζας. Η σύσταση της τέφρας επηρεάζει τη συμπεριφορά της στις υψηλές θερμοκρασίες της καύσης και της αεριοποίησης. Για παράδειγμα, τετηγμένα τέφρα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στους αντιδραστήρες τόσο της αεριοποίησης, όσο και της καύσης.

### **2.3.1.3 Περιεκτικότητα σε πτητική ύλη**

Με την έννοια «πτητική ύλη» αναφερόμαστε στο μέρος της βιομάζας που ελευθερώνεται όταν η βιομάζα θερμαίνεται (σε 400-500 °C). Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, η βιομάζα διασπάται σε πτητικά αέρια και στερεό εξανθράκωμα. Συνήθως, η βιομάζα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά (μέχρι και 80%), ενώ ο γαιάνθρακας έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε πτητικά (λιγότερο από 40%) ή, στην περίπτωση του ανθρακίτη, αμελητέα. Η γνώση της περιεκτικότητας σε πτητικά είναι σκόπιμη κατά τον σχεδιασμό του συστήματος καύσης, καθώς αυξημένη περιεκτικότητα δημιουργεί προβλήματα επικαθίσεων στους καυστήρες.

### **2.3.1.4 Στοιχειακή σύνθεση**

#### Χημική ανάλυση

Η σύνθεση των οργανικών συστατικών της βιομάζας είναι σχετικά ομοιόμορφη. Τα κυριότερα συστατικά είναι άνθρακας, οξυγόνο και υδρογόνο. Τα περισσότερα είδη βιομάζας περιέχουν επίσης μια μικρή αναλογία αζώτου. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται το φάσμα των αναλογιών.

**Πίνακας 2.3:** Σύνθεση στοιχείων σε τυπική βιομάζα [5]

Στοιχείο	% ποσοστό βάρους (σε ξηρή και απαλλαγμένη τέφρας βάση)
Άνθρακας (C)	44-51
Υδρογόνο (H)	5,5-6,7
Οξυγόνο (O)	41-50
Άζωτο (N)	0,12-0,60
Θείο (S)	0,0-0,2

Βιολογικά συστατικά

Στη βιομάζα, πέρα από τα προαναφερθέντα χημικά στοιχεία, συναντάμε επίσης και βιολογικά συστατικά. Η δομή της ξυλώδους βιομάζας αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη, επιπρόσθετα υλικά (εκχυλίσματα) και φλοιό. Η αναλογία αυτών των συστατικών διαφέρει στα είδη βιομάζας, έχοντας σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα φυλλοβόλα και στα κωνοφόρα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.4.

**Πίνακας 2.4:** Βιολογικά συστατικά ξυλώδους βιομάζας (%) [6]

Συστατικά	Κωνοφόρα	Φυλλοβόλα
Κυτταρίνη	40-44	43-47
Ημικυτταρίνη	25-29	25-35
Λιγνίνη	25-31	16-24
Εκχυλίσματα	1-5	2-8

Η κυτταρίνη είναι γραμμικό πολυμερές, που αποτελείται από μονάδες άνυδρογλυκοζης και αποτελεί το 40-50% ξηρής μάζας ξυλείας. Η ημικυτταρίνη, σε αντίθεση, περιέχει μονάδες γλυκόζης. Η ημικυτταρίνη είναι συνήθως μικρότερου μήκους από ότι η κυτταρίνη, ενώ η μοριακή δομή είναι ελαφρώς διακλαδισμένη. Η λιγνίνη είναι ένα εντελώς διαφορετικό πολυμερές, το οποίο έχει έντονες διακλαδώσεις, ενώ η μονομερής βάση του έχει δομή φαινόλης. Η λιγνίνη συγκρατεί τα κύτταρα του ξύλου και προσδίδει υψηλές δυνάμεις συγκράτησης στο ξύλο.

Τα εκχυλίσματα είναι συστατικά ποικίλης χημικής σύστασης, που εναποθέτονται στο κενό χώρο μεταξύ των κυττάρων και δεν μετέχουν στη κυτταρική δομή.

Κάποια εκχυλίσματα είναι πτητικοί υδρογονάνθρακες (πχ τερπένια\* στις πευκοβελόνες). Τα εκχυλίσματα συμβάλλουν στη ενεργειακή αξία της βιομάζας και ποικίλουν στη σύνθεση ανάμεσα στα διαφορετικά είδη βιομάζας.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στο είδος και την περιεκτικότητα εκχυλισμάτων ανάμεσα στα είδη ξυλώδους βιομάζας. Ένα σύνηθες φαινόμενο είναι η ανομοιόμορφη κατανομή του οργανικού περιεχομένου σε διάφορα μέρη του φυτού. Συναντώνται περισσότερα εκχυλίσματα στην καρδιά του δέντρου, από ότι σε σομφό ξύλο. Διαφορές υπάρχουν επίσης και στο φύλλωμα του δέντρου. Συνήθως, στο φύλλωμα δέντρων και θάμνων απαντώνται πολύ μεγαλύτερα ποσοστά εκχυλισμάτων, καθώς και μεγαλύτερη ποικιλία στα είδη εκχυλισμάτων από ότι στο ξύλο. Ο φλοιός παρουσιάζει διαφορές από ότι το ξύλο στη σύνθεση των υλικών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το φυτό *E. lathyris*, όπου το περιεχόμενο σε υδρογονάνθρακες στα φύλλα είναι σχεδόν διπλάσιο από αυτό στο βλαστό.

Στον Πίνακα 2.5 φαίνεται το εύρος τιμών της περιεκτικότητας σε εκχυλίσματα σε ξυλώδη βιομάζα στο φύλλωμα, στο φλοιό και στο κυρίως ξύλο.

**Πίνακας 2.5:** Περιεκτικότητα εκχυλισμάτων σε ξυλώδη βιομάζα (% σε ξηρή βάση) [3]

	Φύλλωμα	Φλοιός	Ξύλο
Θάμνοι	13-43	-	-
Δέντρα	30-37	-	-
Καρδιά	-	5-35	2-6
Σοφρό	-	2-25	2-11

Η βιομάζα συχνά υφίσταται αλλαγές στη σύνθεση κατά τη διαδικασία ανάπτυξης ή κατά τη συγκομιδή, ανάλογα με την ηλικία της βιομάζας και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, κατά την ωρίμανση του είδους *E. lathyris* παρατηρείται σταδιακή ελάττωση του περιεχομένου σε σάκχαρα και αύξηση του περιεχομένου σε υδρογονάνθρακες. Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όταν συγκεκριμένο είδος βιομάζας χρησιμοποιείται για την παραγωγή

\* Τα τερπένια είναι οργανικά συστατικά, του γενικού τύπου  $C_{10}H_{16}$ . Σχηματίζονται βιολογικά από το φυσικό μονομερές ισοπρένιο  $C_5H_8$ , το οποίο βρίσκεται σαν πτητικό έλαιο στα φυτά [12,13].

κάποιων οργανικών ή ως τροφοδοτικό απόθεμα για μετατροπή σε καύσιμα και ενεργειακά προϊόντα [4].

### 2.3.1.5 Θερμαντική αξία

Η καταλληλότητα της βιομάζας ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας σε διεργασίες καύσης βασίζεται στο ενυπάρχον ενεργειακό περιεχόμενο των στοιχειακών συστατικών, της πυκνότητας και της περιεκτικότητας σε υγρασία του υλικού. Ένα σύνηθες μέτρο της ενυπάρχουσας ενέργειας ενός καυσίμου είναι η θερμαντική αξία, που είναι ένα μέτρο της ενέργειας που απελευθερώνεται από μία μονάδα μάζας καυσίμου κατά την πλήρη καύση.

**Πίνακας 2.6:** Τυπική ΚΘΔ επιλεγμένων ειδών βιομάζας και καυσίμων υλών [8,9]

<i>Είδος</i>	<i>ΚΘΔ (MJ/ ξηρού kg)</i>
<b>ΔΕΝΤΡΑ</b>	
Βελανιδιά	19,2
Μπαμπού	19,23
Σημύδα	20,03
Οξιά	20,07
Φλοιός βελανιδιάς	20,36
Πεύκο	21,03
<b>ΦΥΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ</b>	
Υπολείμματα εκχύλισης σακχάρου	19,25
Κέλυφος Φαγόπυρου (είδος δημητριακού)	19,63
Φλούδα Καρύδας	20,21
<b>ΧΛΩΡΗ ΑΛΓΗ</b>	
Chlorella	26,98
<b>ΕΛΑΙΑ ΣΠΟΡΩΝ</b>	
Λιναρόσπορος	39,50
Κράμβη	39,77
Βαμβακόσπορος	39,77
<b>Άμορφος άνθρακας</b>	
Παραφινικοί υδρογονάνθρακες	43,30
Αργό πετρέλαιο	48,20

*Η θερμαντική αξία ενός καυσίμου είναι ένας δείκτης της χημικής ενέργειας που είναι δεσμευμένη στο καύσιμο, αναφερόμενος σε καθορισμένο περιβάλλον, το οποίο περιλαμβάνει τη θερμοκρασία, την κατάσταση του νερού (αέριο ή υγρό) και τα προϊόντα καύσης ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  κλ).*

Η ενέργεια που είναι χημικώς δεσμευμένη στο καύσιμο δίνεται από την θερμαντική αξία του καυσίμου σε ενέργεια (J) στο σύνολο του υλικού (kg). Αυτή η ενέργεια δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα, μόνο σχετικά προς μια κατάσταση αναφοράς. Καταστάσεις αναφοράς μπορεί να διαφέρουν, οπότε και υπάρχουν διαφορετικές θερμαντικές αξίες. Οι πλέον ευρέως γνωστές είναι η κατώτερη θερμαντική δύναμη, (ΚΘΔ, lower heating value, LHV) και η ανώτερη θερμαντική δύναμη (ΑΘΔ - higher heating value, HHV). Στην ΚΘΔ, η κατάσταση αναφοράς του νερού είναι η αέρια του κατάσταση, στην ΑΘΔ, η κατάσταση αναφοράς του νερού είναι η υγρή του κατάσταση. Οι ΚΘΔ και ΑΘΔ (κυρίως) χρησιμοποιούνται για συγκρίσεις της ενεργειακής αξίας διαφόρων καυσίμων. Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζονται τυπικές τιμές ενδεικτικών ειδών βιομάζας και καυσίμων υλών, οπότε και φαίνεται η δυνατότητα σύγκρισης ενεργειακού περιεχομένου που μας παρέχει η ιδιότητα αυτή.

Η ενεργειακή αξία καυσίμων συνήθως μετράται με θερμιδόμετρο οξυγόνου (θερμιδομετρία κατανάλωσης οξυγόνου). Η αρχή στην οποία στηρίζεται η μεθόδος είναι ότι η θερμότητα που απελευθερώνεται ανά μονάδα καταναλισκόμενου οξυγόνου είναι σχετικά σταθερή, για ένα μεγάλο εύρος οργανικών υλικών.

Η θερμαντική αξία για ξυλεία είναι περίπου 20 MJ/kg ενώ οι φλούδες έχουν παρόμοια θερμαντική αξία. Και τα δύο υλικά παρουσιάζουν, ανάλογα με το είδος, μια απόκλιση περίπου 10% από το μέσο όρο. Αυτή η απόκλιση οφείλεται στα διαφορετικά χημικά συστατικά που υπάρχουν στα διάφορα είδη [3]. Η θερμαντική αξία των διαφόρων συστατικών της βιομάζας από δύο διαφορετικές βιβλιογραφικές πηγές παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.7.

Η ενδογενής θερμαντική αξία της ξυλείας επηρεάζεται έντονα από αυτά τα συστατικά της. Τα πτητικά εκχυλίσματα έχουν σχεδόν τη διπλάσια ενεργειακή αξία με την κυτταρίνη (35,5 με 17,3 MJ/kg), ενώ η λιγνίνη έχει περίπου 50% περισσότερη αξία (26,6 MJ/kg). Τα πτητικά εκχυλίσματα μπορούν να έχουν

**Πίνακας 2.7:** Θερμαντική αξία συστατικών ξυλείας (MJ/kg) [3]

	<i>Shafizadeh et al, 1976</i>	<i>Harker et al, 1982</i>
Κυτταρίνη	17,3	
Λιγνίνη	26,6	
Εκχυλίσματα	32,2-35,5	
Ξύλο	19,3-19,4	15,6-28,4
Φύλλα	21,4-23,9	15,7-25,1

σημαντική επιρροή στην θερμαντική αξία της ξυλείας, όταν συναντώνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις (πάνω από το 10%). Τα πτητικά που συμβάλλουν στην καύση είναι στο φύλλωμα κυρίως, αν και σε κάποια είδη συναντώνται και στο φλοιό.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των πτητικών είναι ότι μερικά είδη φυτών οφείλουν σε αυτά (κυρίως σε διαλυμένους αιθέρες) το 50% ή και μεγαλύτερο ποσοστό της εκλυόμενης θερμότητας φυλλώματος. Πτητικά, όπως κλάσματα βενζολίου-αιθανόλης και κλάσματα αιθέρων, έχουν πολύ μεγάλη σημασία στην αναφλεξιμότητα του καυσίμου. Συναντώνται κυρίως στο φύλλωμα (αλλά και στο φλοιό ενίοτε), εκλύουν μεγάλη θερμότητα (σε θερμοκρασίες 200-300 °C και 300-500°C αντίστοιχα), ενώ είναι εύκολο να καθούν κατά τη συγκομιδή και μεταφορά λόγω της μεγάλης πτητικότητάς τους.

Η θερμαντική αξία ξυλώδους βιομάζας επηρεάζεται και από τη βιο-αποσύνθεση. Για παράδειγμα, η ξυλεία από κωνοφόρα παρουσιάζει κατά την αποσύνθεση απώλεια υδρογονανθράκων αφήνοντας υπολείμματα λιγνίνης. Η λιγνίνη έχει μεγαλύτερη θερμαντική αξία από ότι οι υδρογονάνθρακες που χάθηκαν με την αποσύνθεση. Δεν συμβαίνει το ίδιο με την αποσύνθεση των φυλλοβόλων, όπου οι μύκητες της αποσύνθεσης μπορούν να αλλοιώσουν τόσο την κυτταρίνη, όσο και τη λιγνίνη. Αν αποσυντεθημένα κωνοφόρα κοπούν σε μικρά τεμάχια, συμπυκνωθούν και απομακρυνθεί η αυξημένη υγρασία (λόγω της αποσύνθεσης), τότε αυτή η ξυλεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη με καλές αποδόσεις.

### **2.3.1.6 Πυκνότητα μάζας**

Η πυκνότητα μάζας αναφέρεται στο βάρος του υλικού ανά μονάδα όγκου. Για τη βιομάζα συνήθως εκφράζεται ως προς το βάρος σε ξηρή βάση (περιεκτικότητα σε υγρασία 0%) ή αναφέροντας την ένδειξη της περιεκτικότητας σε υγρασία. Ομοίως, με την περιεκτικότητα σε υγρασία, η πυκνότητα βιομάζας παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις, από χαμηλές τιμές (150-200 kg/m<sup>3</sup>) για άχυρα δημητριακών και σιτηρών, μέχρι υψηλές τιμές (600-900 kg/m<sup>3</sup>) [4] για ξυλεία από δέντρα.

Η πυκνότητα μάζας έχει σημασία για τις μεθόδους χρήσης και διάθεσης της βιομάζας, καθώς επηρεάζει άμεσα το κόστος μεταφοράς. Η πυκνότητα μάζας, εκτός το ότι είναι χαρακτηριστικό της πυκνότητας του υλικού, καθορίζει και το πώς μπορεί το υλικό να συσκευαστεί. Στρογγυλή ξυλεία ανόμοιου σχήματος συσκευάζεται δύσκολα και έχει μεγάλο ποσοστό κενού χώρου ανάμεσα στο υλικό (μέχρι και 70% του ολικού όγκου) [5], ενώ επίπεδη κατασκευαστική ξυλεία μπορεί να συσκευαστεί με μικρά κενά, οπότε και έχει μεγαλύτερη πυκνότητα μάζας. Τα άχυρα σιτηρών και δημητριακών μπορούν πιο εύκολα να συσκευαστούν μαζικά σε μπάλες ή κύβους, διευκολύνοντας τη μεταφορά.

Η επίδραση της μείωσης του μεγέθους στη πυκνότητα μάζας ποικίλλει, αλλά αν η μείωση του μεγέθους συνοδεύεται από συμπίεση έχουμε μια αποτελεσματική μέθοδο για να αυξήσουμε την πυκνότητα μάζας υλικών βιομάζας. Πχ, η πυκνότητα μάζας ρινισμάτων ξύλου είναι περίπου 200 kg/m<sup>3</sup> ενώ η πυκνότητα μάζας ξύλου που έχει κονιοποιηθεί και συμπιεστεί σε δεμάτια είναι περίπου τριπλάσια (600 kg/m<sup>3</sup>) [4].

Η πυκνότητα μάζας μπορεί να υποστεί βιο- επιδείνωση. Για παράδειγμα, αν ξύλο είναι σε επαφή με νερό στο έδαφος, ή με άλλο τρόπο, ξεκινά διεργασία αποσύνθεσης. Γενικά, ξύλο που έχει υποστεί σήψη έχει μικρή αξία για περαιτέρω εκμετάλλευση. Αν όμως αποσυντεθημένο ξύλο υποστεί ξήρανση και συμπύκνωση, μπορεί να έχει ακόμα αξία ως υλικό καύσης. Αυτή η διεργασία ουσιαστικά αποσκοπεί στην αύξηση της πυκνότητας μάζας του υλικού.



### 2.3.2 Συστατικά βιομάζας - ρυπαντές κατά την καύση

Τα είδη βιομάζας περιέχουν γενικά λίγα συστατικά που μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα. Η δημιουργία ρυπαντικών αερίων κατά τη καύση ενδιαφέρει για την επιλογή και το σχεδιασμό του κατάλληλου συστήματος και τεχνολογίας καύσης. Σκοπός από την ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας είναι (και) τα μικρότερα ποσοστά αέριας ρύπανσης. Η γνώση των συστατικών βιομάζας για την πρόβλεψη των εκπομπών ρύπων συντελεί στην επιλογή καυσίμου και τεχνολογίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συστατικά βιομάζας που συνήθως «μετατρέπονται» σε ρυπαντές κατά τη καύση.

Κάποιοι ρυπαντές που παρουσιάζονται είναι το χλώριο και το θείο, οι οποίοι αν και παρουσιάζονται σε μικρά ποσοστά, μπορεί να συμβάλλουν στο σχηματισμό όξινης βροχής όταν μετατρέπονται σε  $\text{SO}_2$  και  $\text{HCl}$  κατά τη καύση. Στο Πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες σε θείο και χλώριο κάποιων ειδών βιομάζας.

**Πίνακας 2.8:** Περιεκτικότητα θείου και χλωρίου σε είδη βιομάζας (βάρος % σε ξηρή βάση) [4]

<i>Είδη βιομάζας</i>	<i>Θείο</i>	<i>Χλώριο</i>
Καλαμπόκι	0,05	1,48
Ξύλο	0,01	0,01
Φλοιός	0,05	0,02
Άχυρο	0,07	0,49
Γρασίδι	0,18	0,88

Άλλα συστατικά που μετέχουν στο σχηματισμό όξινης βροχής είναι τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}$  και  $\text{NO}_2$ , που αναφέρονται ως  $\text{NO}_x$ ). Κατά τη καύση, δύο τύποι σχηματισμού  $\text{NO}_x$  λαμβάνουν χώρα: ο θερμικός σχηματισμός  $\text{NO}_x$  που γίνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των  $950^\circ\text{C}$ , από το άζωτο που περιέχεται στον αέρα καύσης, και ο καύσιμος σχηματισμός  $\text{NO}_x$  που γίνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από το άζωτο που περιέχεται στο καύσιμο. Σε γενικές γραμμές, η ποσότητα των σχηματιζόμενων  $\text{NO}_x$  μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση χαμηλότερων θερμοκρασιών καύσης και με σταδιακή ανάφλεξη (η οποία είναι τεχνολογική μέθοδος και δεν αναφέρεται σε αυτό το κεφάλαιο).

Κατά τη διαδικασία ανάφλεξης και αεριοποίησης σχηματίζονται πιητικοί υδρογονάνθρακες ( $C_xH_y$ ). Αυτά τα συστατικά, καίγονται όταν συγκρατούνται αρκετή ώρα σε θερμή ζώνη ανάφλεξης. Σε καλά σχεδιασμένα συστήματα καύσης, οι εκπομπές  $C_xH_y$  είναι πολύ μικρές. Όμως, σε μονάδες όχι καλά σχεδιασμένες, ή σε ανοικτές καύσεις (φωτιές), οι εκπομπές μπορεί να είναι σημαντικές.

Κάποιοι άλλοι ρυπαντές ξυλώδους βιομάζας είναι το χώμα και άλλα υλικά, που αναμειγνύονται ή ενσωματώνονται στη βιομάζα κατά τη συλλογή και μεταφορά. Τύποι ρυπαντών (υλικά απόξεσης) μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές φθορές, ή θραύσεις του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ελάττωση του μεγέθους του αρχικού υλικού.

Κατά την συγκομιδή και συλλογή της βιομάζας, συνήθως συλλέγεται και σκόνη σαν επείσακτο υλικό, η οποία ενσωματώνεται στη βιομάζα που μεταφέρεται στη μονάδα επεξεργασίας.

Στο φλοιό επίσης συναντάμε υψηλά επίπεδα ρυπαντών, όπως το έδαφος που έχει ενσωματωθεί με τη πάροδο του χρόνου, έχοντας σαν αποτέλεσμα επίπεδα τέφρας μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την κύρια οργανική περιεκτικότητα. Αυτού του είδους οι ρυπαντές απαιτούν επιπλέον κόστος για την απομάκρυνσή τους και/ ή για την τελική τους διάθεση. Αν δεν απομακρυνθούν, μειώνουν την αποδοτικότητα του προϊόντος.

### **2.3.3. Συσχέτιση ιδιοτήτων βιομάζας και ενεργειακού περιεχομένου**

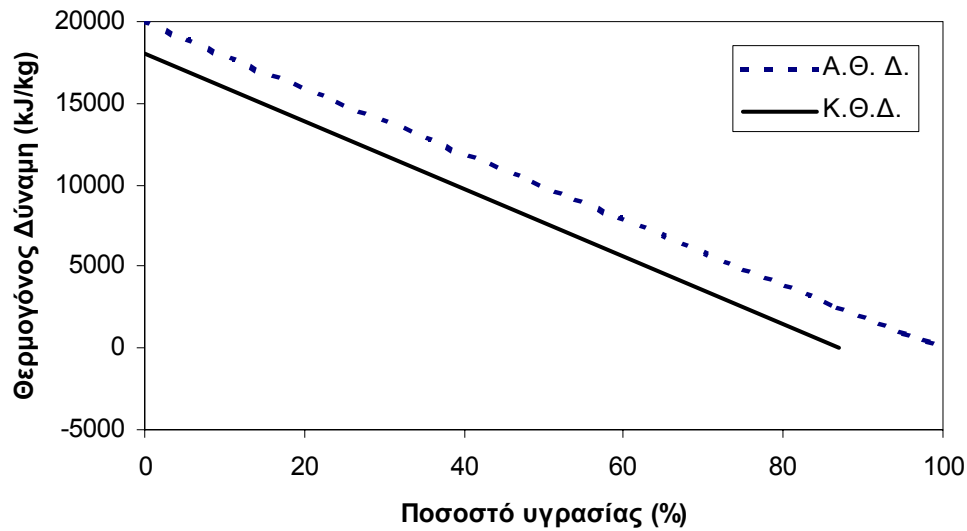
Από βασικές αναλύσεις που έχουν γίνει σε αντιπροσωπευτικά είδη βιομάζας, προκύπτει ότι τα είδη βιομάζας παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις στο εύρος παραμέτρων όπως περιεκτικότητα σε τέφρα και υγρασία, ενώ έχουν σχετικά περιορισμένο εύρος θερμαντικής αξίας (Πίνακας 2.9) [4]. Στον Πίνακα 2.9 παρουσιάζονται οι αναλύσεις περιεκτικότητας σε τέφρα, σε υγρασία, σε οργανικό υλικό και η HHV αντιπροσωπευτικών ειδών βιομάζας, άνθρακα και τύρφης (ποάνθρακα).

Στη συνέχεια γίνεται συσχέτιση των ιδιοτήτων βιομάζας και του ενεργειακού περιεχομένου. Αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο η περιεκτικότητα των διαφόρων

ιδιοτήτων επηρεάζει το ενεργειακό περιεχόμενο και κατ' επέκταση πώς χαρακτηρίζει τη βιομάζα ως καύσιμο.

#### 2.3.3.1. Περιεκτικότητα σε υγρασία και ενεργειακό περιεχόμενο

Η βιομάζα πάντα περιέχει νερό, το οποίο εξατμίζεται κατά τη θέρμανση. Αυτό συνεπάγεται ότι μέρος από την εκλυόμενη θερμότητα κατά τις χημικές διεργασίες απορροφάται κατά τη διεργασία εξάτμισης. Για το λόγο αυτό, η ΚΘΔ



**Σχήμα 2.3:** Θερμαντική αξία βιομάζας (ΑΘΔ και ΚΘΔ) ως συνάρτηση της περιεκτικότητας σε υγρασία [5]

μειώνεται καθώς η περιεκτικότητα σε υγρασία αυξάνει. Στον Πίνακα 2.9 αλλά και στους προηγούμενους Πίνακες 2.1, 2.2 παρατηρείται το μεγάλο εύρος της περιεκτικότητας σε υγρασία στα διάφορα είδη βιομάζας, από χαμηλές τιμές 2-3 κ.β% για τα παράγωγα της βιομάζας χαρτί και άνθρακα, μέχρι υψηλές τιμές 98 κ.β % για αρχική ιλύ αποβλήτων. (Στον ίδιο πίνακα αναγράφονται και οι αντίστοιχες τιμές ΚΘΔ των ειδών.

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των ΑΘΔ, ΚΘΔ και της περιεκτικότητας σε υγρασία. Η σχέση είναι γραμμική, και η θερμαντική αξία μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία. Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι επομένως μία πολύ σημαντική παράμετρος για την καθαρή ενεργειακή αξία της βιομάζας. Για τη ξυλεία, η σχέση εκλυόμενης θερμότητας με την περιεκτικότητα σε υγρασία είναι γραμμική και μπορεί να εκφραστεί ως μείωση της θερμαντικής αξίας κατά 2,5X, όπου X είναι το % ποσοστό της περιεκτικότητας σε υγρασία σε ξηρή βάση.

Η θερμαντική αξία είναι ένα μέτρο της ενέργειας που απελευθερώνεται ανά μονάδα καυσίμου. Επομένως, το ενεργειακό περιεχόμενο ειδών βιομάζας μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία. Τα στοιχεία του Πίνακα 2.9, επαληθεύουν τα παραπάνω σε γενικές γραμμές, αν και υπάρχουν είδη βιομάζας όπου αυτό δεν φαίνεται ξεκάθαρα, καθώς η ΚΘΔ εξαρτάται και από την περιεκτικότητα στα υπόλοιπα συστατικά. Γενικά, *η περιεκτικότητα σε υγρασία μειώνει το ενεργειακό περιεχόμενο των ειδών βιομάζας*.

**Πίνακας 2.9:** Προσεγγιστική ανάλυση και ΑΘΔ ειδών βιομάζας, γαιάνθρακα και ποανθράκων [4]

Κατηγορία	Είδος	Διακύμανση υγρασίας (%)	Οργανικό υλικό (ε.ξ. %)	Τέφρα (ε.ξ. %)	ΑΘΔ (MJ/dry kg)
Απόβλητα	Κτηνοτροφικά απόβλητα	20-70	76,5	23,5	13,4
	Βιοστερεά	90-97	76,5	23,5	18,3
	Refuse derived fuel (RDF)	15-30	86,1	13,9	12,7
Ποώδεις	Πριονίδι	15-60	99,0	1,0	20,5
	Μανιότη (cassava)	20-60	96,1	3,9	17,5
	Euphobia lathyris	20-60	92,7	7,3	19,0
	Γλυκό σοργό	20-70	91,0	9,0	17,6
Υδατική	Switcgrass	30-70	89,9	10,1	18,0
	Giant brown kelp	85-97	54,2	45,8	10,3
	Υάκινθος νερού	85-97	77,3	22,7	16,0
Ξυλώδης	Βαμβάκι	30-60	98,9	1,1	19,5
	Ευκάλυπτος	30-60	97,6	2,4	18,7
	Λεύκα	30-60	99,0	1,0	19,5
	Πεύκο	30-60	99,5	0,5	20,3
	Σεκόγια	30-60	99,8	0,2	21,0
	Σφένδαμος (συκομουριά)	30-60	98,9	1,1	19,4
Παράγωγα	Χαρτί	3-13	94,0	6,0	17,6
	Πολτός πεύκου	5-30	97,1	2,9	20,4
	Άχυρα ριζιού	5-15	80,8	19,2	15,2

### 2.3.3.2 Περιεκτικότητα σε τέφρα και ενεργειακό περιεχόμενο

Η περιεκτικότητα σε τέφρα μειώνει το ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας. Η τέφρα δεν καίγεται κατά τη καύση της βιομάζας, αντιθέτως παραμένει και δημιουργεί προβλήματα στις μηχανές καύσης, ενώ υπάρχει και το πρόβλημα διάθεσης της. Ως εκ τούτου, καλές προοπτικές ως καύσιμα έχουν υλικά με χαμηλή τέφρα και υψηλή θερμαντική αξία. Υλικά με υψηλή περιεκτικότητα σε

τέφρα, όπως τα άχυρα ρυζιού, έχουν χαμηλότερη αποδοτικότητα κατά τη καύση, ενώ ενδεχομένως παράγουν υψηλά επίπεδα ρύπανσης κατά την αποτέφρωση. Η βιομάζα σε σύγκριση με άλλα στερεά καύσιμα, συνήθως υπερτερεί. Αν και έχει χαμηλότερη θερμαντική αξία, έχει επίσης και χαμηλά επίπεδα τέφρας και υψηλό ποσοστό απελευθέρωσης θερμότητας. Για παράδειγμα, ο ασφαλούχος γαιάνθρακας έχει ΑΘΔ 35,01 MJ/kg αλλά και περιεκτικότητα τέφρας 4,51%. Λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό απελευθέρωσης θερμότητας από καύση ξυλείας, η καθαρή στερεά ξυλεία είναι ένα καλό καύσιμο [7].

Μετρήσεις της ΑΘΔ κάποιων ειδών αναφέρονται ενδεικτικά στον Πίνακα 2.10. Με την αύξηση της περιεκτικότητας σε τέφρα παρατηρείται μείωση της θερμαντικής αξίας.

**Πίνακας 2.10:** Ενδεικτικές τιμές ΑΘΔ και περιεκτικότητες τέφρας [3]

<i>Είδος</i>	<i>ΑΘΔ MJ/kg</i>	<i>Περιεκτικότητα ξηρής μάζας%</i>	<i>τέφρας</i>
Ευκάλυπτος	19,33	0,79	
Φύλλα ευκαλύπτου	20,31	4,83	
Άχυρο ρυζιού	15,09	18,67	

Κάποια είδη ξυλώδους βιομάζας είναι λιγότερο αποτελεσματικά ως καύσιμα, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε τέφρα. Απορρίμματα μάντρας πχ, έχουν συγχωνευμένα σκόνες και μη-βιολογικά συστατικά, που τα καθιστούν όχι και τόσο κατάλληλα για καύση.

### **2.3.3.3 Πυκνότητα μάζας και ενεργειακό περιεχόμενο**

Η πυκνότητα μάζας επηρεάζει επίσης το ενεργειακό περιεχόμενο. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο μεγαλύτερο και το ενεργειακό περιεχόμενο. Η θερμαντική αξία και η πυκνότητα μάζας καθορίζουν την ενεργειακή πυκνότητα-την πιθανή διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα όγκου βιομάζας. Για το λόγο αυτό, προτιμάται, όταν είναι εφικτή, η αύξηση της πυκνότητας μάζας της βιομάζας με κάποιο τρόπο (πχ μπρικετοποίηση). Γενικά, η ενεργειακή πυκνότητα της βιομάζας είναι περίπου το 1/10 σε σχέση με καύσιμες ύλες, όπως πετρέλαιο ή υψηλής ποιότητας άνθρακας.

#### **2.3.3.4. Οργανικό υλικό και ενεργειακό περιεχόμενο**

##### Υπολογισμός οργανικού υλικού

Το συνολικό οργανικό υλικό έχει άμεση συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε τέφρα. Υπολογίζεται από τη διαφορά 100 μείον το % ποσοστό τέφρας (100-%ποσοστό τέφρας), το οποίο καθορίζεται πειραματικά μετατρέποντας σε τέφρα δείγματα βιομάζας σε υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιώντας καθορισμένες μεθόδους.

$$\text{Οργανικό υλικό \%} = 100 - \% \text{ποσοστό τέφρας}$$

Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την μετατροπή σε τέφρα έχουν ως αποτέλεσμα την κατανάλωση οξυγόνου και το σχηματισμό οξειδίων μετάλλων. Έτσι, η πειραματική περιεκτικότητα σε τέφρα δεν αντιστοιχεί στα ανόργανα μεταλλικά συστατικά του αρχικού δείγματος.

Σε ιδανική κατάσταση, όλος ο άνθρακας του αρχικού δείγματος απομακρύνεται κατά τη μετατροπή σε τέφρα, τα μέταλλα δεν οξειδώνονται, ενώ δεν χάνεται καθόλου ποσότητα μετάλλων. Αυτό όμως δε συμβαίνει για κάποιες διαδικασίες μετατροπής σε τέφρα, ιδίως όταν το δείγμα περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις. Οι απώλειες του υλικού οφείλονται στην πτητικότητα κάποιων αλκάλι-μεταλλικών οξειδίων στις θερμοκρασίες μετατροπής προκαλώντας σφάλματα στην ανάλυση.

Ενίοτε γίνονται παραδοχές στον πειραματικό προσδιορισμό της τέφρας, ώστε να αντιστοιχούν καλύτερα στα ανόργανα συστατικά που υπάρχουν στα δείγματα. Παρόλα' αυτά, η αφαίρεση της πειραματικής αξίας σε τέφρα, σε ποσοστό % ξηρού βάρους βιομάζας από 100 για να επιτύχουμε το % ποσοστό οργανικού υλικού, είναι αποτελεσματική τις περισσότερες φορές [4].

##### Ενεργειακό περιεχόμενο

Για τη συσχέτιση του οργανικού υλικού που περιέχει η βιομάζα με το ενεργειακό περιεχόμενο έχουν γίνει μετρήσεις σε μεγάλο εύρος ειδών βιομάζας. Κάποια αποτελέσματα αναγράφονται στο Πίνακα 2.10, από τα στοιχεία του οποίου προκύπτει ότι η περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά και η ΑΘΔ επηρεάζονται από την τέφρα, η οποία τις περισσότερες φορές δεν έχει ενεργειακό περιεχόμενο. Όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα σε τέφρα, τόσο χαμηλότερο αναμένεται το οργανικό υλικό και η ΑΘΔ. Επομένως, *το χαμηλό οργανικό υλικό συνεπάγεται και χαμηλό*

ενεργειακό περιεχόμενο. Καθώς προηγουμένως αναλύσαμε πώς το οργανικό περιεχόμενο σχετίζεται με την τέφρα, η αναλογία αυτή είναι αναμενόμενη.

Στον Πίνακα 2.11 αναγράφονται οι αναλύσεις συνολικού οργανικού υλικού ειδών βιομάζας και συσχέτιση με τη λοιπή σύνθεση της βιομάζας διαφόρων ειδών. Γίνεται μια μεγαλύτερη ανάλυση των συστατικών ειδών βιομάζας, ποανθράκων και γαιανθράκων, καθώς γίνεται αναφορά στα επιμέρους συστατικά τους (C, H, O κλ), πέρα από την περιεκτικότητα σε υγρασία, τέφρα και οργανικά υλικά, ενώ επίσης συγκρίνεται η θερμαντική αξία.

Κάνοντας μια σύγκριση στις τιμές της θερμαντικής αξίας, παρατηρείται ότι έχει άμεση σχέση με την περιεκτικότητα του άνθρακα, αλλά και της τέφρας. Για παράδειγμα, ο υάκινθος και τα RDF (Refuse –Derived Fuel), έχουν παρόμοιες περιεκτικότητες άνθρακα, αλλά διαφορετικές τέφρας, με αποτέλεσμα να διαφέρει και η θερμαντική τους αξία (ο υάκινθος έχει μικρότερη, καθώς έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα τέφρας).

**Πίνακας 2.11:** Βασική σύσταση και ΑΘΔ φυσικής και απορριμματικής βιομάζας, ποανθράκων και γαιανθράκων [4]

	<i>Κυτταρική βιομάζα</i>	<i>Πεύκο</i>	<i>Φύκια</i>	<i>Υάκινθος</i>	<i>Κοπριά</i>	<i>RDF</i>
<i>Στοιχειακή ανάλυση (%)</i>						
C	44,44	51,8	27,65	41,1	35,1	41,2
H	6,22	6,3	3,73	5,29	5,3	5,5
O	49,34	41,3	28,16	28,84	33,2	38,7
N		0,1	1,22	1,96	2,5	38,7
S			0,34	0,41	0,4	0,2
Τέφρα		0,5	38,9	22,4	23,5	13,9
<i>Προσεγγιστική ανάλυση (%)</i>						
Υγρασία		5-50	85-95	85-95	20-70	18,4
Οργανική ύλη		99,5	61,1	77,7	76,5	86,1
Τέφρα		0,5	38,9	22,4	23,5	13,9
ΑΘΔ (MJ/kg)	17,51	21,24	10,01	16,00	13,37	12,67

Στον Πίνακα 2.12 παρουσιάζεται η ΑΘΔ αντιπροσωπευτικών ειδών βιομάζας, σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε οργανικά συστατικά και τέφρα.

Ξυλώδη και ινώδη υλικά φαίνονται να έχουν ενεργειακό περιεχόμενο μεταξύ 19 και 21 MJ/kg, ενώ η άλγη *Chlorella* έχει μεγαλύτερη αξία, αδιαμφισβήτητη λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε λιπίδια ή πρωτεΐνες ( βλ Πίνακα 2.6). Έλαια που προέρχονται από σπόρους φυτών έχουν μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο και πλησιάζουν την θερμαντική αξία των παραφινικών υδρογονανθράκων.

Μεγάλες συγκεντρώσεις ανόργανων συστατικών σε συγκεκριμένα είδη βιομάζας μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό το ενεργειακό της περιεχόμενο, λόγω του ότι τα ανόργανα συστατικά δεν συμβάλλουν στη θερμότητα καύσης. Αυτό φαίνεται καθαρά στην ΑΘΔ του φύκους *Giant brown kelp* (Πίνακας 2.12), τα φύλλα των οποίων έχουν κατάλοιπο τέφρας ισοδύναμο με 40 κ.β% του ξηρού βάρους. Σε ξηρή βάση, η ΑΘΔ είναι περίπου 10 MJ/kg, ενώ σε ξηρή, απαλλαγμένη τέφρας βάση, η θερμαντική αξία είναι περίπου 16 MJ/kg.

**Πίνακας 2.12:** Οργανικά συστατικά και τέφρα σε αντιπροσωπευτικά είδη βιομάζας [4]

Είδος βιομάζας	Υδατική	Γλυκού νερού	Ποώδης	Ξυλώδης	Απόβλητα
Συστατικά (επί ξηρού κ.β%)	<i>Giant brown kelp</i>	<i>Water hyacinth</i>	<i>Bermuda grass</i>	<i>Pine</i>	<i>RDF (Refuse-Derived-fuel)</i>
Κυτταρίνη	4,8	16,2	31,7	40,4	65,6
Ημικυτταρίνη		55,5	40,2	24,9	11,2
Λιγνίνη		6,1	4,1	34,5	3,1
Πρωτεΐνες	15,9	12,3	12,3	0,7	3,5
Τέφρα	45,8	22,4	5,0	0,5	16,7
ΑΘΔ (MJ/dry kg)	10,3	16,0		20,4	12,7



### Συσχέτιση άνθρακα και ενεργειακού περιεχομένου

Όσο πιο υψηλή είναι η περιεκτικότητα του άνθρακα σε κάθε κατηγορία, τόσο πιο υψηλό είναι το ενεργειακό περιεχόμενο. Οι μονοσακχαρίτες έχουν το χαμηλότερο περιεχόμενο σε άνθρακα, τον μεγαλύτερο βαθμό οξείδωσης, και την χαμηλότερη θερμαντική αξία. Καθώς το περιεχόμενο σε άνθρακα αυξάνει, μειώνεται ο βαθμός οξείδωσης, οι δομές τείνουν να μοιάσουν περισσότερο με υδρογοναθρακικές, και η θερμαντική αξία αυξάνει. Στον Πίνακα 2.13 φαίνεται η ΑΘΔ κάθε κατηγορίας των βασικών οργανικών συστατικών της βιομάζας και η περιεκτικότητα αυτών σε άνθρακα. Παρατηρείται ότι οι τερπένιοι υδρογονάνθρακες έχουν τη μεγαλύτερη ΑΘΔ από όλα τα συστατικά που αναφέρονται στον πίνακα. Τα λιπίδια ακολουθούν με την αμέσως μεγαλύτερη ΑΘΔ. Το επικρατέστερο συστατικό της βιομάζας είναι η κυτταρίνη, με ΑΘΔ 17,51 MJ/kg.

**Πίνακας 2.13:** Τυπικό ανθρακικό περιεχόμενο και θερμαντική αξία επιλεγμένων συστατικών βιομάζας [4]

Συστατικό	Άνθρακας (κ.β.%)	ΑΘΔ (MJ/kg)
Μονοσακχαρίτες	40	15,6
Δισακχαρίτες	42	16,7
Πολυσακχαρίτες	44	17,5
Πρωτεΐνες	53	24
Λιγνίνη	63	25,1
Λιπίδια	76-77	39,8
Τερπένια	88	45,2
Υδατάνθρακες	41-44	16,7-17,7
Τριγλυκερίδια	74-78	36,5-40

Σημ: η ΑΘΔ είναι προσεγγίσεις για ξηρά μείγματα.

Μια απλή εξίσωση, με σχετικά καλή ακρίβεια, για τον υπολογισμό της ΑΘΔ βιομάζας, καθώς επίσης και γαιάνθρακα και τύρφης (ποάνθρακας) είναι η εξής:

$$\text{ΑΘΔ σε MJ/ξηρού kg} = 0,4571 (\%C \text{ σε ξηρή βάση}) - 2,70 [4]$$

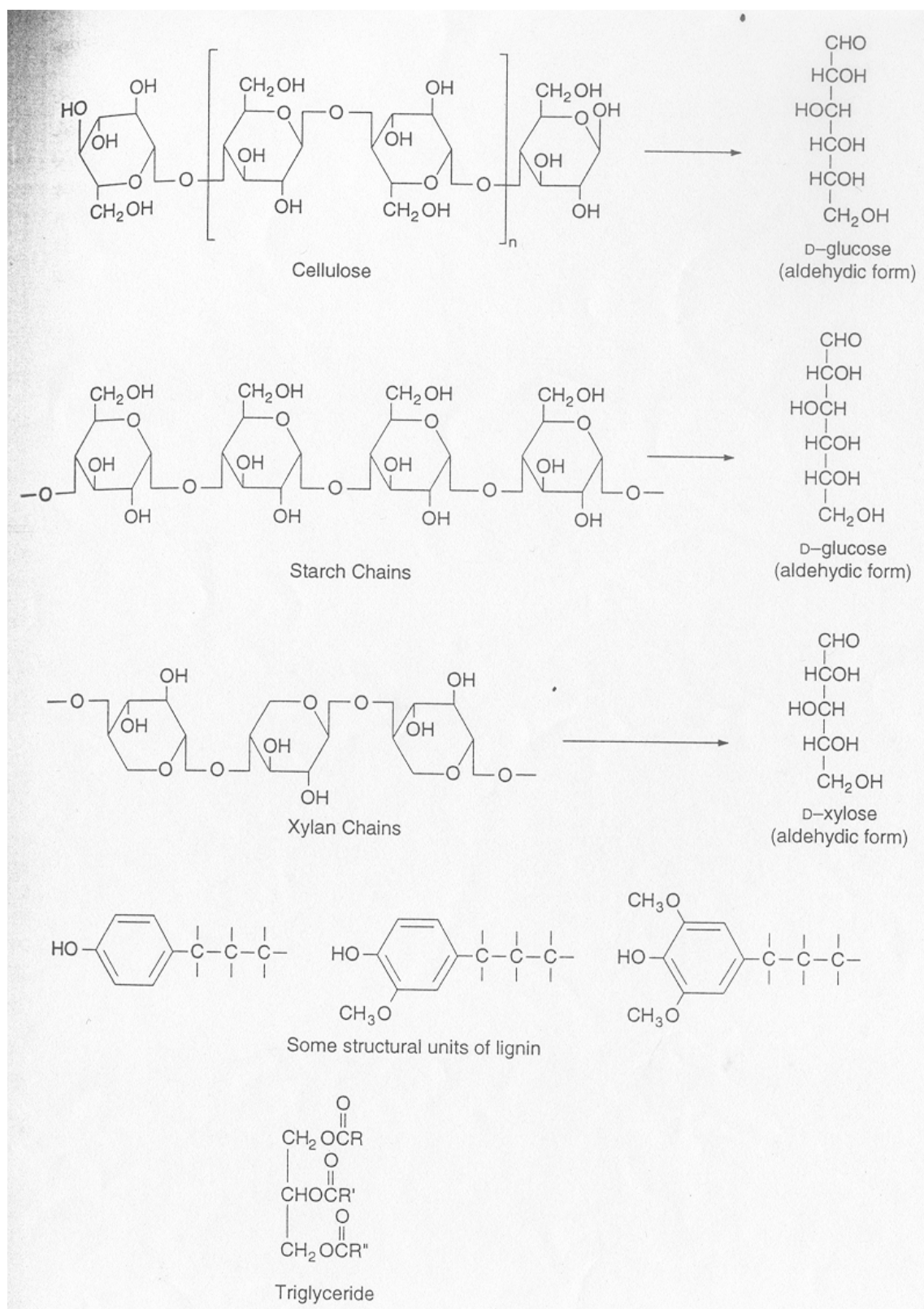
#### 2.3.4 Χημική δομή των βασικών συστατικών

Η κατανόηση της χημικής δομής των κύριων οργανικών συστατικών της βιομάζας είναι σημαντική για τον σχεδιασμό των διεργασιών παραγωγής καυσίμων και χημικών. Η γνώση της χημικής δομής μπορεί να οδηγήσει σε βελτιστοποίηση των ήδη υπάρχουσων διεργασιών και σε σχεδιασμό προχωρημένων μεθόδων μετατροπής. Στο Σχήμα 2.4 που ακολουθεί φαίνονται οι δομές των βασικών συστατικών. Στη συνέχεια, γίνεται μια πολύ συνοπτική περιγραφή της δομής των βασικών συστατικών, καθώς και η αναφορά κάποιων ιδιοτήτων τους. Δε γίνεται εκτεταμένη και λεπτομερειακή ανάλυση.

Η κυτταρίνη είναι πολυσακχαρίτης που έχει γενική φόρμουλα  $(C_6H_{10}O_5)_n$  και μοριακό βάρος από 300.000-500.000. Η κυτταρίνη είναι αδιάλυτη στο νερό, σχηματίζει την σκελετική δομή των περισσότερων ειδών εδαφικής βιομάζας και συνιστά περίπου το 50% του υλικού του κυτταρικού τοιχώματος.

Οι ημικυτταρίνες είναι σύνθετα πολυσακχαρίδια που εμφανίζονται μαζί με την κυτταρίνη στα κυτταρικά τοιχώματα. Είναι διαλυτές σε αραιά αλκάλια και παρουσιάζουν διακλαδώσεις, που διαφέρουν σημαντικά σε ξυλώδη και ποώδη βιομάζα.

Οι λιγνίνες έχουν πολλές διακλαδώσεις, και είναι μονοπυρινικά αρωματικά πολυμερή στα κυτταρικά τοιχώματα συγκεκριμένων ειδών βιομάζας, κυρίως δέντρων. Η συγκεκριμένη δομή των πολυμερών δεν έχει καθοριστεί λόγω της πολυπλοκότητας και της ποικιλότητας τους. Τα βασικά μονομερή φαίνονται στο σχήμα. Σε ξηρή βάση, σε φυλλοβόλα και κωνοφόρα το περιεχόμενο σε λιγνίνη κυμαίνεται από 20% σε 40% κατά βάρος, και σε ποώδη είδη από 10% ως 40% κατά βάρος.



**Σχήμα 2.4:** Χημική δομή ενδεικτικών συστατικών βιομάζας [4]

## 2.4 ΣΧΕΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

Πολλές διεργασίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή ενέργειας ή αέριων, υγρών και στερεών καυσίμων από βιομάζα, είτε φυσική είτε από απόβλητα. Είναι όμως προφανές ότι τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, κυρίως η περιεκτικότητα σε υγρασία και το ενεργειακό περιεχόμενο, μπορεί να καθορίσουν την επιλογή διεργασίας μετατροπής ειδών βιομάζας και απορριμματικής βιομάζας.

Στον Πίνακα 2.15 παρουσιάζεται μια σύνοψη των τροφοδοτικών υλικών σε σχέση με τις διεργασίες μετατροπής που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό της τεχνολογίας και του συστήματος καύσης βιομάζας. Υπάρχουν πολλοί αλληλεπιδρώντες παράγοντες και πιθανοί συνδυασμοί προϊόντων από την διεργασία τροφοδοσίας αποθεμάτων, οι οποίοι όμως δεν είναι εφαρμόσιμοι από πρακτικής απόψεως. Για παράδειγμα, ο διαχωρισμός των μικρών ποσοτήτων μετάλλων που βρίσκονται στη βιομάζα είναι τεχνικώς εφικτός, αλλά ενεργειακά ασύμφορος.

Η *περιεκτικότητα σε υγρασία* της δεδομένης βιομάζας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επιλογή της κατάλληλης διεργασίας μετατροπής. Το φύκος *Macrocyctis pyrifera* περιέχει ενδοκυτταρικό νερό 97 κ.β%, οπότε οι τεχνικές θερμικής αεριοποίησης, όπως η πυρόλυση και η υδρο-αεριοποίηση, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να προηγηθεί ξήρανση της άλγης. Η αναερόβια ζύμωση είναι προτιμότερη, καθώς τότε το νερό δεν είναι απαραίτητο να απομακρυνθεί. Το ξύλο, αντίθετα, μπορεί συχνά να υποστεί διεργασίες με τεχνικές διαφορετικών θερμικών μετατροπών χωρίς ξήρανση.

Σημαντικό είναι επίσης το μέγεθος των τεμαχιδίων και η διασπορά του μεγέθους. Ο σχεδιασμός κάποιων διεργασιών καθορίζει το εύρος τιμών αυτών των παραμέτρων για την βέλτιστη λειτουργία τους. Σε γενικές γραμμές, τα μικρότερα τεμαχίδια καίγονται γρηγορότερα και πληρέστερα κατά τη διεργασία καύσης. Τα μεγαλύτερα τεμαχίδια απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής στον θάλαμο καύσης σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

**Πίνακας 2.15:** Σύνοψη είδους καύσιμης ύλης και διεργασιών μετατροπής [4]

<b>Διεργασίες μετατροπής</b>		
ΦΥΣΙΚΕΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ	ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΕΣ/ ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ
Συμπύκνωση	Απανθράκωση	Αερόβια ζύμωση
Ξήρανση	Χημική υδρόλυση	Αναερόβια ζύμωση
Εκχύλιση (extraction)	Καύση	Βιοφωτόλυση
Διαχωρισμός	Διάσπαση	Κομποστοποίηση
Μείωση μεγέθους	Αφυδρογόνωση	Ενζυμική
	Μερική οξείδωση	
	Πυρόλυση	
	Αναμόρφωση ατμών	
<b>Είδος καύσιμης ύλης</b>		
ΕΔΑΦΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ	ΥΔΑΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ	ΑΠΟΡΡΙΜΑΜΑΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ
Λέντρα	Φυτά γλυκού νερού	Κτηνοτροφίας
Φυτά	Θαλάσσια φυτά	Λασική
Γρασίδι	Μικροφύκη	Βιομηχανική
		Αστική

Η περιεκτικότητα σε τέφρα είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τον τύπο της διεργασίας, καθώς μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα σε κάποιες φάσεις των διεργασιών μετατροπής. Για παράδειγμα, αν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από το σημείο τήξης των αλκαλο-μεταλλικών ενώσεων, σχηματίζονται συσσωματώματα στα αέρια καύσης που προσκολλούνται στην επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας, όταν τα αέρια εγκαταλείπουν τη ζώνη. Αυτό είναι ένα σοβαρό πρόβλημα στις διεργασίες καύσης, αλλά όχι στις διεργασίες αεριοποίησης. Η τέφρα, επίσης, σε θερμοκρασίες πάνω από κάποια τιμή τήκεται με αποτέλεσμα να δημιουργεί πρόβλημα η απομάκρυνση της από τον πυθμένα του θαλάμου [4].

Στον Πίνακα 2.16 παραθέτονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τροφοδοσίας που πρέπει να μελετώνται, όταν πρόκειται για το σχεδιασμό διαδικασιών μετατροπής για συγκεκριμένα είδη βιομάζας. Παρατηρείται ότι τα θρεπτικά συστατικά σχετίζονται με τις βιολογικές διεργασίες, ενώ η πυκνότητα με τις

φυσικές. Η αλληλεπίδραση του άνθρακα έχει νόημα για τη θερμική και τη χημική διεργασία.

Μια συγκεκριμένη διεργασία μπορεί επίσης να έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις από δεδομένους τύπους. Για παράδειγμα, η βιολογική αεριοποίηση και η αλκοολική ζύμωση είναι και οι δύο μικροβιολογικές διεργασίες μετατροπής, αλλά η ζωική κοπριά, η οποία έχει σχετικά μεγάλη βιο- αποδομησιμότητα (degradability), δεν είναι κατάλληλη ως τροφοδοτικό απόθεμα και στις δυο περιπτώσεις.

**Πίνακας 2.16:** Χαρακτηριστικά τροφοδοτικών που επηρεάζουν την καταλληλότητα της διεργασίας μετατροπής [4]

Χαρακτηριστικά	Τύπος διεργασίας			
	Φυσική	Θερμική	Βιοχημική-Μικροβιακή	Χημική
Περιεχόμενο νερού	X	X	X	X
Ενεργειακό περιεχόμενο	X	X		X
Μη εύφλεκτα υλικά	X	X	X	
Χημική σύσταση		X	X	X
Αλληλεπίδραση άνθρακα		X		X
Κύρια ανάλυση συστατικών	X	X	X	X
Πυκνότητα	X			
Μέγεθος/κατανομή μεγέθους	X	X	X	X
Βιο-αποδομησιμότητα			X	
Περιεχόμενο/τύπος οργανισμού			X	
Περιεχόμενο/ τύπος θρεπτικών			X	

Συνοψίζοντας, η επιλογή της κατάλληλης διεργασίας μετατροπής συγκεκριμένης βιομάζας παρουσιάζει δυσκολία. Τόσο οι ιδιότητες της βιομάζας, όσο και οι απαιτήσεις της διεργασίας απαιτούν προσεκτική μελέτη, τόσο σε συνδυασμό μεταξύ τους, αλλά και σε βάθος, ώστε να σχεδιαστεί ένα τεχνικά και οικονομικά εφαρμόσιμο και βιώσιμο σύστημα παραγωγής των επιθυμητών καυσίμων και ενεργειακών προϊόντων.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2<sup>ου</sup>**

- [1] COM 1997, *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy – White Paper for a Community Strategy and Action Plan*; (97) 599 final [http://europa.eu.int/comm/energy/library/599fi\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/library/599fi_en.pdf)
- [2] Ψωμάς Σ., «Ενέργεια, Περιβάλλον και επιχειρηματικότητα. Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο» Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου ανάπτυξης, Νοέμβριος 2003.
- [3] Shelly J.R., Beall F.C., Mockus Lubin D.E., 2000 “*Utilization Options for Woody Biomass*” University of California Forest Products Laboratory.
- [4] Klass, D. L., 1998, “*Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemical*”, Academic Press
- [5] BTG 1987: «*Biomass Thermochemical conversion to Energy*», UNIDO, Βιέννη.
- [6] Osmond, C.B. 1978 “*Ann. Rev. Plant Physiol*”. Vol 29, p379,
- [7] Richard N., Thunman H., 2002 ‘*General equations for Biomass Properties*’ [http://www.entek.chalmers.se/~heth/biofuel\\_properties\\_report.pdf](http://www.entek.chalmers.se/~heth/biofuel_properties_report.pdf)
- [8] Burlew D.S. 1953 ‘*Algae Culture from Laboratory to Pilot Plan*’, Publication no 600, Carnegie Institute of Washington, Washington D.C.
- [9] Hodgman, C.D., 1949 “*Handbook of Chemistry and Physics*,” 31<sup>st</sup> Ed., p.1535. Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, OH.,
- [10] <http://www.worldwatch.org/topics/>

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:**

#### *Τεχνολογίες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα*



### **3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: στα συστήματα «κορυφής» (topping systems) και στα συστήματα «βάσης» (bottoming systems).

#### **3.1.1 Συστήματα κορυφής**

Στα συστήματα κορυφής, παράγεται ηλεκτρισμός από ένα κύριο κινητήρα χρησιμοποιώντας ρευστό υψηλής θερμοκρασίας. Η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας [3].

Υπάρχουν 3 τύποι συστημάτων κύκλου κορυφής, τα οποία αναπτύσσονται αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου:

1. Σύστημα κορυφής συνδυασμένου κύκλου.
2. Ατμοστροβιλικό σύστημα κορυφής.
3. Αεριοστροβιλικό σύστημα κορυφής [2].

#### **3.1.2 Συστήματα κύκλου βάσης**

Στα συστήματα βάσης, παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ., σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων, εργοστασίων τσιμέντου κλπ) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό τα θερμά αέρια να διοχετευθούν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια, χωρίς την παρεμβολή λέβητα [3].

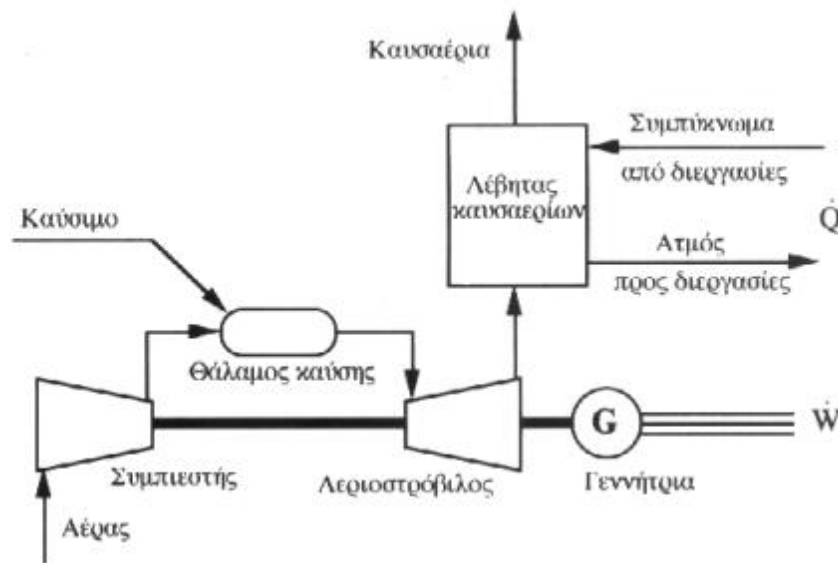
Είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένα από τα συστήματα αιχμής. Απαντώνται σε βαριές βιομηχανίες. Το καύσιμο καίγεται πρώτα κατά την παραγωγική διεργασία και έτσι δεν απαιτείται καμία πρόσθετη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## 3.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

### 3.2.1 Συστήματα αεριοστρόβιλου

#### 3.2.1.1 Ανοικτού κύκλου

Οι μονάδες ανοικτού κύκλου έχουν συχνή εφαρμογή. Πρόκειται για σύστημα που αποτελείται κυρίως από ένα συμπιεστή, ένα θάλαμο καύσης και έναν αεριοστρόβιλο (Σχήμα 3.1). Η ισχύς τέτοιων συστημάτων είναι 100kW-100MW.



**Σχήμα 3.1:** Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου [3]

#### Καύσιμο

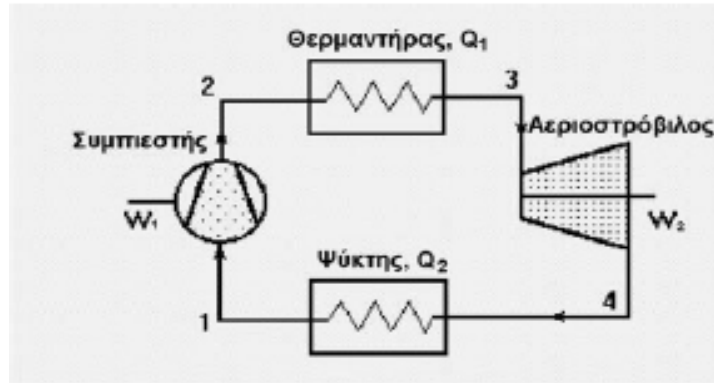
Τα συστήματα αυτά λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel) ή γαιάνθρακες σε εξευγενισμένη μορφή, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια που παράγονται π.χ κατά την καταλυτική σκάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου [3]. Καθώς δεν χρησιμοποιείται καύσιμο βιομάζα, δεν αναλύονται περαιτέρω.

#### 3.2.1.2 Κλειστού κύκλου

Στην περίπτωση αυτή το εργαζόμενο ρευστό είναι ήλιο ή αέρας που κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα χωρίς να συμμετέχει στην καύση, με αποτέλεσμα το ρευστό να διατηρείται καθαρό και αυτό παρέχει ευελιξία στη επιλογή του καυσίμου. Καθώς δε μετέχει στη καύση, αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης.

### Διεργασίες

Το ρευστό θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο και ψύχεται μετά την έξοδο του από αυτόν.

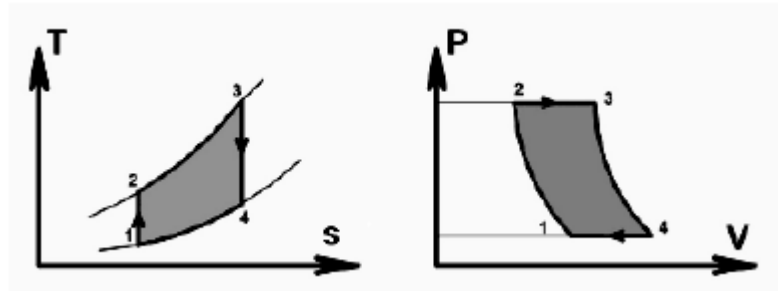


**Σχήμα 3.2:** Μονάδα αεριοστροβίλου κλειστού κύκλου [2]

Συμπιέζεται ο αέρας και εισάγεται μαζί με το καύσιμο στο θερμαντήρα όπου γίνεται η ανάφλεξη και η καύση. Τα αέρια διοχετεύονται στον αεριοστρόβιλο όπου και τον κινούν. Από την κίνηση παράγεται η ισχύς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλεκτρογεννήτρια αλλά και για την κίνηση του συμπιεστή. Τα αέρια περνούν μετά από ψύκτη για αξιοποίηση της υπολειπόμενης θερμότητας.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεριοστροβιλικών συστημάτων είναι ο κύκλος Brayton (ή Joule), όπου το εργαζόμενο μέσο διέρχεται από το στρόβιλο μόνο μια φορά. Οι θερμοδυναμικές διεργασίες του κύκλου Brayton περιλαμβάνουν την συμπίεση του αέρα, την εισαγωγή και ανάφλεξη του καυσίμου και την εκτόνωση των θερμών καυσαερίων μέσω του στρόβιλου. Η αναπτυσσόμενη ισχύς χρησιμοποιείται για την κίνηση του συμπιεστή και της ηλεκτρογεννήτριας (Σχήμα 3.2).

Η εισαγωγή και η απόρριψη της θερμότητας γίνεται υπό σταθερή πίεση και για αυτό ο κύκλος λέγεται και κύκλος σταθερής πίεσης. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι διεργασίες του κύκλου σε διαγράμματα T-s και P-V.



**Σχήμα 3.3:** Διαγράμματα T-s και P-V του κύκλου Brayton [2]

Αναλυτικά:

1-2: ισοεντροπική συμπίεση

2-3: θέρμανση υπό σταθερή πίεση

3-4: ισοεντροπική εκτόνωση

4-1: αποβολή θερμότητας υπό σταθερή πίεση [2]

#### Παραγόμενο Έργο και ισχύς

Το εισαγόμενο έργο στον κύκλο (συμπιεστής)  $W_1$  και το παραγόμενο έργο από τον κύκλο (στροβίλος)  $W_2$  είναι:

$$W_1 = m (h_2 - h_1) \quad \text{και} \quad W_2 = m (h_3 - h_4)$$

όπου  $m$  είναι η παροχή μάζας στον κύκλο,  $h_2$  και  $h_3$  η ενθαλπία των καυσαερίων στην είσοδο του συμπιεστή και του στροβίλου αντίστοιχα, ενώ  $h_1$  και  $h_4$  η ενθαλπία των καυσαερίων στην έξοδο του συμπιεστή και του στροβίλου, αντίστοιχα [2].

Η ισχύς τέτοιων συστημάτων κυμαίνεται από 2-50MW, αλλά λειτουργεί περιορισμένος αριθμός μονάδων, κυρίως σε Ευρώπη και Ιαπωνία [3].

#### Βαθμός απόδοσης

Στα συστήματα κλειστού κύκλου ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι περίπου 60-80% [1].

#### Καύσιμο

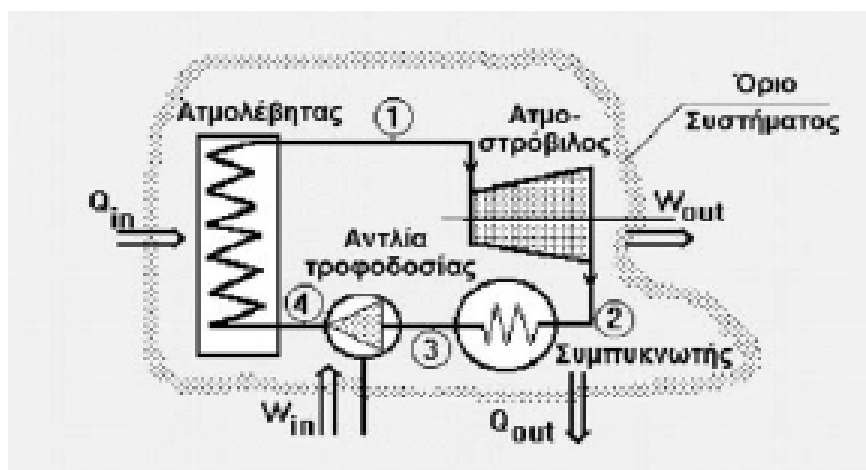
Λόγω του ότι το εργαζόμενο ρευστό διατηρείται καθαρό κατά τη λειτουργία του συστήματος, επιτρέπεται η χρησιμοποίηση οποιουδήποτε καυσίμου (άνθρακα, βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα κλπ). Πηγή θερμότητας μπορεί επίσης να αποτελέσει πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια [3].

### 3.2.2. Συστήματα ατμοστρόβιλου

#### Διεργασίες

Τα συστήματα ατμοστρόβιλων απαιτούν μια πηγή ατμού υψηλής πίεσης που παράγεται σε ατμολέβητα ή ατμοπαραγωγό ανάκτησης θερμότητας. Ο ατμός εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ηλεκτρογεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Ο ατμοστρόβιλος μπορεί να αποτελείται από πολλές βαθμίδες, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να οριστεί με την ανάλυση της εκτόνωσης του ατμού από μια υψηλότερη σε μια χαμηλότερη πίεση.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος του ατμοστρόβιλου είναι ο κύκλος Rankine, παρόλο που εφαρμόζονται και κάποιοι άλλοι, όπως οι κύκλοι αναθέρμανσης και αναγέννησης, και ο συνδυασμένος κύκλος. Ο κύκλος Rankine είναι ο βασικός κύκλος των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και συνίσταται κατ' αρχήν από μια πηγή θερμότητας (λέβητας) που μετατρέπει νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός ρέει μέσα από το στρόβιλο και παράγει μηχανική ισχύ, και μπορεί να είναι υγρός, ξηρός κορεσμένος ή υπέρθερμος. Όταν εξέρχεται από τον στρόβιλο συμπυκνώνεται και επιστρέφει στο λέβητα για να επαναληφθεί η διαδικασία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4.

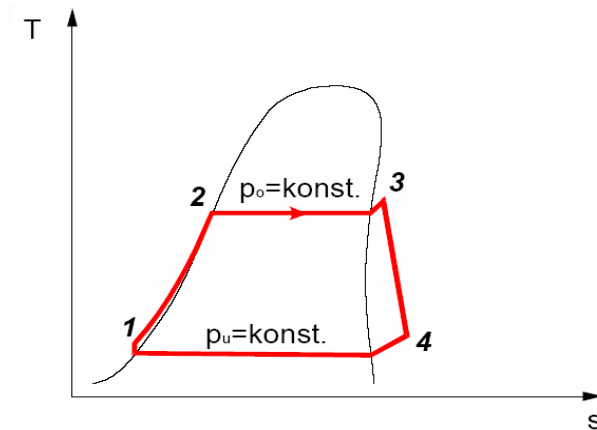


**Σχήμα 3.4:** Στάδια ολοκληρωμένου συστήματος ατμοστρόβιλου [2]

Ουσιαστικά το καύσιμο καίγεται σε λέβητα για να θερμάνει το νερό και να το μετατρέψει σε ατμό. Το  $Q_{in}$  είναι η θερμότητα από την καύση, που στον ατμολέβητα μετατρέψει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός οδηγείται στον ατμοστρόβιλο που παράγεται έργο (ηλεκτρική ενέργεια) ενώ στη συνέχεια συμπυκνώνεται (θερμική ενέργεια), υγροποιείται και τροφοδοτεί ξανά το σύστημα (κατανάλωση  $W$ ).

Ο κύκλος Rankine αντιστοιχεί σε μια θερμική μηχανή με κύκλο ισχύος ατμού. Το πιο κοινό εργαζόμενο μέσο είναι το νερό. Ο κύκλος συνιστάται από τέσσερις διεργασίες (βλ. Σχήμα 3.5):

- 1 έως 2: Ισεντροπική εκτόνωση (ατμοστροβίλος).
- 2 έως 3: Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση (συμπυκνωτής).
- 3 έως 4: Ισεντροπική συμπίεση (αντλία).
- 4 έως 1: Θέρμανση υπό σταθερή πίεση (λέβητας).



**Σχήμα 3.5:** Διάγραμμα T-s του κύκλου Rankine [2]

#### Παραγόμενο Έργο και ισχύς

Το παραγόμενο έργο του κύκλου (ατμοστροβίλος)  $W_1$  και το εισαγόμενο έργο στον κύκλο (αντλία)  $W_2$  είναι αντίστοιχα:

$$W_1 = m(h_1 - h_2) \quad \text{και} \quad W_2 = m(h_4 - h_3)$$

με  $m$  την παροχή μάζας του κύκλου,  $h_1$  και  $h_4$  την ενθαλπία των καυσαερίων στην είσοδο του ατμοστροβίλου και της αντλίας αντίστοιχα, ενώ  $h_2$  και  $h_3$  η ενθαλπία των καυσαερίων στην έξοδο του ατμοστροβίλου και της αντλίας αντίστοιχα.

Το ωφέλιμο έργο του κύκλου είναι:  $W = W_1 - W_2$ , [2].

Τα συστήματα ατμοστροβίλου είναι κατάλληλα για ισχείς 500kW-100MW [3].

#### Βαθμός απόδοσης

Ο ολικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται στο 60-85% και δε μειώνεται σημαντικά στο μερικό φορτίο [1]. Είναι καλή απόδοση, σε σύγκριση με το βαθμό απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού που κυμαίνεται στο 35% [3].

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης<sup>2</sup> είναι σχετικά χαμηλός (20%), με συνέπεια τα συστήματα αυτά να εμφανίζουν μικρό λόγο ισχύος προς θερμότητα. Αύξηση του ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης επιτυγχάνεται με αύξηση της πίεσης και θερμοκρασίας του ατμού στην είσοδο του ατμοστροβίλου [1].

Η παρουσία σταγονιδίων στον ατμό μειώνει την απόδοση του στροβίλου και προκαλεί τη φυσική διάβρωση των πτερυγίων [2].

### Καύσιμο

Τα συστήματα ατμοστροβίλου μπορούν να χρησιμοποιήσουν τόσο ορυκτά και μη ανανεώσιμα καύσιμα (γαιάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), όσο και ανανεώσιμα (βιομάζα) [2]. Μπορεί να γίνει καύση και στερεών αποβλήτων σε ειδικούς λέβητες, αρκεί να είναι εφοδιασμένοι με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση [3].

### Χαρακτηριστικά

Τα συστήματα ατμοστροβίλου είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής. Εμφανίζουν υψηλή αξιοπιστία (έως 95%), υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη) [1]. Ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος (12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι 3 έτη για μεγαλύτερα συστήματα) [3], ενώ το κόστος εγκατάστασης είναι σχετικά υψηλό [1].

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστροβίλο που χρησιμοποιούν βιομάζα ως καύσιμο περιγράφονται από 2 βασικές διατάξεις: τα συστήματα με ατμοστροβίλο αντίθλιψης και απομάστευσης.

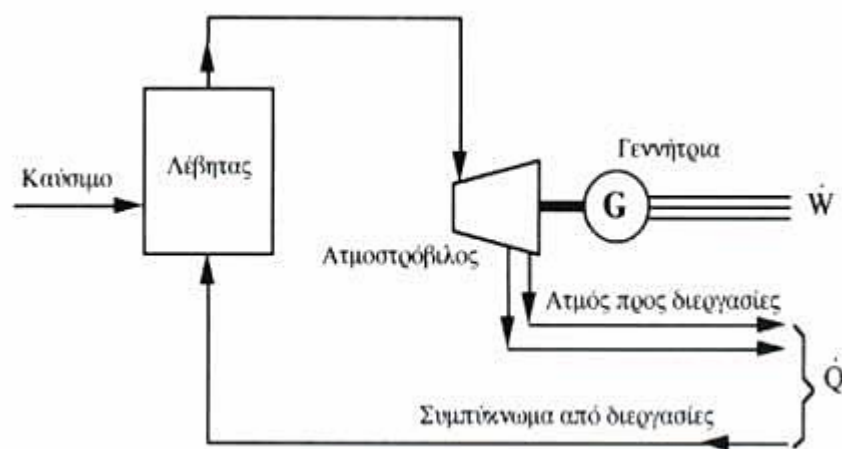
Υπάρχουν και τα συστήματα με ατμοστροβίλο σε κύκλο βάσης, τα οποία χρησιμοποιούν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας (κυρίως από χαλυβουργεία, υαλουργεία εργοστάσια τσιμέντου και βιομηχανίες) για ανάκτηση θερμότητας και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά δεν αναπτύσσονται στη παρούσα εργασία καθώς δεν αφορούν καύσιμο βιομάζα.

---

<sup>2</sup> Ηλεκτρική απόδοση = καθαρή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια/θερμική ενέργεια εισροής (input)

### 3.2.2.1. Συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης

Στα συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης, (Σχήμα 3.6) το καύσιμο εισάγεται σε λέβητα, όπου παράγεται ατμός υψηλής πίεσης (20-100bar) και θερμοκρασίας (480-540°C). Ο ατμός εκτονώνεται σε ατμοστρόβιλο, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ο παραγόμενος ατμός κατά την εξαγωγή από το στρόβιλο, είναι σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κατάλληλες για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος «αντίθλιψη» οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20bar) [1,3].



**Σχήμα 3.6:** Σύστημα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης [3]

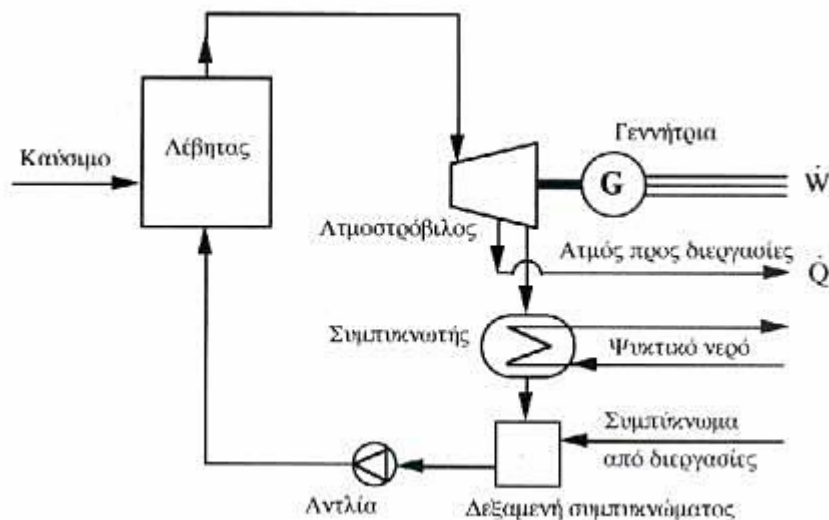
Στο Σχήμα 3.6 υπάρχουν δύο βέλη εξόδου ατμού προς διεργασίες γιατί είναι δυνατή η εξαγωγή μέρος του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις.

Τα συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης έχουν συνολικό βαθμό απόδοσης μέχρι και 85%, αν το σύνολο της θερμότητας του ατμού χρησιμοποιείται ωφέλιμα. Η τιμή του λόγου ισχύος προς θερμότητα παραμένει σχεδόν σταθερή, κατά τη μεταβολή φορτίου [1].



### 3.2.2.2. Συστήματα με ατμοστροβίλο απομάστευσης

Στα συστήματα με ατμοστροβίλο απομάστευσης, (Σχήμα 3.7) μέρος του ατμού απομαστεύεται (εξάγεται), από μια ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή που είναι 0,05-0,10bar.



**Σχήμα 3.7:** Σύστημα ΣΗΘ με ατμοστροβίλο απομάστευσης [3]

Τα συστήματα με ατμοστροβίλο απομάστευσης εμφανίζουν μειωμένο ολικό βαθμό απόδοσης (έως 80%), λόγω της αποβολής θερμότητας στο συμπυκνωτή [1].

### 3.2.2.3. Σύγκριση συστημάτων ατμοστροβίλου αντίθλιψης- απομάστευσης

Στα συστήματα αντίθλιψης είναι απαραίτητη η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση της πιθανής περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιθέτως, τα συστήματα ατμοστροβίλου απομάστευσης έχουν το πλεονέκτημα της δυνατότητας ανεξάρτητης λειτουργίας του ατμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θέρμανσης. Στον Πίνακα 3.1 αναγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας.

Πίνακας 3.1. Σύγκριση συστημάτων απομάστευσης και αντίθλιψης

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<i>Συστήματα απομάστευσης</i>	
✓ δυνατότητα ρύθμισης της σχέσης παραγόμενης ηλεκτρικής-θερμικής ισχύος	✓ πιο σύνθετη κατασκευή ✓ μεγαλύτερο κόστος ✓ χαμηλότερο βαθμό απόδοσης
<i>Συστήματα αντίθλιψης</i>	
✓ πιο απλή μορφή, ✓ μικρότερο κόστος, ✓ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης ✓ μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη ψυκτικού νερού	✓ η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι στενά συνδεδεμένη με την παραγόμενη θερμότητα

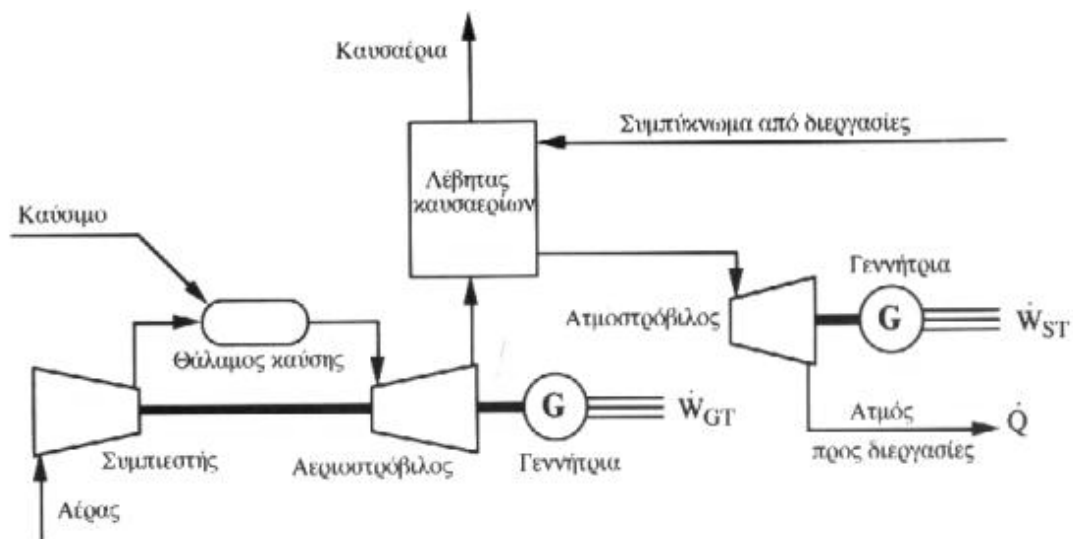
Υπάρχουν επίσης τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης, αλλά δεν χρησιμοποιούν καύσιμο βιομάζα, οπότε και δεν αναφέρονται αναλυτικά.

### 3.2.5. Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

#### Διεργασίες

Στην περίπτωση συστημάτων συνδυασμένου κύκλου λειτουργούν δύο θερμοδυναμικοί κύκλοι διαφορετικών θερμοκρασιών, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με το εργαζόμενο ρευστό. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον ολικό βαθμό απόδοσης [1,3].

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου συνδυάζουν αεριοστρόβιλο – ατμοστρόβιλο (κύκλοι Joule – Rankine) (Σχήμα 3.8). Ένας άλλος πιθανός συνδυασμός είναι των κύκλων Diesel –Rankine. Η διάταξη είναι παρόμοια με αυτή του Σχήματος 3.8, όπου η μονάδα συμπίεστη – θαλάμου καύσης – αεριοστροβίλου αντικαθίσταται από τον κινητήρα Diesel και τους εναλλάκτες θερμότητας που τον συνοδεύουν [3].



**Σχήμα 3.8:** Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης [3]

#### Παραγόμενη ισχύς

Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται συνήθως στα 20-400MW, ενώ κατασκευάζονται και μικρότερες μονάδες τις τάξεως των 4-11MW. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστρόβιλου (Joule) ή ατμοστρόβιλου (Rankine).

Αύξηση της ισχύος του συστήματος επιτυγχάνεται με την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα των καυσαερίων, οπότε τα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου αποκτούν υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου (περίπου 17%). Ως εκ τούτου, με την συμπληρωματική καύση αυξάνεται και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος, αλλά αυξάνεται και η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης [1,3].

#### Βαθμός απόδοσης

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται μεταξύ 35-45%, ενώ ο ολικός μεταξύ 70-88% και είναι μεγαλύτερος των απλών κύκλων ατμοστρόβιλου και αεριοστρόβιλου [1].

#### Κάυσιο

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια με αυτά των συστημάτων αεριοστρόβιλου για τους ίδιους λόγους (άνθρακας, βιομηχανικά ή αστικά απόβλητα, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα κλπ).

### Χαρακτηριστικά

Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων αυτών είναι 2-3 έτη. Είναι δυνατή η ολοκλήρωση της εγκατάστασης σε δύο στάδια: γίνεται πρώτα εγκατάσταση της μονάδας αεριοστροβίλου, η οποία χρειάζεται χρόνο 12-18 μήνες, και ενώ αυτή λειτουργεί, συμπληρώνεται το σύστημα με τη μονάδα ατμοστροβίλου [3].

Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85%, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77-85% και ο οικονομικά βιώσιμος χρόνος ζωής 15-25 έτη [3,1].

### **3.2.6. Συστήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης**

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι από τις πιο διαδεδομένες και αποδοτικές κύριες πηγές ενέργειας για συμπαραγωγή. Εμπορικά είναι διαθέσιμοι διάφοροι τύποι μηχανών, αλλά περισσότερη σημασία σε στατικές μορφές ηλεκτροπαραγωγής έχουν οι τετράχρονοι μηχανές με σπινθηριστή (που εκφράζονται από τον θερμοδυναμικό κύκλο Otto) και οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση (που εκφράζονται από τον θερμοδυναμικό κύκλο Diesel).

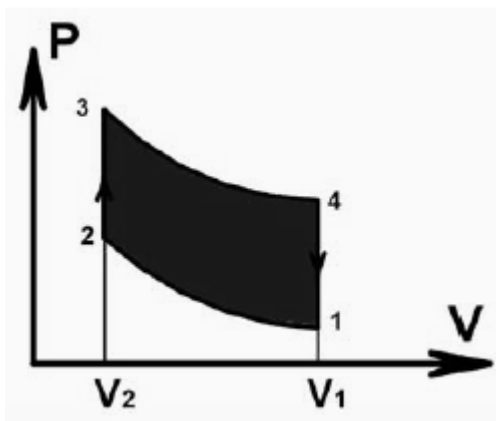
### Διεργασίες

Τα κύρια μηχανικά μέρη των μηχανών Otto και Diesel είναι ίδια: χρησιμοποιείται ένας κυλινδρικός θάλαμος καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα κατάλληλα εφαρμοσμένο έμβολο. Το έμβολο συνδέεται σε έναν στροφαλοφόρο άξονα που μετασχηματίζει τη γραμμική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Οι περισσότερες μηχανές διαθέτουν πολλαπλούς κυλίνδρους που κινούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Τόσο οι μηχανές κύκλου Otto, όσο και οι τετράχρονοι μηχανές Diesel ολοκληρώνουν έναν κύκλο λειτουργίας σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο. Οι κινήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

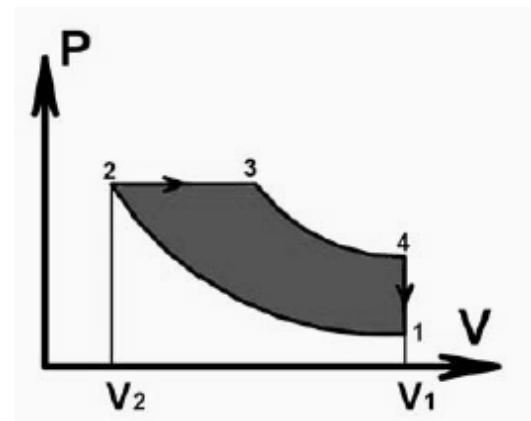
1. εισαγωγή του αέρα (ή του μίγματος αέρα-καυσίμου) στον κύλινδρο,
2. συμπίεση με καύση του καυσίμου,
3. επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης (κίνηση ισχύος),
4. αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο [2].

Η κύρια διαφορά μεταξύ των κύκλων Otto και Diesel είναι η μέθοδος της καύσης του καυσίμου. Στις μηχανές Otto, αέρας και καύσιμο αναμιγνύονται και εισέρχονται στο θάλαμο καύσης, το μίγμα συμπιέζεται και αναφλέγεται με σπινθήρα. Μεταφέρεται μηχανική ενέργεια στο στρόφαλο, μετατρέπεται σε ηλεκτρική, ενώ θερμότητα μεταφέρεται στο ψυκτικό υγρό της μηχανής (90-120°C) και στα αέρια καύσης (400-900°C) [1]. Μια μηχανή Diesel συμπιέζει τον αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο σε υψηλή πίεση, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του στα επίπεδα της θερμοκρασίας ανάφλεξης του καυσίμου που εγχέεται υπό υψηλή πίεση [2]. Η ανάφλεξη γίνεται χωρίς σπινθήρα.

Στα Σχήμα 3.9 παρουσιάζονται σε διάγραμμα P-V οι θερμοδυναμικοί κύκλοι Otto, και Diesel. Στο κύκλο Otto η θέρμανση του αερίου γίνεται υπό σταθερό όγκο, ενώ στο κύκλο Diesel υπό σταθερή πίεση.



**Σχήμα 3.9:** Διάγραμμα P-V κύκλου Otto



Διάγραμμα P-V κύκλου Diesel [3]

Τα στάδια από τα οποία αποτελείται ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος Otto για τον αέρα είναι:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- 2 έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερό όγκο.
- 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- 4 έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο [2].

Τα στάδια ενός ιδανικού τυποποιημένου κύκλου Diesel για τον αέρα είναι:

- 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- 2 έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- 4 έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο [2].

### 3.3. ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

#### 3.3.1 Κυψέλες καυσίμου (fuel cells)

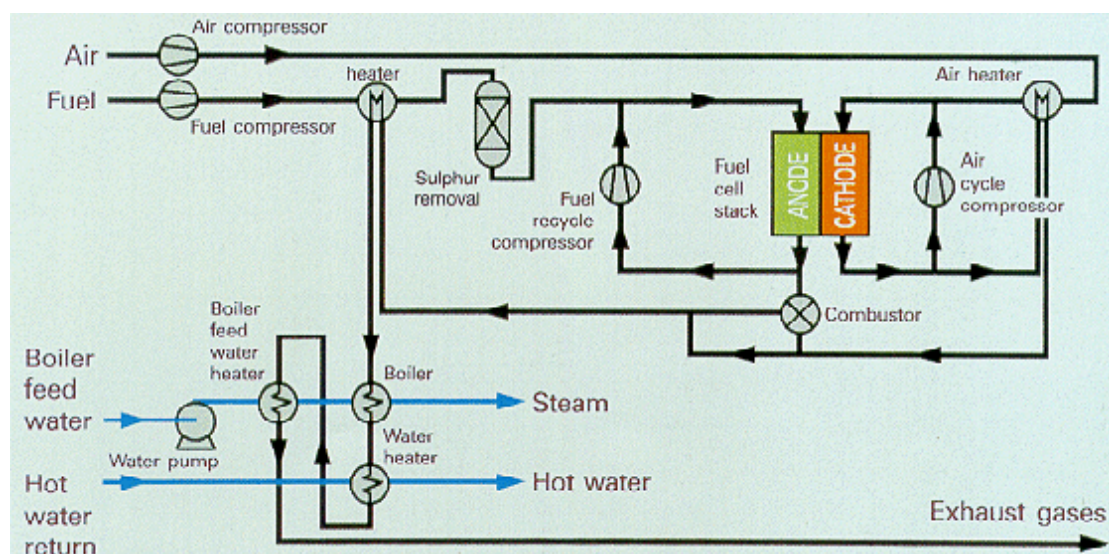
Οι κυψέλες (ή στοιχεία) καυσίμου είναι μηχανές που παράγουν θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια με ηλεκτροχημικές διεργασίες, μετατρέποντας την χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρισμό χωρίς καύση.

##### Διεργασίες

Οι βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι οι εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν, παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Η αντίδραση είναι εξώθερμη, οπότε η θερμότητα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα.

Το υδρογόνο που απαιτείται για την λειτουργία της μηχανής παράγεται συνήθως από μεθάνιο, που είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Υπάρχουν τύποι κυψελών που λειτουργούν με διοξείδιο του άνθρακα ή υδρογονάνθρακες.

Στο Σχήμα 3.10 παρουσιάζεται σχηματική απεικόνιση κυψέλης καυσίμων, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα στάδια των διεργασιών.



**Σχήμα 3.10:** Σχηματική απεικόνιση κυψελών καυσίμου [9]

### Εφαρμογές

Γενικά είναι μια τεχνολογία που βρίσκεται υπό έρευνα και ανάπτυξη. Δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη ακόμα, αλλά έχει καλές προοπτικές. Οι κυψέλες φωσφορικού οξέως είναι οι μόνες που έχουν αναπτυχθεί σε βαθμό ώστε να είναι κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και είναι εμπορικά διαθέσιμες. Σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία έχουν κατασκευαστεί μονάδες ισχύος 25kW-11MW. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (~200°C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας, αλλά έχουν κατασκευαστεί και τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής με θερμότητα που είναι διαθέσιμη σε θερμοκρασία 80-90 °C.

Είναι κατάλληλες για εφαρμογή στον βιομηχανικό και εμπορικό-κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο) [3].

### Βαθμός απόδοσης

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των διαθέσιμων κυψελών καυσίμου με ηλεκτρολύτη φωσφορικό οξύ είναι 35-45% και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Ο ολικός βαθμός φτάνει το 85-90% [1].

### Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Οι κυψέλες καυσίμου παρουσιάζουν τα εξής σημαντικά πλεονεκτήματα:

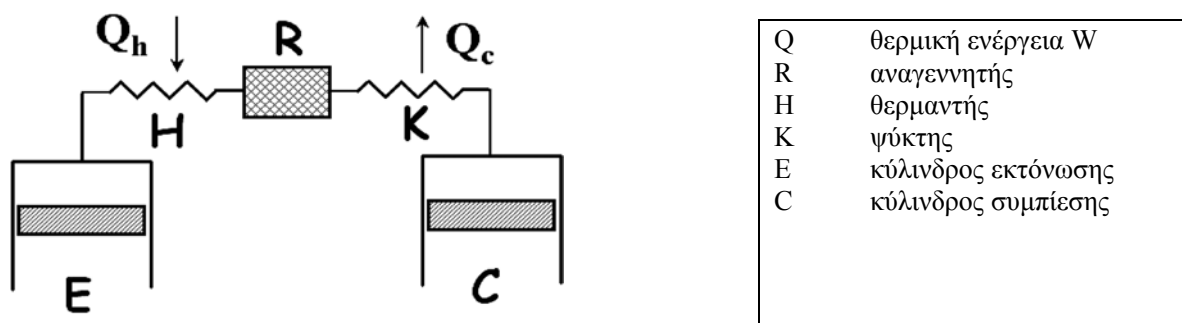
- αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ,
- διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο
- ευκολία αυτοματισμού,
- χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- χαμηλή στάθμη θορύβου.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> είναι κατά πολύ μικρότερες (10-100 φορές) από άλλων συστημάτων, χάρη στον υψηλό βαθμό απόδοσης και τα καθαρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται. Ειδικότερα, επειδή οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σημαντικά μικρότερες από εκείνες της καύσης, οι εκπομπές NO<sub>x</sub> είναι μικρότερες κατά μία τάξη μεγέθους από τις εκπομπές συστημάτων που στηρίζονται στην καύση. Αυτό, σε συνδυασμό με τη χαμηλή στάθμη θορύβου, κάνουν τις κυψέλες καυσίμου πιο κατάλληλες για εγκατάσταση και λειτουργία σε κατοικημένες περιοχές και σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία, και γενικά κτιριακές εγκαταστάσεις.

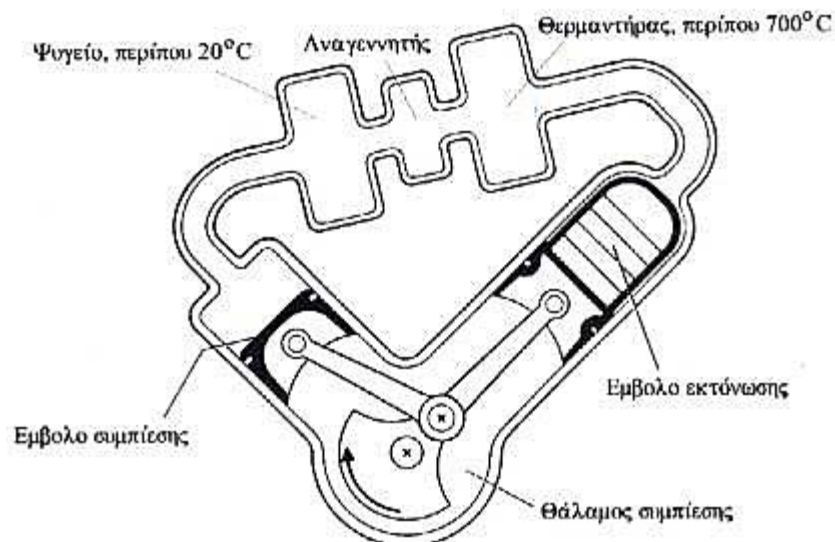
Τα μειονεκτήματα που συναντώνται και κωλύουν τη πλατιά διάδοσή τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής [3]. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά λειτουργούν προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης των συστημάτων αυτών.

### 3.3.2. Μηχανές θερμού αέρα: Stirling

Οι μηχανές θερμού αέρα είναι κατάλληλες για μικρής κλίμακας συμπαραγωγή, καθώς είναι σχετικά αθόρυβες και έχουν λίγες απαιτήσεις συντήρησης. Η μικρής κλίμακας ΣΗΘ δεν παρουσιάζει τόση ανάπτυξη όσο η μεγάλης και ένας από τους λόγους είναι η έλλειψη κατάλληλων τεχνολογικών συστημάτων, καθώς οι μηχανές εσωτερικής καύσης παράγουν υψηλά επίπεδα θορύβου και δονήσεις.



Σχήμα 3.11α



Σχήμα 3.11.β

**Σχήμα 3.11 α,β:** Απλοποιημένη απεικόνιση κινητήρα Stirling. α)σχηματικά, β)σχεδιαστικά [3]



Πρόκειται για τεχνολογία που, αν και σχετικά πρόσφατη, παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές, καθώς είναι πιο κατάλληλη για σχετικά μικρές παροχές ηλεκτρισμού (0,2-4kWe). Οι περισσότερες μηχανές που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι μικρής κλίμακας, ενώ θεωρείται από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες υπό ανάπτυξη.

#### Διεργασίες

Οι μηχανές Stirling είναι μηχανές εξωτερικής καύσης, και αυτή είναι μια βασική διαφορά τους από τις συμβατικές τεχνολογίες συμπαραγωγής, όπου το καύσιμο καίγεται μέσα στην μηχανή. Θερμότητα (680-780°C) παρέχεται από τον θερμαντήρα, όπου, θερμαίνει το εργαζόμενο μέσο (πχ ήλιο, υδρογόνο) το οποίο διαστέλλεται και στη συνέχεια εκτονώνεται σε κύλινδρο αναγκάζοντας το έμβολο εκτόνωσης να κινηθεί (εργαζόμενο έμβολο). Το έμβολο συμπίεσης μεταφέρει το αέριο σε κρύα ζώνη (25 – 75°C) όπου συμπιέζεται και στη συνέχεια, μεταφέρεται στον θερμαντήρα για να συνεχιστεί ο κύκλος [5]. *Ουσιαστικά το εργαζόμενο αέριο συμπιέζεται στο κρύο κύλινδρο και εκτονώνεται σε ζεστό κύλινδρο.*

#### Πλεονεκτήματα- μειονεκτήματα

Χάρη στην εξωτερική καύση και στον κλειστό κύκλο λειτουργίας, τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν εκτίθενται στα προϊόντα της καύσης με αποτέλεσμα οι φθορές να είναι περιορισμένες [3]. Παρουσιάζονται όμως άλλα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν όπως πχ στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών αερίου και λαδιού ή η ικανοποιητική διάρκεια ζωής των διατάξεων. Στην περίπτωση της βιομάζας ειδικότερα, τα προβλήματα που δημιουργούνται επικεντρώνονται στην μεταφορά θερμότητας από την καύση του καυσίμου στο εργαζόμενο αέριο. Λόγω υψηλών θερμοκρασιών και σχηματισμού τέφρας, και κατ' επέκταση σχηματισμού επικαθίσεων, δεν μπορεί να γίνει χρήση μηχανής σχεδιασμένης για φυσικό αέριο, αλλά χρειάζεται ειδικός σχεδιασμός για καύσιμο βιομάζα [6].

Η τεχνολογία δεν είναι ακόμα ικανοποιητικά αναπτυγμένη και διαδεδομένη, αλλά παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστροβίλων ή ατμοστροβίλων [3,5]:

- Δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης
- Μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου
- Καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο
- Χαμηλές εκπομπές ρύπων (νιτρικών, άκαυστων H/C και σωματιδίων)
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών

- Λιγότερα κινούμενα τμήματα με χαμηλές τριβές
- Δεν χρειάζεται επιπλέον καυστήρας
- Κατάλληλη για μαζική παραγωγή
- Δυνατότητα ελέγχου της ηλεκτρικής παροχής (με έλεγχο της θερμοκρασίας του θερμαντήρα), ανεξάρτητα από την θερμική παροχή

### Καύσιμα

Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διαφόρων καυσίμων: υγρά ή αέρια καύσιμα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα, ακόμη και απορρίμματα. Επιπλέον, είναι δυνατή η αλλαγή καυσίμου χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα. Χάρη στην ευελιξία τους, οι μηχανές Stirling μπορούν επίσης να αποτελέσουν στοιχεία ηλιακών ή πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ή συμπαραγωγής [3].

### Βαθμός απόδοσης

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται γύρω στο 40% και ο ολικός από 60-80% [1].

### **3.3.3 Organic Rankine Cycle (ORC)**

Το σύστημα ORC είναι παρόμοιο με το συμβατικό σύστημα ατμοστροβίλου, ακολουθεί τη διεργασία κύκλου Rankine, με τη διαφορά ότι το υγρό που εισέρχεται στο στρόβιλο είναι οργανικό ρευστό υψηλής μοριακής μάζας (πχ τολουένιο). Το ρευστό επιτρέπει την αποδοτική αξιοποίηση πηγής θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε ένα μεγάλο εύρος εξερχόμενης ισχύος (από λίγα kW έως 3MW ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα).

### Διεργασίες

Το οργανικό ρευστό προθερμαίνεται και εξατμίζεται χρησιμοποιώντας την θερμότητα θερμής πηγής στον συμπυκνωτή. Οι ατμοί εκτονώνονται στον στρόβιλο και στη συνέχεια συμπυκνώνονται χρησιμοποιώντας κρύο νερό στον εναλλάκτη θερμότητας «shell-and-tube» (εναλλακτικά, ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψύξη). Οι υδρατμοί μεταφέρονται με αντλία πίσω στον συμπυκνωτή, όπου αποκτάνε την ανάλογη

πίεση κλείνοντας έτσι τον θερμοδυναμικό κύκλο. Η συμπύκνωση του εργαζόμενου μέσου γίνεται σε τέτοια επίπεδα θερμοκρασίας, ώστε η θερμότητα που ανακτάται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν θερμότητα άμεσα για άλλες διεργασίες (το ζεστό νερό πχ δίνει θερμοκρασίες 80-100°C). Οι πηγές θερμότητας και ψύξης δεν είναι σε άμεση επαφή με το εργαζόμενο ρευστό ή με τον στροβίλο. Σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας (πχ συμπαραγωγή με φυτική βιομάζα) χρησιμοποιείται θερμαντικό έλαιο υψηλής θερμοκρασίας (thermal oil) για τη μεταφορά θερμότητας, ενώ τοποθετείται σύστημα ανάκτησης θερμότητας (regenerator) κατάντη του στροβίλου, για περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης του κύκλου [4, 6].

Για να επιτευχθεί υψηλή ηλεκτρική απόδοση πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η θερμοκρασία που απαιτείται για απευθείας θέρμανση στον συμπυκνωτή (περίπου 80°C θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας και τον έλεγχο του δικτύου άμεσης θέρμανσης (ώστε η απαραίτητη θερμοκρασία νερού τροφοδοσίας να είναι στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα), καθώς και με τη βελτιστοποίηση της υδραυλικής ενοποίησης του ORC με το δίκτυο άμεσης θέρμανσης. Για να γίνει αυτό, το ORC πρέπει να συνδέεται απευθείας με την επιστροφή του δικτύου απευθείας θέρμανσης, ενώ η χαμηλή θερμοκρασία του νερού τροφοδοσίας επιτυγχάνεται με την χωροθέτηση του συστήματος παροχής ζεστού νερού κατάντη του ORC. Με αυτό τον τρόπο, το ORC μπορεί να λειτουργεί με την ελάχιστη θερμοκρασία (80°C) νερού τροφοδοσίας όλο το έτος, σε αντίθεση με τους 90-95°C που απαιτείται συνήθως το χειμώνα [6].

#### Εφαρμογές

Τέτοια συστήματα έχουν εφαρμογή σε γεωθερμικές μονάδες χαμηλής ενθαλπίας, (μέχρι 3 MW ανά μονάδα), μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα ισχύος 400-1500kW, ηλιακές εφαρμογές και εφαρμογές ανάκτησης θερμότητας (400-1500 kW).

#### Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

Τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι:

- Υψηλή απόδοση κύκλου
- Πολύ υψηλή απόδοση στροβίλου (μέχρι 85%)
- Χαμηλή μηχανική πίεση του στροβίλου λόγω της χαμηλής περιφερειακής ταχύτητας
- Χαμηλή περιστροφή/ λεπτό του στροβίλου που επιτρέπει την άμεση κίνηση της ηλεκτρικής γεννήτριας

- Έλλειψη διάβρωσης των πτερυγίων, λόγω της έλλειψης υγρασίας στα ακροφύσια υδρατμών
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας, καθώς δεν υπάρχουν απώλειες στο εργαζόμενο μέσο, λόγω του κλειστού κύκλου
- Δεν απαιτείται χειριστής
- Χαμηλές εκπομπές θορύβου

Άλλα πλεονεκτήματα είναι η απλή λειτουργία έναρξης –λήξης (start – stop), χαμηλός θόρυβος, καλή λειτουργία με μερικό φορτίο, ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης. Σε γεωθερμικές εφαρμογές, η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι πάνω από είκοσι χρόνια, ενώ το εργαζόμενο μέσο (silicon oil) μπορεί να διαρκέσει όσο λειτουργεί το σύστημα, καθώς δεν υφίσταται σχετική γήρανση [4,6,7].

### **3.3.4 Άλλες τεχνολογίες υπό έρευνα και ανάπτυξη**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες τεχνολογίες υπό έρευνα και ανάπτυξη που δεν έχουν ακόμα πραγματική εφαρμογή, ή είναι υπό παρακολούθηση.

#### Air Bottoming Cycle (ABC)

Η διεργασία αυτή συνιστάται από ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου, όπου η θερμότητα από τα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιείται ως πηγή θερμότητας σε άλλο στρόβιλο. Αυτή η διάταξη αυξάνει το παραγόμενο ηλεκτρισμό κατά 25% περίπου, ενώ μειώνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> κατά 25% σε σχέση με το μονό αεριοστρόβιλο. Η τεχνολογία αυτή έχει ως σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή της το υψηλό κόστος εγκατάστασης της μονάδας, και αυτός ο τομέας είναι υπό έρευνα [8].

#### Evaporative gas turbine (εξατμιστικός αεριοστρόβιλος)

Στη διεργασία αυτή (EvGT) νερό προστίθεται στον αεριοστρόβιλο σε συσκευή ύγρανσης πριν την καύση. Το σύστημα αποτελείται από τον αεριοστρόβιλο, τη συσκευή ύγρανσης, συσκευή ανάκτησης και συμπυκνωτή με αγωγό θερμού αέρα. Το κόστος μιας τέτοιας μονάδας είναι περίπου κατά 30% μικρότερο από

μια συμβατική μονάδα συνδυασμένου κύκλου, καθώς δεν χρειάζονται ο ατμοστρόβιλος, ο συμπυκνωτής ατμού και συναφή αξεσουάρ και σωλήνες που έχουν υψηλό κόστος. Η τεχνολογία αναμένεται να είναι διαθέσιμη για εμπορικούς σκοπούς το 2010 [8].

#### Αεριοστρόβιλος εξωτερικής καύσης

Στην περίπτωση αυτή γίνεται αντικατάσταση του θαλάμου καύσης από έναν εναλλάκτη θερμότητας. Η καύση γίνεται σε εξωτερικό λέβητα (πχ σε ρευστοποιημένη κλίνη), οπότε το εργαζόμενο ρευστό είναι απόλυτα καθαρό, γεγονός που ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διάβρωσης των περυγίων του αεριοστρόβιλου. Υπάρχουν κάποιες μονάδες σε λειτουργία, αλλά απαιτείται επιπλέον έρευνα όσον αφορά τη χρήση των εναλλάκτων θερμότητας για υψηλές θερμοκρασίες. Για εφαρμογές μικρής κλίμακας εκτιμάται ότι η τεχνολογία θα είναι διαθέσιμη το 2010 [8].

#### Αεριοστρόβιλος κονιοποιημένης ξυλείας.

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ξυλεία σε μορφή σκόνης ως καύσιμο για τον αεριοστρόβιλο. Παρουσιάζει προβλήματα οξείδωσης, διάβρωσης και επιστρώσεων στα περύγια του στρόβιλου.

#### Μηχανή καύσης κονιοποιημένου καυσίμου

Στην περίπτωση αυτή κονιοποιημένη ξυλεία χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μηχανή diesel. Η τεχνολογία είναι υπό έρευνα σε μονάδα στη Σουηδία, όπου τα πρώτα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά [8].

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3<sup>ου</sup>

- [1] ΚΑΠΕ, 1996 «Διερεύνηση δυνατοτήτων αξιοποίησης βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ», Τόμος Α, Δεκέμβριος
- [2] ΚΑΠΕ, ΖΡΕΥ, «Οδηγός συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας», Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφορών, Ευρωπαϊκή Επιτροπή.  
[http://www.cres.gr/kape/pdf/download/chp\\_1.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/download/chp_1.pdf)
- [3] Φραγκόπουλος Χ.Α., Καρυδογιάννης Η.Π., Καραλής Γ.Κ., 1994 «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας», εκδ. ΕΛΚΕΠΑ στα πλαίσια Ευρωπαϊκού Προγράμματος SAVE της Ευρωπαϊκής Επιτροπής / ΓΔ XVII Ενέργειας, Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Ε.Σ.Σ.Η.Θ.) <http://www.hachp.gr/>
- [4] Bini R., Manciana E., 1996 “Organic Rankine Cycle turbogenerators for combined heat and power production from biomass”, 3<sup>rd</sup> Munich Discussion Meeting “Energy Conversion from Biomass Fuels Current Trends and Future Systems”, 22-23 October, Munich, Germany [www.turboden.it/public/96A00412.pdf](http://www.turboden.it/public/96A00412.pdf)
- [5] EDUCOGEN, 2001 “A guide to cogeneration”,  
[www.cogen.org/Downloadables/Projects/EDUCOGEN\\_Cogen\\_Guide.pdf](http://www.cogen.org/Downloadables/Projects/EDUCOGEN_Cogen_Guide.pdf)
- [6] Obernberger I., Carlsen H., Biedermann F., 2003 “State-of-the art and future developments regarding small-scale biomass CHP systems with a special focus on ORC and Stirling engine technologies”, International Nordic Bioenergy Conference.
- [7] Obernberger I., 2000 “Biomass CHP plant based on an ORC process -realised EU-demonstration project inAdmont/Austria” Meeting of IEA Bionergy, TASK 19 “Biomass Combustion“, 6 – 8th December, Broadbeach, Australia  
[www.bios-bioenergy.at/bios01/downloads/orcpresentation.pdf](http://www.bios-bioenergy.at/bios01/downloads/orcpresentation.pdf)
- [8] Kirjavainen M., Sipila K., Alakangas E., Savola T., Salomonson M., 2004 “Small-scale biomass CHP technologies” OPET Report 12, European Commission Contract NNE5/2002/52: OPET CHP/DH Cluster. VTT Processes, Helsinki University of Technology, Royal Institute of Technology (Sweden).
- [9] [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/atlas/htmlu/hpfcover.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/hpfcover.html)

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:**

*Συμπαραγωγή με καύσιμο βιομάζα στην Ευρώπη*

#### 4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η κατάσταση σε θέματα συμπαραγωγής στην Ευρώπη συνεχώς μεταβάλλεται. Η ΕΕ έχει θέσει ως στόχο τη συμμετοχή της ΣΗΘ στην παραγωγή ενέργειας κατά 18% το 2010 (από 9% το 1997) [14]. Η συμπαραγωγή στην Ευρώπη τα τέλη της δεκαετίας του 1990 είχε περιορισμένη εφαρμογή σε σχέση με τα πλεονεκτήματα και τις δυνατότητες της.

Έτσι, διοργανώθηκε ένα δίκτυο, το *COGEN*, [17] με σκοπό να συγκεντρώσει και να παρέχει τεχνολογικά και οικονομικά στοιχεία σε σχέση με τις προοπτικές της ΣΗΘ στην Ευρώπη. Διεξάγονται ποικίλες μελέτες σε συνεργασία με τοπικούς φορείς από τις χώρες. Ο βασικός στόχος των μελετών και ερευνών είναι:

- η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης και της ενεργειακής πολιτικής στις χώρες
- οι μεταβολές και προσαρμογή της πολιτικής αυτής στα νέα ευρωπαϊκά ενεργειακά δεδομένα
- η καταγραφή των διαθέσιμων πηγών βιομάζας και
- η προώθηση και ανάπτυξη των τεχνολογιών συμπαραγωγής.

Το δίκτυο έχει ήδη εκπονήσει 16 μελέτες, ενώ εννιά επιπλέον προγράμματα είναι σε εξέλιξη

##### **4.1.1 Στόχοι της εφαρμογής συστημάτων συμπαραγωγής στην Ε.Ε.**

Η ΕΕ αποσκοπεί στην αύξηση της συμμετοχής στην ΣΗΘ στα ενεργειακά δεδομένα (ξεκινώντας από το 2000). Οι στόχοι αναλυτικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Η επίτευξη των στόχων αυτών προϋποθέτει αλλαγές στην ενεργειακή αγορά και στις υποδομές.



**Πίνακας 4.1.** Στόχοι της Ε.Ε. για την μελλοντική συμμετοχή της ΣΗΘ

2010	2020
Σχεδόν διπλασιασμός της ολικής παραγωγικής ικανότητας από 74 GWe σε 135 GWe	Σχεδόν τριπλασιασμό της ολικής παραγωγικής ικανότητας σε 195 GWe
Μείωση των εκπομπών CO <sub>2</sub> κατά 127 εκατ τόνους	Μείωση των εκπομπών CO <sub>2</sub> κατά 268 εκατ τόνους
Εγκατάσταση μονάδων συμπαραγωγής από βιομάζα ισχύος 11 GWe	Εγκατάσταση επιπλέον μονάδων συμπαραγωγής από βιομάζα ισχύος 8 GWe
	Ανάπτυξη των μονάδων μικρής κλίμακας, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν μέχρι και το 30% της παραγωγικής ικανότητας
	Παροχή 22% του παραγόμενου ηλεκτρισμού

#### 4.1.2 Εμπόδια για την εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ

Οι βασικοί οι οικονομικοί και ρυθμιστικοί παράγοντες που δεν ευνοούν στην εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ στο άμεσο μέλλον είναι [3]:

- ο *Οικονομικό ρίσκο των επενδύσεων ΣΗΘ* που είναι σημαντικός κατασταλτικός παράγοντας.
- ο *Αβεβαιότητα στην βιομηχανία* της συμπαραγωγής, που οφείλεται τόσο στην πορεία της ενεργειακής αγοράς, όσο και σε ελλείψεις στο θεσμικό και ρυθμιστικό πλαίσιο.
- ο *Ανεπαρκής πληροφόρηση* στην βιομηχανία συμπαραγωγής σε σχέση με τις μελλοντικές πολιτικές, χρηματοδοτήσεις κλπ.

#### 4.1.3 Μελλοντικά σενάρια

Μετά τον καθορισμό των στόχων για τον τομέα της ΣΗΘ, δημιουργήθηκε η ανάγκη διερεύνησης της ενδεχόμενης μελλοντικής κατάστασης. Η έρευνα [17] μελετά 4 ενδεχόμενα μελλοντικά σενάρια. Τα σενάρια κλιμακώνονται από τη

βέλτιστη κατάσταση στη χείριστη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

**Πίνακας 4.2.** Σενάρια μελλοντικής κατάστασης ΣΗΘ

ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ Α	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ Β	ΧΕΙΡΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ
Κατάσταση			
Διεθνοποίηση πλεονεκτημάτων	Περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση	Υπάρχουσα ενεργειακή πολιτική	Ανεξέλεγκτη απελευθέρωση αγοράς
Οικονομικά βιώσιμη η μικρής κλίμακας ΣΗΘ	Προνόμια στις «πράσινες» τεχνολογίες	Σταθερή εξέλιξη τεχνολογιών	Καθόλου κίνητρα για ανάπτυξη της μικρής κλίμακας
Επενδύσεις σε «πράσινες» τεχνολογίες			Καθόλου κίνητρα για αποκεντρωμένη παραγωγή
Αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας			
Αποτελέσματα			
Περιβαλλοντικά οφέλη	Ευνοείται η ενέργεια από ΑΠΕ	Απελευθέρωση ενέργειας μέχρι το 2010	Έλεγχος αγοράς από κεντρικούς παραγωγούς
Ικανοποίηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο	καλά περιβαλλοντικά αποτελέσματα	Δεν υπάρχουν ριζοσπαστικές αλλαγές	Η ΣΗΘ γίνεται μη ανταγωνιστική
			Μείωση μονάδων

Σύμφωνα με τις πρόσφατες μετρήσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου [18], η ενεργειακή κατάσταση στην Ευρώπη ακολουθεί το ενδιάμεσο Β (τρίτο) σενάριο. Η ΣΗΘ δεν έχει ακόμα σημαντική εισχώρηση στο ενεργειακό ισοζύγιο σε σχέση με πριν, αν και γίνονται προσπάθειες, με αργό όμως ρυθμό.

## 4.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

### • 4.2.1 Νομοθετικές διατάξεις

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει προτείνει, από το 2000, πλήθος νέων νομοθετικών μέτρων για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο έχουν εγκρίνει τις περισσότερες από αυτές τις προτάσεις και οι υπόλοιπες βρίσκονται σε προηγμένο στάδιο της διαθεσμικής διαδικασίας.

Οι δυο κυριότερες νομοθετικές πράξεις παρουσιάζονται στη συνέχεια.

#### Οδηγία 2001/77/ΕΚ

Στην οδηγία αυτή απαιτείται από τους κρατικούς αρμόδιους φορείς των μέλων-κρατών να θέσουν εθνικούς ενδεικτικούς και πρακτικούς στόχους στο θέμα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.

#### Οδηγία 2004/8/ΕΚ για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας

(ΕΕ L52/50, 21.2.2004)

Σκοπός της οδηγίας 2004/8/ΕΚ για την **προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας** είναι να αυξηθεί το μερίδιο της από το επίπεδο του 10% (2000) του συνόλου της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ σε 18% το 2010. Το ποσό αυτό πρέπει να αναθεωρηθεί με βάση τις εκθέσεις που πρόκειται να υποβάλουν τα κράτη μέλη το 2006, σχετικά με το εθνικό δυναμικό τους για υψηλής απόδοσης συμπαραγωγή.

Στην οδηγία διευκρινίζεται ότι με την υψηλής ποιότητας συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θερμότητας και (ΣΗΘ) εξοικονομείται τουλάχιστον 10% της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας σε σύγκριση προς τη χωριστή παραγωγή. Η κατά μέσον όρο εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας θα πρέπει να είναι μάλλον περί το 20-25%.

Η εγγυημένη πρόσβαση στο δίκτυο με δίκαιους όρους, η εξομάλυνση των διοικητικών διαδικασιών, καθώς και σύστημα που να προσφέρει εγγύηση προέλευσης για να βοηθηθούν οι διαχειριστές να προωθήσουν την υψηλής απόδοσης συμπαραγωγή, είναι οι άλλοι μηχανισμοί της οδηγίας. Η οδηγία δεν είναι δεσμευτική ως προς το καύσιμο. Η οδηγία αυτή θα προωθήσει την συμπαραγωγή με ανανεώσιμες πηγές καθώς και με ορυκτά καύσιμα.

#### **4.2.2 Χρηματοδοτικοί μηχανισμοί**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χρηματοδοτικοί μηχανισμοί της ΕΕ για καινοτόμες μονάδες συμπαραγωγής, μελέτες, έρευνα και ανάπτυξη, καθώς και διάδοση πληροφορίας σε σχέση με τη συμπαραγωγή. Η κύρια πηγή του κεφαλαίου αυτού είναι η αναφορά της ΕΕ σχετικά με χρηματοδοτήσεις για επενδύσεις συμπαραγωγής [43], εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

#### *SAVE II*

Είναι μη- τεχνολογικό πρόγραμμα της ΕΕ που αποσκοπεί στην προώθηση της ορθολογικής χρήσης ενέργειας στην κοινότητα. Ο σκοπός είναι οι επενδύσεις σε θέματα ενεργειακής αυτονομίας. Το SAVE II χρηματοδοτεί τα εξής:

- Πιστοποίηση και καθορισμό standards στο τομέα εξοπλισμού
- Εύστοχες πιλοτικές ενέργειες, που αποσκοπούν σε επενδύσεις αυξανόμενης ενεργειακής απόδοσης και/ή μοντέλα καλύτερης χρήσης ενέργειας
- Διάδοση της πληροφορίας
- Καταγραφή των εξελίξεων σε κρατικό και ευρωπαϊκό επίπεδο σε θέματα ενεργειακής απόδοσης
- Ενέργειες που αποσκοπούν στην μεγαλύτερη συνοχή της ενεργειακής πολιτικής των κρατών –μελών
- Ενέργειες που στοχεύουν στην βελτίωση της διαχείρισης ενέργειας σε περιφερειακό και αστικό επίπεδο
- Ενέργειες που στοχεύουν στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης με γνώμονα τα υπάρχοντα ευρωπαϊκά προγράμματα

Το πρόγραμμα χρηματοδοτεί, συν τοις άλλοις και την προώθηση συστημάτων ΣΗΘ.

## SYNERGY

Το πρόγραμμα αυτό χρηματοδοτεί διεθνή προγράμματα με συνεργασία με τρίτες χώρες (με μέγιστο 100%), με σκοπό να βοηθήσει στη διαμόρφωση και εφαρμογή της ενεργειακής τους πολιτικής με όρους κοινής ωφέλειας. Χρηματοδοτεί επίσης προγράμματα που προωθούν βιομηχανικές εφαρμογές και λειτουργίες χωρών της ΕΕ και τρίτων χωρών.

Το πρόγραμμα δεν χρηματοδοτεί προγράμματα έρευνας, ανάπτυξης ή επίδειξης. Όλες οι τρίτες χώρες μπορούν να μετέχουν, αλλά δίνεται προτεραιότητα σε χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, Μεσογειακές, Λατινικής Αμερικής, Ασιατικές και Αφρικανικές, καθώς και σε πρόσφατα ανεξαρτητοποιημένες χώρες.

## ENERGIE

Το πρόγραμμα αυτό εστιάζεται σε θέματα ανάπτυξης έρευνας τεχνολογίας, και είναι μέρος του 5<sup>ου</sup> Πλαισίου Στήριξης Έρευνας, Τεχνολογικής ανάπτυξης και Επίδειξης (1999-2002). Είναι οργανωμένο γύρω από δύο άξονες:

1. «Πράσινα» ενεργειακά συστήματα: Ερευνάται η ανάπτυξη «πράσινων», κυρίως ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ήδη χρησιμοποιούμενων καυσίμων. Προτεραιότητα δίνεται σε:
  - μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρισμού και /ή θερμότητας με μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> από άνθρακα, βιομάζα ή άλλα καύσιμα, συμπεριλαμβανομένης της ΣΗΘ
  - ανάπτυξη και επίδειξη των κύριων νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικά της βιομάζας, των κυψελίδων καυσίμου κλπ
  - διείσδυση των ΑΠΕ στο υπάρχον ενεργειακό δίκτυο
2. Οικονομική και αποδοτική ενέργεια για ανταγωνιστική Ευρώπη: Οι δράσεις αφορούν όλα τα στάδια του ενεργειακού κύκλου: παραγωγή, διανομή, τελική χρήση. Ιδιαίτερη εστίαση δίνεται σε:
  - Τεχνολογίες για τη μεταφορά και διανομή ενέργειας
  - Τεχνολογίες ορθολογικής χρήσης
  - Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας σε μικρή και μεγάλη κλίμακα
  - Βελτίωση αποδοτικότητας συστημάτων ΑΠΕ κ.α.

## ALTENER II

Το πρόγραμμα χρηματοδοτεί δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις, που αφορούν στην παραγωγή και χρήση ΑΠΕ. Οι συγκεκριμένοι στόχοι του Altener II είναι:

- η εφαρμογή και συμπλήρωση των Οδηγιών της Κοινότητας, που αφορούν στην ανάπτυξη και προώθηση των ΑΠΕ
- η διάδοση προϊόντων και εξοπλισμού, που σχετίζονται με ΑΠΕ
- η ανάπτυξη υποδομών, που ενισχύουν την εμπιστοσύνη των επενδυτών σε ΑΠΕ και ενισχύουν την ανταγωνιστικότητα του χώρου
- η εξέλιξη του δικτύου διάδοσης πληροφορίας και συνοχής σε διεθνές, ευρωπαϊκό, εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, που ενισχύει και πάλι την εμπιστοσύνη των επενδυτών και την διείσδυση των ΑΠΕ στην ενεργειακή αγορά
- η εφαρμογή της στρατηγικής της κοινότητας σχετικά με τις ΑΠΕ

Όσον αφορά στη διάδοση πληροφορίας, το πρόγραμμα εστιάζεται στα [44]:

- εκπαίδευση και κατάρτιση, συμπεριλαμβανομένων επαγγελματικών σεμιναρίων
- δίκτυα περιφέρειας, νησιωτικά και αστικά, που αποσκοπούν στην κατά 100% κάλυψη αναγκών από ΑΠΕ
- δίκτυα σχολείων, πανεπιστημίων και εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, που πρωτοπορούν σε θέματα ΑΠΕ
- τεχνολογική έρευνα και δίκτυα ανάπτυξης
- εγκαθίδρυση κεντρικού συστήματος (AGORES) για τη συλλογή πληροφορίας σε θέματα ΑΠΕ, το οποίο καλύπτει νομοθεσία, τεχνολογικά στοιχεία, μηχανισμούς εκπαίδευσης, υποστήριξη κλπ, που θα είναι διαθέσιμα από το διαδίκτυο.

Το ALTENER II χρηματοδοτεί προγράμματα, που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα (ενεργειακές καλλιέργειες, αγροτικά και δασικά υπολείμματα, αστικά απόβλητα), αλλά και ηλιακή, υδροηλεκτρική, αιολική και γεωθερμική ενέργεια.

## CARNOT

Το πρόγραμμα Carnot εστιάζει κυρίως σε επενδύσεις σχετικές με νέες τεχνολογίες, που αποσκοπούν στην πιο καθαρή και αποτελεσματική χρήση των στερεών καυσίμων. Ο σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση εκπομπών, καθώς και η

προώθηση της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας κατά περίπτωση. Στον τομέα αυτό, συγκαταλέγεται και η χρήση βιομάζας ως καύσιμο, όταν γίνεται συν-καύση με κάποιο άλλο στερεό καύσιμο (λιγνίτης, τύρφη, άνθρακας κλπ).

Στο πρόγραμμα μπορούν να μετέχουν χώρες της ΕΕ, της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, ενώ απευθύνεται σε εταιρίες μηχανικών, σε κατασκευαστές εξοπλισμού, σε μονάδες παραγωγής ενέργειας, και άλλες παρόμοιες δραστηριότητες που σχετίζονται με την τεχνολογία στερεών καυσίμων. Εστιάζεται κυρίως στην ωριμότητα και φερεγγυότητα της τεχνολογίας, την εμπορική και αγοραστική επιτυχία, ανάλογα πάντα με τις ανάγκες της αγοράς.

#### Πρόγραμμα "Ευφυής Ενέργεια - Ευρώπη" (2003-2006)<sup>3</sup>

Το πολυετές πρόγραμμα "Ευφυής Ενέργεια – Ευρώπη", που εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2003, βασίζεται στην επιτυχία των προγραμμάτων Save και Altener. Είναι σημαντικό να επισημανθεί η αύξηση των κονδυλίων από τον κοινοτικό προϋπολογισμό που διατίθενται για δράσεις στα κράτη μέλη. Ο προϋπολογισμός για τα δύο προηγούμενα προγράμματα κατά τη δεκαετία 1993-2002 ανήλθε σε 220 εκατ. €, ενώ ο προϋπολογισμός που έχει προβλεφθεί για το νέο πρόγραμμα για την περίοδο 2003-2006 σε 250 εκατ. €.

Το πρόγραμμα υποστηρίζει την εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας, επειδή θα αποτελέσει καταλύτη για να καταβληθούν προσπάθειες σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο σε όλη την ΕΕ. Επικεντρώνεται στην άρση των μη τεχνικών εμποδίων, στη δημιουργία ευκαιριών στην αγορά, στην εκπόνηση προτύπων και τη δημιουργία δομών κατάρτισης, καθώς και στην ανάπτυξη εργαλείων για τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση.

Το βραχυπρόθεσμο μέχρι μεσοπρόθεσμο μέρος του προγράμματος επικεντρώνεται σε πέντε προτεραιότητες έρευνας:

- οικονομικά αποδοτικός εφοδιασμός με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές,
- μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- οικολογικά κτίρια,
- **πολυπαραγωγή,**

---

<sup>3</sup> Απόφαση αριθ. 1230/2003/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 26ης Ιουνίου 2003, για θέσπιση πολυετούς προγράμματος δράσης στο πεδίο της ενέργειας, ΕΕ L 176 της 15.7.2003, σ. 29.

- εναλλακτικά καύσιμα κινητήρων.

Ως προς τις ΑΠΕ, στο μεσοπρόθεσμο μέχρι βραχυπρόθεσμο πρόγραμμα έρευνας περιλαμβάνονται οι ακόλουθες προτεραιότητες έρευνας:

- νέες και προηγμένες βασικές αρχές στις τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας,
- νέες τεχνολογίες για τη μεταφορά και αποθήκευση της ενέργειας, ιδίως τεχνολογία υδρογόνου,
- κυψέλες καυσίμου, συμπεριλαμβανόμενων των εφαρμογών τους,
- εκπόνηση κοινωνικοοικονομικών, ενεργειακών και περιβαλλοντικών μοντέλων.

Εξάλλου, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ξεκινήσει δύο μείζονες πρωτοβουλίες στον τομέα των χρήσεων γης και της γεωργίας, που επιδιώκουν να συμβάλλουν στην κατάστροψη της στρατηγικής της ΕΕ για την αειφόρο ανάπτυξη με την ανάπτυξη εργαλείων και μεθόδων για την αξιολόγηση του αντίκτυπου εναλλακτικών πολιτικών. Μεταξύ των γεωργικών και δασικών χρήσεων γης που θα εξεταστούν, ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στην **παραγωγή βιομάζας για χρήση ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας**. Τέλος, υπό το σχέδιο δράσης για τις περιβαλλοντικές τεχνολογίες, που έχει δρομολογήσει η Γενική Διεύθυνση Έρευνας, θα αναλυθούν και θα προωθηθούν οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας.

#### Προγράμματα που διαχειρίζονται οι Γενικές Γραμματείες:

##### • Έρευνας

Η ΓΓ Έρευνας ανέπτυξε το 5<sup>ο</sup> Κοινοτικό Πλαίσιο για έρευνα, τεχνολογική ανάπτυξη και επίδειξη, το οποίο χωρίζεται σε 4 θεματικές ενότητες, μια από τις οποίες ασχολείται με ενεργειακά ζητήματα και έχει τίτλο «Ενέργεια, περιβάλλον και αειφόρος ανάπτυξη». Το πρόγραμμα έκανε έκκληση για προτάσεις για χρηματοδότηση, ανάμεσα στις οποίες υπήρχε ειδική αναφορά στη συμπαραγωγή, καθώς χαρακτηρίζεται ως τεχνολογία που έχει μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μπορεί να αξιοποιήσει ανανεώσιμες πηγές, όπως η βιομάζα. Καθώς οι εκκλήσεις για προτάσεις μεταβάλλονται κατά περίπτωση, περισσότερες και επίκαιρες πληροφορίες αναζητούνται από ενδιαφερόμενους φορείς στη διεύθυνση [www.cordis.lu/fp5/home.html](http://www.cordis.lu/fp5/home.html)



- *-Περιβάλλοντος*

Ο τομέας αυτός ασχολείται με θέματα Περιβάλλοντος, Πυρηνικής ασφάλειας και Προστασία του πολίτη. Το 1999 χρηματοδότησε περίπου 50 προγράμματα, διαθέτοντας συνολικά 2 εκατ ευρώ. Οι προτάσεις αφορούν τα θέματα του 5<sup>ου</sup> Σχεδίου Δράσης για το Περιβάλλον. Δεν αφορούν εμπορικές δραστηριότητες, ως εκ τούτου, εμπορικής φύσεως εταιρείες μπορούν να κάνουν αίτηση μόνο αν αποδείξουν ότι το πρόγραμμα που θέλουν να κάνουν δεν αποσκοπεί σε εμπορικούς ή κερδοσκοπικούς σκοπούς.

- *-Επιχειρήσεων*

- Ο τομέας αυτός συμπεριλαμβάνει το Πιλοτικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος. Αφορά κυρίως μικρές και μικρομεσαίες επιχειρήσεις (το μέγιστο μέχρι 100 άτομα προσωπικό, ενώ δίνει προτεραιότητα στις μικρότερες, δηλαδή μέχρι 50 άτομα) και χρηματοδοτεί επενδύσεις που έχουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Η χρηματοδότηση που παρέχει είναι σημαντικά πιο συμφέρουσα από δανειοδότηση, ενώ προωθεί την εγκατάσταση καθαρότερων τεχνολογιών, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος.

- *-Διεθνών Σχέσεων*

Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνονται μια σειρά από προγράμματα που αφορούν χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ. Αφορούν χώρες που πρόκειται να γίνουν μέλη της Κοινότητας (*Phare*), χώρες του πρώην Ανατολικού μπλόκ (*Tacis*), Μεσογειακές χώρες (*Meda*), χώρες της Λατινικής Αμερικής (*ALURE*) κ.α. Καθώς δεν αφορά χώρες της ΕΕ δεν αναπτύσσονται περαιτέρω.

- *-Περιφερειακής Πολιτικής*

Η ΕΕ παρέχει χρηματοδότηση σε περιφέρειες με οικονομική υστέρηση. Συνήθως το πρόγραμμα λειτουργεί σε συνεργασία με κυβερνητικούς φορείς. Γίνεται ειδική μνεία, ώστε να προτιμούνται επενδύσεις που αφορούν σε καινοτόμες τεχνολογίες, όπως αυτές της ΣΗΘ, τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη.

Περισσότερες πληροφορίες για τις τρέχουσες χρηματοδοτήσεις υπάρχουν στη διεύθυνση:

[http://europa.eu.int/comm/regional\\_policy/activity/erdf/erdf\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/regional_policy/activity/erdf/erdf_en.html)

## 4.3 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

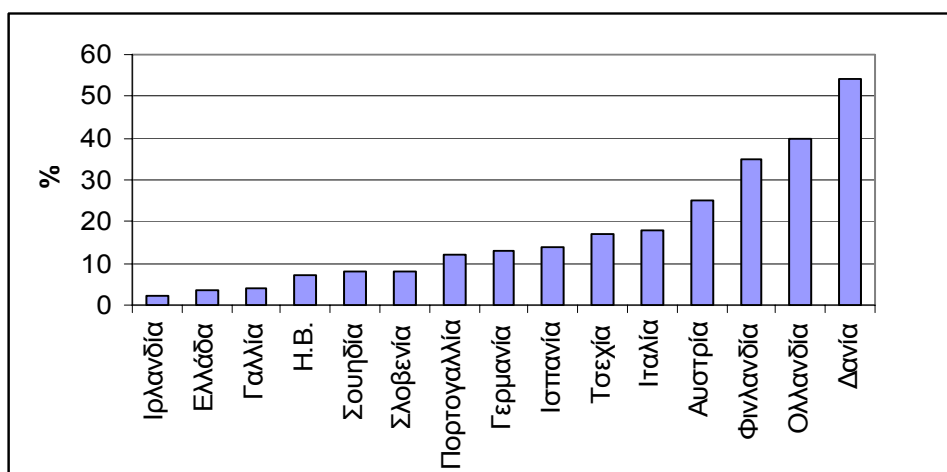
### 4.3.1 Ενεργειακά δεδομένα και κατάσταση συμπαραγωγής

Η κατάσταση συμπαραγωγής στην Ευρώπη παρουσιάζει ανομοιομορφία. Υπάρχουν χώρες που είναι σε πολύ αρχικό στάδιο στον τομέα αυτό, ενώ σε άλλες η συμπαραγωγή βρίσκει εφαρμογή εδώ και πολλά χρόνια. Καθοριστικός παράγοντας είναι η ενεργειακή κατάσταση κάθε χώρας, οι εγχώριες πηγές ενέργειας, καθώς και η ενεργειακή πολιτική.

Σημαντική πορεία σε θέματα ΣΗΘ έχει χαράξει η Φινλανδία, η Δανία και η Αυστρία, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου. Καλή επίσης είναι η κατάσταση στην Ολλανδία, όπου το 40% της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από ΣΗΘ.

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής της ΣΗΘ στην παραγωγή ενέργειας σε χώρες της Ε.Ε. Η ύπαρξη δικτύου τηλεθέρμανσης ευνοεί την εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ, ενώ οι περισσότερες μονάδες λειτουργούν με φυσικό αέριο.

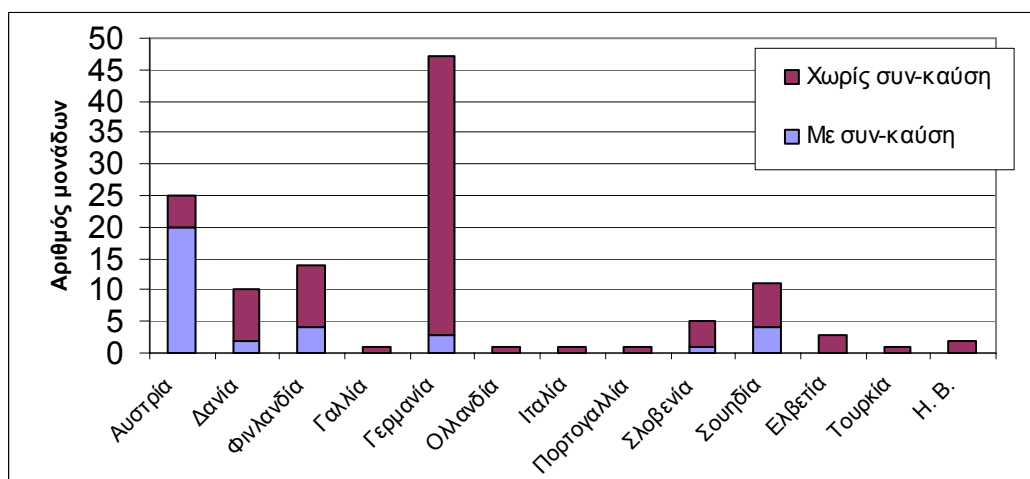
**Πίνακας 4.3.** Η συμμετοχή της ΣΗΘ (%) στην εγχώρια παραγωγή ενέργειας σε χώρες της ΕΕ [7,8,9,13,16]



#### 4.3.2. Συμπαράγωγή με βιομάζα

Για την συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας με καύσιμο στερεά βιομάζα διεξήχθη έρευνα από το ΚΑΠΕ για λογαριασμό της ΕΕ για το δίκτυο *BIOCOGEN* [1]. Σύμφωνα με τα πρώτα δεδομένα της έρευνας, καταγράφηκαν 122 μονάδες συμπαράγωγής με καύσιμο στερεά βιομάζα στις 14 χώρες τις Ε.Ε. που μετείχαν στο πρόγραμμα.

Στο Διάγραμμα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι 122 μονάδες, όπως κατανέμονται στις χώρες. Παρατηρείται μια αρκετά μεγάλη διαφορά και άνιση κατανομή: η Γερμανία έχει 47 μονάδες, ενώ η Αυστρία ακολουθεί με 25. Οι περισσότερες χώρες έχουν από 1 έως 5 μονάδες, ενώ οι Δανία, Σουηδία και Φινλανδία έχουν πάνω από 10. Η άνιση αυτή κατανομή οφείλεται κυρίως σε διαφορετική ενεργειακή πολιτική, αλλά και οικονομικό-κοινωνική κατάσταση. Το φυσικό περιβάλλον, καθώς και η οικονομική δραστηριότητα μιας χώρας, καθορίζουν επίσης την κατάστασή της σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Η Φινλανδία, για παράδειγμα, έχει έντονη βιομηχανική δραστηριότητα που σχετίζεται με το ξύλο και ως εκ τούτου υπάρχει έντονη εκμετάλλευση και αξιοποίηση της απορριπτόμενης ξυλείας.

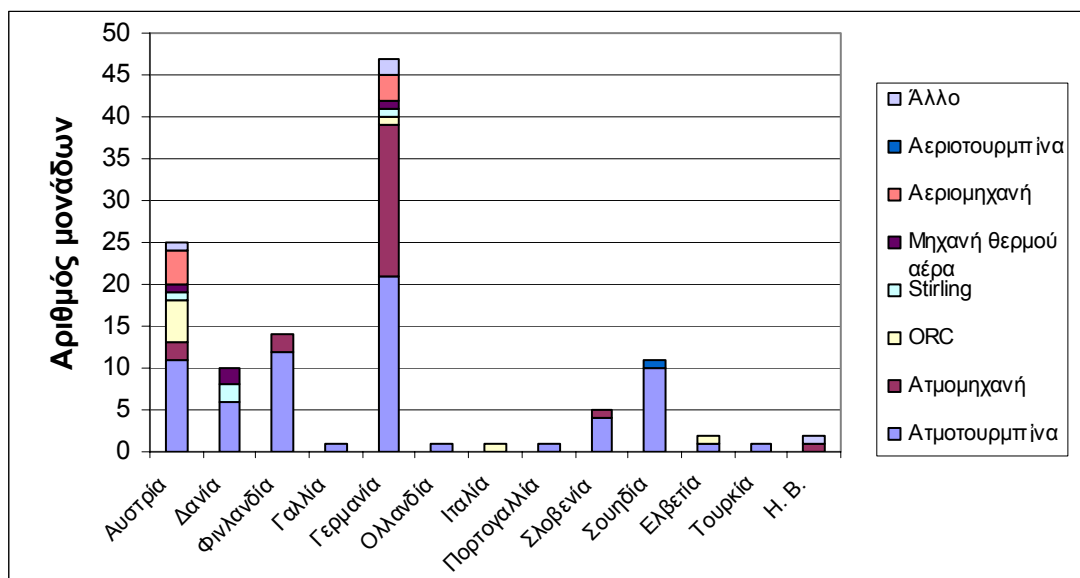


**Διάγραμμα 4.1:** Μονάδες συμπαράγωγής με καύσιμο στερεά βιομάζα

Πέρα από τον αριθμό των μονάδων που απαντώνται σε κάθε χώρα, έχει ενδιαφέρον η καταγραφή των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών. Στο επόμενο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις

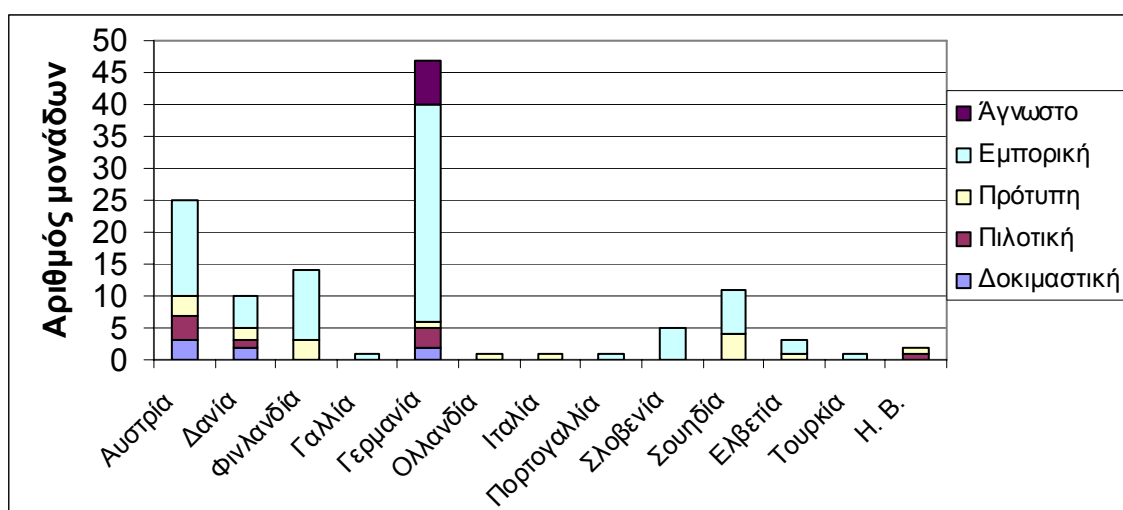
μονάδες αυτές. Καταγράφηκαν όλων των ειδών οι τεχνολογίες, με τις πιο παραδοσιακές (ατμοστρόβιλο, μηχανή ατμού) να υπερτερούν [1].

Οι καινοτόμες τεχνολογίες αντιπροσωπεύουν προς το παρόν ένα μικρό μέρος της πίτας. Είναι αναμενόμενο να συναντώνται περισσότερο οι παραδοσιακές τεχνολογίες, καθώς οι επικρατούσες χώρες χρησιμοποιούν την τεχνολογία αρκετά χρόνια, όπου οι καινοτόμες τεχνολογίες δεν ήταν ώριμες. Επιπλέον, η εφαρμογή καινοτόμου τεχνολογικού συστήματος εμπεριέχει μεγαλύτερο ρίσκο και πιθανότητα αδυναμίας αντιμετώπισης προβλημάτων. Για το λόγο αυτό όταν πρόκειται για μεγάλης κλίμακας εφαρμογή (πχ πόλεις) που απαιτείται η ελαχιστοποίηση των ατυχημάτων και των περιπτώσεων εκτάκτου ανάγκης, προτιμούνται οι δοκιμασμένες τεχνολογίες που συνήθως παρουσιάζουν γνωστά προβλήματα και ο τρόπος αντιμετώπισης είναι οικείος.



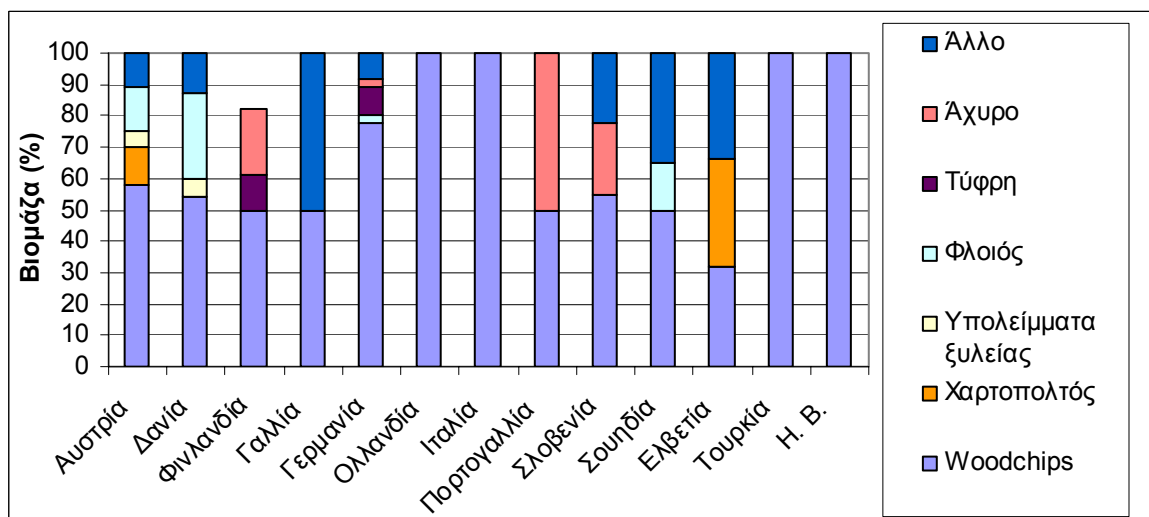
**Διάγραμμα 4.2:** Τεχνολογίες μονάδων συμπαραγωγής με καύσιμο στερεά βιομάζα

Στην συνέχεια παρουσιάζεται το είδος των μονάδων, ανάλογα με το χαρακτήρα τους. Από τα δεδομένα του προγράμματος [1] προέκυψε ο χαρακτηρισμός των υφιστάμενων μονάδων ανάλογα με την εφαρμογή τους (εμπορική, δοκιμαστική, πρότυπη κλπ). Ένα μεγάλο ποσοστό είναι εμπορικής χρήσης, ενώ άλλες είναι σε πειραματικό στάδιο ή πιλοτικές μονάδες, όπως φαίνεται στο επόμενο Διάγραμμα 4.3.



**Διάγραμμα 4.3:** Είδος μονάδων συμπαραγωγής

Στο Διάγραμμα 4.4 έγινε καταγραφή των ειδών της βιομάζας που χρησιμοποιείται ως καύσιμο, σε ποσοστό επί τις %, για κάθε μια χώρα αναλυτικά. Παρατηρούμε ότι τα ρινίσματα ξύλου υπερτερούν σε πολλές χώρες, ενώ σε κάποιες χώρες αποτελούν το 100% της καύσιμης ύλης (όπως Ηνωμένο Βασίλειο).



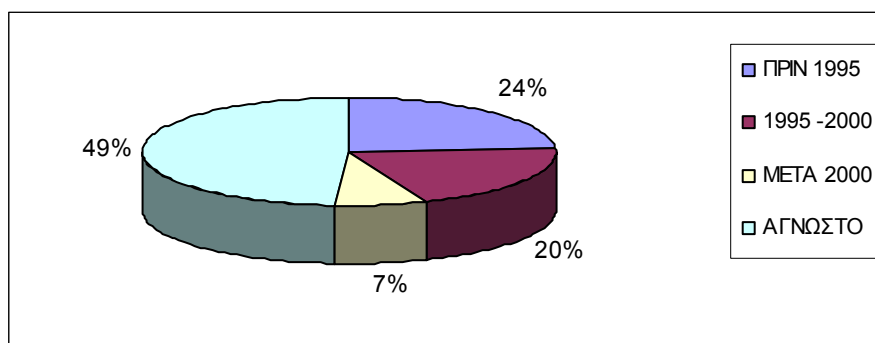
**Διάγραμμα 4.4:** Ποσοστό καυσίμου στερεάς βιομάζας που χρησιμοποιείται στις μονάδες ανά χώρα

Μια επιπλέον πληροφορία που καταγράφηκε στο πρόγραμμα [1] είναι η χρονολογία κατασκευής των μονάδων ΣΗΘ. Για ένα μεγάλο ποσοστό των μονάδων, δεν υπάρχουν πληροφορίες για τη χρονολογία κατασκευής, ενώ τα τελευταία χρόνια (μετά το 2000) κατασκευάστηκε το 7% των μονάδων (Διάγραμμα 4.5).

Σημαντικό επίσης ποσοστό κατασκευάστηκε πριν το 1995, γεγονός που δείχνει την ιστορία των μονάδων, ενώ την πενταετία 1995-2000 κατασκευάστηκε το 20%. Παρατηρείται ότι από το 1995 και μετά υπάρχει ανάπτυξη των μονάδων, ενώ μέσα σε ένα χρόνο (2000-2001) κατασκευάστηκε σημαντικό ποσοστό. Το γεγονός αυτό πιστοποιεί την στροφή της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ προς τις ΑΠΕ, και τη ΣΗΘ συγκεκριμένα.

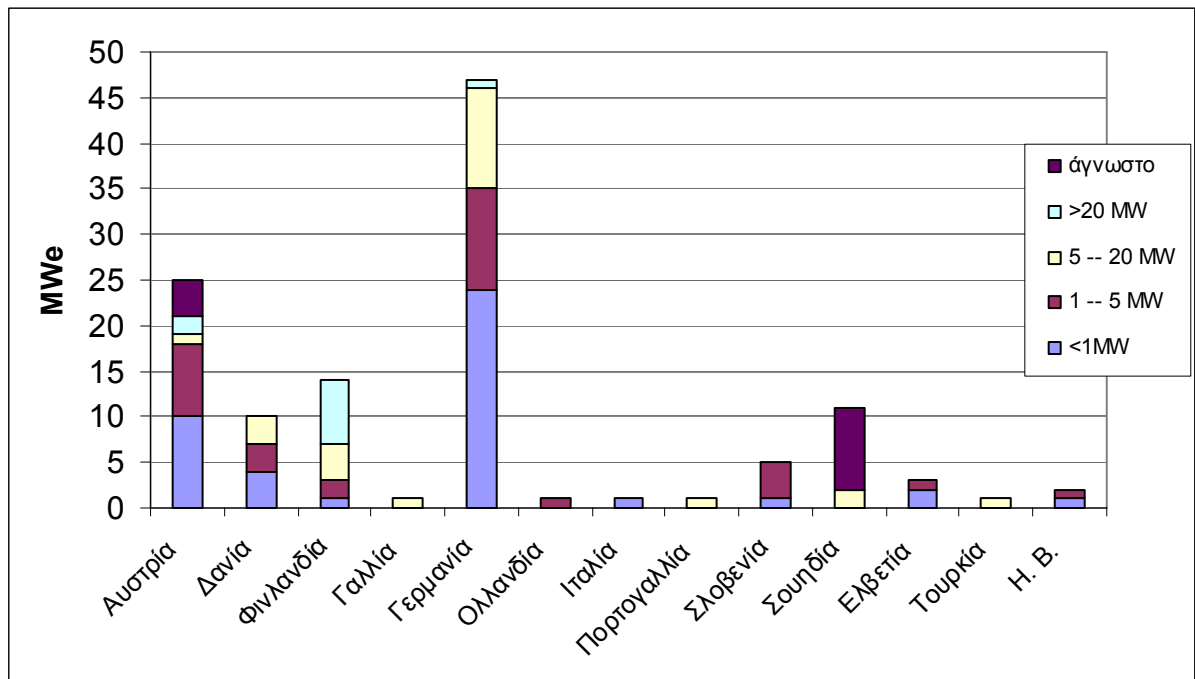
Παρατηρείται επίσης ότι για το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, γεγονός που αποδεικνύει το κενό που υπάρχει στη γνώση της υπάρχουσας κατάστασης εφαρμογών ΣΗΘ στην Ε.Ε. Το γεγονός αυτό ενισχύει την ανάγκη δημιουργίας ευρωπαϊκής βάσης δεδομένων σε σχέση με τη συμπαραγωγή, ώστε να προωθηθεί η τεχνολογία όντας καλύτερα τεκμηριωμένη και αξιοποιώντας όλη την υπάρχουσα πληροφορία.

Η παρούσα βάση δεδομένων και η πληροφορία που παρέχει δεν είναι πλήρης, οπότε δεν μπορεί να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης, ώστε να γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός ενεργειακής πολιτικής και να ληφθούν οι σωστές αποφάσεις για την περαιτέρω εισχώρηση της ΣΗΘ στην Ε.Ε. και να ικανοποιηθούν οι δεσμεύσεις του Κιότο.



**Διάγραμμα 4.5:** Έτος κατασκευής των μονάδων συμπαραγωγής

Στο Διάγραμμα 4.6 παρουσιάζεται η κατανομή του παραγόμενου ηλεκτρισμού από συμπαραγωγή ανά χώρα. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται επίσης η παραγωγή ηλεκτρισμού ανά μονάδα, όπου παρατηρείται ότι οι περισσότερες μονάδες είναι μικρής κλίμακας, παράγουν δηλαδή κάτω από 1MW, ενώ μεγάλες μονάδες υπάρχουν μόνο στην Αυστρία, Φινλανδία και Γερμανία.



**Διάγραμμα 4.6:** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ ανά χώρα

#### 4.3.3 Μικρής κλίμακας ΣΗΘ

Η μικρής κλίμακας ΣΗΘ αναφέρεται σε μονάδες που παράγουν ηλεκτρισμό μέχρι 1MWe. Στη συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά η κατάσταση της ΣΗΘ σε ευρωπαϊκές χώρες, εστιάζοντας στην μικρής κλίμακας συμπαραγωγή [21]. Στον Πίνακα 4.4 αναγράφονται οι χώρες που έχουν αναλυτικά δεδομένα ενώ για τις υπόλοιπες υπάρχουν γενικές πληροφορίες.

**Πίνακας 4.4.** Δεδομένα μονάδων μικρής κλίμακας σε χώρες Ε.Ε.

<b>Χώρα</b>	<b>Αριθμός μονάδων μικρής κλίμακας</b>	<b>Εγκατεστημένη ισχύς MWe</b>
Τσεχία	780	80
Δανία	300	
Γαλλία	188	135
Ελλάδα	4	1,15
Ιρλανδία	75	

Στην Τσεχία παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση των μονάδων τα τελευταία 10 χρόνια λόγω κρατικής προώθησης. Οι περισσότερες μονάδες μικρής κλίμακας της Δανίας λειτουργούν σε υπηρεσίες, ενώ επίσης η πολιτική ευνοεί την περαιτέρω ανάπτυξη: ψηφίστηκε οδηγία που υποχρεώνει όλους τους Δήμους που λειτουργούν μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού μέχρι 1MWe, να κάνουν μετατροπή σε σύστημα συμπαραγωγής.

Η Φινλανδία καθώς έχει πολύ καλά αναπτυγμένο σύστημα κεντρικής τηλεθέρμανσης, δεν έχει μικρής κλίμακας συμπαραγωγή. Η Ιταλία αντίθετα δεν έχει δίκτυο τηλεθέρμανσης οπότε η αγορά μικρής κλίμακας μονάδων ΣΗΘ έχει καλές προοπτικές, αν και η παρούσα κατάσταση δεν είναι σε καλά επίπεδα.

Η Ολλανδία έχει το πλεονέκτημα να έχει τρεις μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες τεχνολογιών μικρής κλίμακας ΣΗΘ. Ως εκ τούτου, είναι εγκατεστημένες αρκετές μονάδες, αν και δεν υπάρχουν στοιχεία για τον ακριβή αριθμό. Η Ισπανία έχει το μεγαλύτερο ποσοστό της μικρής κλίμακας ΣΗΘ στον τομέα των υπηρεσιών και κυρίως σε νοσοκομεία (43%) και σε εμπορικά κέντρα και δημόσιες υπηρεσίες (43%). Ο οικιακός τομέας δεν παρουσιάζει καμία ανάπτυξη.

Στη Σουηδία υπάρχουν εγκατεστημένες λίγες μονάδες παραγωγής, από 100 έως 400kWe ενέργειας. Οι περισσότερες έχουν εγκατασταθεί για λόγους διάδοσης και επίδειξης της τεχνολογίας από μεγάλους παραγωγούς ηλεκτρισμού [21].



Από τις χώρες της ΕΕ, κάποιες έχουν καλύτερες προοπτικές μελλοντικής ανάπτυξης της μικρής κλίμακας ΣΗΘ, κυρίως λόγω της κατάστασης του ενεργειακού δικτύου και των υποδομών τηλεθέρμανσης, αλλά και λόγω πολιτικής και οικονομικής κατάστασης, τις τάσεις της τοπικής βιομηχανίας και την τεχνολογική ανάπτυξη. Οι Γερμανία, Γαλλία, ΗΒ, Ολλανδία είναι από τις χώρες που έχουν τις καλύτερες προοπτικές ανάπτυξης, κυρίως στον οικιακό τομέα με τηλεθέρμανσης [22].

#### **Επιπτώσεις από την εφαρμογή μικρής κλίμακας ΣΗΘ**

Η εφαρμογή συστημάτων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας μπορεί κατ' αρχήν να επιφέρει σημαντική *μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>* μέχρι και κατά 7.5 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2020 [22].

Δεύτερον, η εφαρμογή μικρής κλίμακας ΣΗΘ μπορεί να αλλάξει τη *λειτουργία του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου και του τρόπου σύνδεσης*: μπορεί να υπάρχει παραγωγή ηλεκτρισμού από σύνολο πολλών κατοικιών ή συγκροτημάτων και τροφοδότηση στο δίκτυο μικρής ποσότητας ηλεκτρισμού (1-3kW), ιδίως τις ώρες αιχμής.

Τρίτον, προκύπτουν αλλαγές *στις εγκαταστάσεις παραδοσιακών λεβήτων* που υπάρχουν συνήθως σε κατοικίες και συγκροτήματα, καθώς οι μονάδες ΣΗΘ για βέλτιστη απόδοση έχουν άλλες προδιαγραφές. Αυτό συνεπάγεται αλλαγές στην ενεργειακή αγορά.

Τέταρτον, η εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ *διευρύνει την εμπορική δραστηριότητα*, καθώς δημιουργεί ευκαιρίες για πλήθος κατασκευαστών και συνεργασιών μεταξύ κλάδων που σχετίζονται με την ενεργειακή αγορά (προμηθευτές κλπ) [22].

#### **4.3.4 Εκτεταμένη ανάλυση επιλεγμένων χωρών**

Στη συνέχεια γίνεται εκτεταμένη ανάλυση της κατάστασης της συμπαραγωγής σε επιλεγμένες χώρες της ΕΕ. Έγινε επιλογή χωρών που είναι σε καλό επίπεδο συμπαραγωγής, ώστε να αιτιολογηθεί η πρόοδος και η ανάπτυξη που υπάρχει, καθώς και χωρών που η συμπαραγωγή τώρα αναπτύσσεται. Δίνονται κάποια γενικά στοιχεία για κάθε χώρα, αναλύεται η ενεργειακή κατάσταση και η

ενέργεια από ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα, η ενεργειακή πολιτική και τα οικονομικά κίνητρα που δίνονται, οι διαθέσιμες πηγές βιομάζας, ενώ περιγράφονται κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις εφαρμογών.

#### **4.3.4.1 Αυστρία**

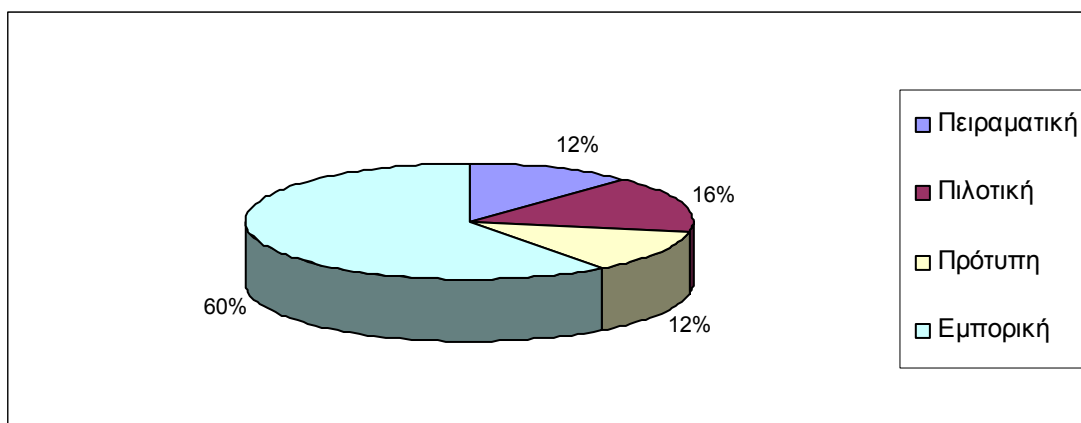
Η Αυστρία έχει έκταση 83.853 km<sup>2</sup>, πληθυσμό 8.184.691 (2005) και βρίσκεται στην κεντρική Ευρώπη. Η αυστριακή οικονομία στηρίζεται κατά βάση στη γεωργία, την παραγωγή τροφίμων, την ξυλεία, την παραγωγή χαρτοπολτού, την υφαντουργία και την παραγωγή ενδυμάτων, τη διανομή τροφίμων και ποτών, τη λιανική και χονδρική πώληση καταναλωτικών αγαθών [12]. Η παραγωγή ηλεκτρισμού το 2002 ήταν 58,49 TWh ενώ η κατανάλωση για την ίδια χρονιά 55,09 TWh. Ο ηλεκτρισμός παραγόμενος από ΣΗΘ εκτιμάται στα 19,01 TWh (2003) [21].

#### **Ενεργειακή κατάσταση και ενέργεια από ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα**

Η Αυστρία είναι μια χώρα με χαμηλό ποσοστό κατανάλωσης πετρελαίου στον πρωτογενή ενεργειακό τομέα σε σχέση με το ευρωπαϊκό μέσο όρο. Σημαντικό μέρος στην παραγωγή ενέργειας καλύπτει το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, ενώ η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από βιομάζα έχουν επίσης σημαντικό ποσοστό. Έτσι, παρόλο που πρόκειται για μια χώρα χωρίς ιδιαίτερους φυσικούς ενεργειακούς πόρους, έχει καταφέρει να είναι ενεργειακά αυτόνομη κατά 34% περίπου (στοιχεία 1999). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα το 1999 ήταν σε ποσοστό 10,5% [7]. Με στοιχεία για την ίδια χρονιά, μονάδες συμπαραγωγής γενικά κάλυπταν το 68% της παραγωγής θερμότητας, ενώ με στοιχεία του 2000 κάλυπταν το 77% του ηλεκτρισμού.

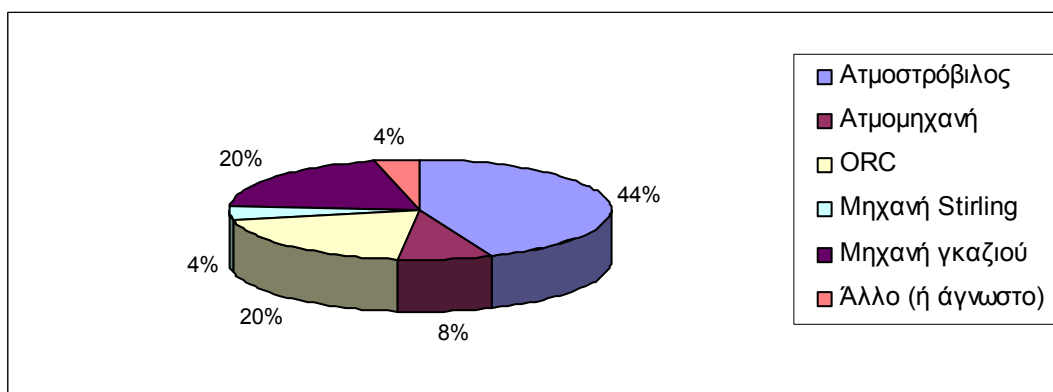
Σύμφωνα με έρευνα της ΕΕ [1], η Αυστρία έχει 25 μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα. Όλες οι μονάδες χρησιμοποιούν ως καύσιμο στερεά βιομάζα, με το μεγαλύτερο ποσοστό υπολείμματα ξυλείας (57%), είτε υλοτομίας είτε πριονίδια, ένα μικρότερο ποσοστό φλοιούς και χαρτοπολτό (από 14%), και ένα ακόμη μικρότερο απορριπτόμενη ξυλεία (5%).

Το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων είναι εμπορικού χαρακτήρα, ενώ αρκετές λειτουργούν πιλοτικά, δοκιμαστικά ή ως πρότυπες (Διάγραμμα 4.7).



**Διάγραμμα 4.7:** Χαρακτήρας μονάδων ΣΗΘ στην Αυστρία με καύσιμο βιομάζα

Όσον αφορά το είδος τεχνολογιών που εφαρμόζεται, παρατηρείται ότι ένα μεγάλο ποσοστό είναι συμβατικές, με τον ατμοστρόβιλο να υπερτερεί, ενώ σημαντικό ποσοστό έχει και η καινοτόμος τεχνολογία Organic Rankine Cycle (ORC) (Διάγραμμα 4.8).



**Διάγραμμα 4.8:** Είδος τεχνολογιών ΣΗΘ στην Αυστρία

Σύμφωνα με την αναφορά του Future Cogen [3], η κατάσταση της ΣΗΘ στην Αυστρία είναι σε καλά επίπεδα. Η ΣΗΘ καλύπτει ήδη ένα πολύ μεγάλο μέρος ηλεκτρισμού, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι σχετικά χαμηλές. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας έγινε με αργούς ρυθμούς, δημιουργώντας αβεβαιότητα. Σύμφωνα με το καλύτερο σενάριο, αναμένεται περαιτέρω ανάπτυξη στον τομέα της τηλεθέρμανσης, στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα.

### **Ενεργειακή πολιτική – οικονομικά κίνητρα**

Η Αυστρία έχει σημαντική πολιτική προώθησης ενέργειας από ΣΗΘ. Ένα στοιχείο που συντελεί σημαντικά είναι η επιχορήγηση δικτύου τηλεθέρμανσης (από το 1982). Έχει ιδρυθεί ένας φορέας (Environmental Support Act), ο οποίος συν τοις άλλοις επιδοτεί την κατασκευή νέων μονάδων ΣΗΘ με νέες τεχνολογίες.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι οι σημαντικά χαμηλές τιμές ηλεκτρισμού από ΣΗΘ, οι οποίες όμως ενδέχεται να δεχθούν έντονο ανταγωνισμό σε σχέση με τις τιμές ενέργειας από φυσικό αέριο, καθώς και από πυρηνικά. Το 2000 ψηφίστηκε πολιτική απόφαση για την ενίσχυση της αγοράς ενέργειας από ΣΗΘ, αλλά έγκειται στις τοπικές αρχές η περαιτέρω προώθηση και εφαρμογή. Υπάρχουν αρκετοί δημόσιοι φορείς που υποστηρίζουν νέες τεχνολογίες και εφαρμογές (όπως το Federal Environmental Fund κα), ενώ παρέχεται μειωμένη φορολογία στους παραγωγούς ενέργειας από ΣΗΘ.

Άλλες πολιτικές προώθησης ενέργειας από ΣΗΘ είναι η κατανάλωση της σε δημόσια κτίρια, η πιστοποίηση κτιρίων με «πράσινη ετικέτα», «φιλικές» συμφωνίες μεταξύ κυβέρνησης και παραγωγών, ενώ παράλληλα δίνεται έμφαση στη συμμετοχή του κοινού.

### **Πηγές βιομάζας**

Στον γεωγραφικό ανάγλυφο της Αυστρίας επικρατούν τα βουνά και τα δάση. Τα 2/3 της επικράτειας καλύπτονται από δάση και λιβάδια. Διατηρώντας τις αναλογίες, η Αυστρία θεωρείται η πιο πλούσια σε δάση χώρα της κεντρικής Ευρώπης. Στα δάση της επικρατούν τα έλατα, αλλά υπάρχουν άφθονα πεύκα, οξιές, βελανιδιές, κωνοφόρα δέντρα στις Άλπεις και στις λοφώδεις περιοχές, ενώ φυλλοβόλα επικρατούν στις θερμότερες περιοχές [12]. Έχει μεγάλες προοπτικές, καθώς έχει μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας σε δασικά υπολείμματα, και ως εκ τούτου ένα σημαντικό δυναμικό ενέργειας από δασικά παραπροϊόντα, το οποίο δεν χρησιμοποιεί σε μεγάλο μέρος, όπως

φαίνεται από στοιχεία του Πίνακα 4.5 [11]. Στη συνέχεια αναλύονται οι υπόλοιπες πηγές βιομάζας της χώρας, σύμφωνα με στοιχεία του Πίνακα 4.5.

Όσον αφορά το γεωργικό τομέα, η Αυστρία εκμεταλλεύεται σε μικρό σχετικά ποσοστό τη διαθέσιμη βιομάζα. Έχει μεγάλες δυνατότητες βελτίωσης καθώς χρησιμοποιείται μόνο το 1/9 των δυνατοτήτων των αγροτικών υπολειμμάτων, ενώ η παραγόμενη ενέργεια από ζωικά υπολείμματα ήταν σχετικά μικρή. Όσον αφορά στην βιομάζα που προέρχεται από βιομηχανικά υπολείμματα την εκμεταλλεύεται σχεδόν κατά 100%.

Όσον αφορά στην αστική –απορριμματική βιομάζα, χρησιμοποιεί τη μισή περίπου διαθέσιμη ενέργεια των απορριμμάτων κατεδαφίσεων, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό της διαθέσιμης ενέργειας από υγρά και στερεά απόβλητα.

Όσον αφορά στον εμπορικό τομέα της βιομάζας, εισάγει ποσότητες καυσόξυλων από τη Γερμανία, ενώ ταυτόχρονα εξάγει μέρος αυτών.

**Πίνακας 4.5 :**Πηγές βιομάζας στην Αυστρία [11]

ΤΟΜΕΑΣ	ΠΗΓΗ	ΧΡΗΣΗ 2000 (PJ/έτος)	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑ (τόνοι επί ξηρού/έτος)	ΠΙΘΑΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (PJ/έτος)
ΓΕΩΡΓΙΑ	Αγροτικά υπολείμματα επί ξηρού	1	500.000	9
	Ζωικά υπολείμματα	0,08	261.077	3,1
	Ενεργειακές καλλιέργειες	1	μη διαθέσιμα	μη διαθέσιμα
ΔΑΣΗ	Ξυλεία	30,9	2.388.889	43
	Δασικά παραπροϊόντα	23,8	8.333.333	150
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	Βιομηχανικά υπολείμματα	75,91	5.348.778	75,63
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Αστικά και κατεδαφίσεων	8,8	388.889	16,3
	Υγρών (υλίσ) και στερεών (ΧΥΤΑ)	0,72	407.900	2,61
ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΚΗΠΟΙ	Αστική ξυλεία	0	0	
	Χορτα-αγρωστώδη	0	0	
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	10,786 PJ/έτος από τα οποία 93% είναι καυσόξυλα από Γερμανία και Κροατία			10,78
ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	7,624 PJ/έτος από τα οποία 98% καυσόξυλα			7,62

## **Χαρακτηριστικά παραδείγματα**

### ***Admont***

Η εμπορικού χαρακτήρα μονάδα συμπαραγωγής στο Admont είναι η πρώτη πρότυπη μονάδα που εφάρμοσε τη τεχνολογία ORC στην Ευρώπη. Η μονάδα σχεδιάστηκε για να καλύπτει τις ανάγκες της βιομηχανίας ξυλείας STIA-Holzindustrie GmbH και ενός μοναστηριού Βενεδικτίνων. Η μονάδα χρησιμοποιεί πριονίδια και υπολείμματα μη-χημικά επεξεργασμένης ξυλείας.

#### *Αποτελέσματα λειτουργίας*

Η μονάδα, στο πρώτο έτος λειτουργίας της, παρήγαγε αρκετή θερμότητα ώστε να καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης της βιομηχανίας τόσο κατά την παραγωγική διαδικασία, όσο και για θέρμανση χώρων, καθώς επίσης και για τη θέρμανση χώρων του μοναστηριού.

Καλύπτει περίπου το 45% των αναγκών της STIA-Holzindustrie GmbH σε ηλεκτρισμό. Τόσο η οικονομική όσο και η οικολογική βιωσιμότητα της μονάδας στηρίζονται στην αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας, αλλά και του ηλεκτρισμού.

#### *Καινοτομίες*

Επιπλέον, η μονάδα εφάρμοσε κάποιες καινοτομίες στο τρόπο λειτουργίας, ώστε να επιτύχει μειωμένες εκπομπές NOx. Εφαρμόζοντας πρώτη φορά σε μεγάλης κλίμακας μονάδα συμπαραγωγής νέες τεχνολογίες επιτεύχθηκε μείωση στις εκπομπές σκόνης.

Η βασική καινοτομία της συγκεκριμένης μονάδας είναι καταρχήν η εφαρμογή της διεργασίας ORC σε εμπορική δραστηριότητα, η οποία ήταν η πρώτη στην ΕΕ. Μια άλλη σημαντική καινοτομία είναι η χρήση silicon oil ως εργαζόμενο μέσο, το οποίο ανταποκρίνεται στις υψηλές απαιτούμενες θερμοκρασίες και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Επιπλέον, είναι η πρώτη σύνδεση μονάδας ORC με καυστήρα βιομάζας μέσω κύκλου θερμικού

ελαίου. Στον Πίνακα 4.6 αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της μονάδας.

#### *Αποδόσεις*

Τα δύο πρώτα έτη λειτουργίας, η μονάδα παρουσίασε αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης (17,7% το 2000[6] σε σχέση με 16,7% το 99 [4]). Αύξηση σημείωσε και η θερμική απόδοση (76,6% σε σχέση με 75% την πρώτη χρονιά). Όσον αφορά στην ολική λειτουργία και αποδοτικότητα της εγκατάστασης αυξήθηκε από 91,7% σε 93,4% το 2000.

**Πίνακας 4.6:** Χαρακτηριστικά μονάδας στο Admont τα δύο πρώτα έτη λειτουργίας [4,6].

<b>Χαρακτηριστικά</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Είδος τεχνολογίας	<i>ORC</i>	
Θερμικό μέσο	<i>Θερμικό έλαιο</i>	
Εργαζόμενο μέσο	<i>silicon oil</i>	
Θερμική ενέργεια	1,8 MW	2,25MW
Ηλεκτρική απόδοση	16,7%	17,7%
Θερμική απόδοση	75%	76,6%
Ολική απόδοση	91,7%	94,3%

#### *Οικονομικά στοιχεία*

Το κόστος επένδυσης ανήλθε στα 3.200.000 ευρώ, συμπεριλαμβανομένου του κόστους του συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης. Το έργο συγχρηματοδοτήθηκε από κρατική επιδότηση, χρηματοδότηση από την ΕΕ, ίδια κεφάλαια και τραπεζικά δάνεια.

Το κόστος λειτουργίας (κόστος καυσίμου, προσωπικό, συντήρησης, ασφάλιση κλπ) υπολογίζεται στα 381.000 ευρώ το χρόνο. Τα έσοδα από την πώληση του ηλεκτρισμού και της θερμικής ενέργειας ανέρχονται στα 830.000 ευρώ. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία η απόσβεση της επένδυσης υπολογίζεται στα 7 χρόνια.



### *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις*

Η μείωση των εκπομπών ήταν σημαντική (86% SO<sub>2</sub>, 48%NO<sub>x</sub>, 77% CO, 75% τέφρες, 68% CO<sub>2</sub>). Η μείωση εκπομπών και σωματιδίων στην ατμόσφαιρα που συνεπάγεται η λειτουργία της μονάδας βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα στην ευρύτερη περιοχή του Admont και κατ'επέκταση αυξάνεται η ποιότητα ζωής του τοπικού πληθυσμού.

### *Συμπερασματικά*

Η τεχνολογία αποδείχθηκε ώριμη, με μεγάλο ποσοστό αυτοματοποίησης, εξαιρετική συμπεριφορά σε μερικό φορτίο και μικρό κόστος συντήρησης, ενώ έχει σχετικό μεγάλο κόστος εγκατάστασης. Η εφαρμογή της τεχνολογίας για μικρής και μεσαίας κλίμακας μονάδες σε βιομηχανίες ξύλου και για αποκεντρωμένες περιοχές παρουσιάζει ενδιαφέρον.

### **Leinz**

Η μονάδα συμπαραγωγής στο Leinz (Ανατολικό Τυρόλο) είναι εξέλιξη της μονάδας του Admont, σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η μονάδα ξεκίνησε να λειτουργεί το 2001 και καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης του Leinz με τηλεθέρμανση (περίπου 60.000MWh/έτος) και παραγωγής ηλεκτρισμού (περίπου 7.200 MWh/έτος) [10]. Στη μονάδα έχει απονεμηθεί το Energy Globe Award Austria 2002, καθώς και άλλα 7 βραβεία και διακρίσεις.

### *Χαρακτηριστικά*

Πρόκειται για τη μεγαλύτερη μονάδα συμπαραγωγής με χρήση τεχνολογίας ORC στην Ευρώπη, με ονομαστική δυνατότητα 1000kWe. Έχει την καινοτομία του συστήματος ελέγχου με «Fuzzy Logic» σε συνδυασμό με ένα «Artificial Neural Network» για ανάλυση, πρόβλεψη και βελτίωση της συνολικής εγκατάστασης ΣΗΘ, ώστε να επιτυγχάνεται βελτίωση της αποδοτικότητας και διαθεσιμότητας της μονάδας, καθώς και μείωση του κόστους.

### *Αποτελέσματα*

Η μονάδα πέτυχε αύξηση της καθαρής ηλεκτρικής απόδοσης με την χρήση συστήματος ανάκτησης εσωτερικής θερμότητας. Η μονάδα παρουσίασε ευελιξία στο καύσιμο τροφοδοσίας, τόσο στο είδος (φλοιοί, υπολείμματα ξυλείας, πριονίδι, συσσωματώματα ξύλου) όσο και στη περιεκτικότητα σε υγρασία (από 10%κ.β. σε 55%κ.β.).

Η μονάδα αποδεικνύει την βιωσιμότητα, την οικονομική ανταγωνιστικότητα και την τεχνολογική επάρκεια της εφαρμογής συστήματος ΣΗΘ με χρήση ORC. Εφαρμόζει καινοτομίες και παρέχει συγκεντρωμένα στοιχεία για την τεχνολογική και οικονομική ανάλυση του συστήματος, με σκοπό περαιτέρω εξέλιξη και βελτίωση.

Στις εγκαταστάσεις της μονάδας επίσης οργανώθηκε διήμερο ενημερωτικών εκδηλώσεων, με σκοπό την παρουσίαση της λειτουργίας και την παροχή πληροφοριών προς κάθε ενδιαφερόμενο για εφαρμογή, αλλά και περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας.

### *Αποδόσεις*

Το 2002 παράχθηκαν συνολικά 30.000MWh θερμότητας για το δίκτυο τηλεθέρμανσης, ενώ το συνολικό ποσό παραγόμενης καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 2.300MWh. Η ολική ηλεκτρική απόδοση έφτασε το 15%, ενώ η θερμική απόδοση του καυστήρα το 85%.

### *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις*

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η καταγραφή των στερεών (τέφρες), υγρών (προϊόντων συμπίκνωσης) και αέριων εκπομπών της εγκατάστασης. Η μονάδα ORC δεν παρουσιάζει εκπομπές, καθώς πρόκειται για κλειστό κύκλο. Από την καύση όμως της βιομάζας προκύπτει τέφρα, διαφορετικά κλάσματα της οποίας συλλέγονται στα διάφορα στάδια (τέφρα πυθμένα, ιπτάμενη τέφρα στον κυκλώνα, ιπτάμενη τέφρα στα φίλτρα). Η τέφρα του κυκλώνα και του πυθμένα είναι επαναχρησιμοποιήσιμη, καθώς οι συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα είναι εντός ορίων για απόθεση σε εδάφη ως βελτιωτικό και ως μέσο εμπλουτισμού, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για παραγωγή

κομπόστ. Η μονάδα προς το παρόν χρησιμοποιεί την τέφρα ως πρόσθετο στη δημοτική παραγωγή κομπόστ. Προκειμένου να επιτευχθεί η 100% αξιοποίηση της τέφρας, έχει προγραμματιστεί σύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας της, ώστε να είναι εφικτή η απευθείας εκμετάλλευση από τους αγρότες της περιοχής.

Η υπτάμενη τέφρα των φίλτρων έχει σημαντικά υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, οπότε και οδηγείται για απόρριψη σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Το επεξεργασμένο νερό συμπύκνωσης διατηρεί ελεγχόμενο pH και λοιπά χαρακτηριστικά, ώστε να είναι αποδεκτό για απόρριψη στο αποχετευτικό δίκτυο.

Όσον αφορά τη περιβαλλοντική απόδοση, σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η μονάδα είχε να επιδείξει σημαντικά αποτελέσματα. Οι τιμές εκπομπών της μονάδας και τα κρατικά όρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

**Πίνακας 4.7:** Εκπομπές μονάδας και όρια Αυστρίας [7]

	Εκπομπές (mg/Nm <sup>2</sup> )	Όρια εκπομπών (mg/Nm <sup>2</sup> )
NO <sub>x</sub>	111,5	200
CO	71,4	100
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	1,7	20
Σκόνη	5,6	20

#### *Συμπερασματικά*

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την λειτουργία και μελέτη της μονάδας είναι τα εξής:

- Επιβεβαίωση της άψογης λειτουργίας της μονάδας ORC σε μερικό φορτίο, ενώ η διεργασία ORC αποδεικνύεται ως ώριμη και αξιόπιστη τεχνολογία.

- Το κόστος λειτουργίας της μονάδας μειώνεται σε σχέση με τους παραδοσιακούς ατμολέβητες, λόγω του αυτοματισμού και του κλειστού κύκλου ORC.

- Η εφαρμογή συστήματος εσωτερικής ανάκτησης θερμότητας αυξάνει σημαντικά την καθαρή ηλεκτρική απόδοση (15% σε σχέση με 13% στο Admont)

- Σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου, νιτρικών και σκόνης.

Η εφαρμογή του «Fuzzy Logic process control system» ήταν επιτυχής, ενώ οδήγησε σε μείωση εκπομπών, σταθεροποίηση της λειτουργίας της εγκατάστασης και κατ' επέκταση αύξηση της αποδοτικότητας της μονάδας.

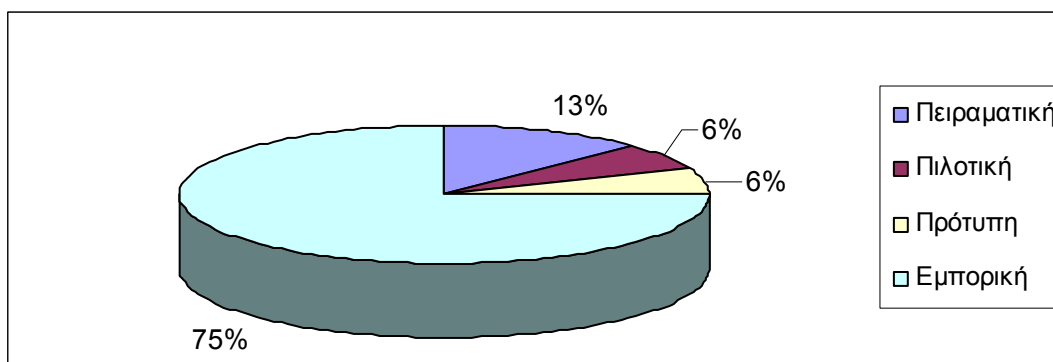
#### **4.3.4.2 Δανία**

Η Δανία έχει έκταση 43.081 km<sup>2</sup>, πληθυσμό 5.205.000 (1994), ενώ βρίσκεται στην είσοδο της Βαλτικής θάλασσας, σαν φυσική, πολιτιστική και εμπορική γέφυρα ανάμεσα στην κεντρική Ευρώπη και στη Σκανδιναβία. Μετά το εργατικό δυναμικό, η εκμετάλλευση εδάφους είναι ο σημαντικότερος παράγοντας της οικονομίας της χώρας, ενώ τα  $\frac{3}{4}$  περίπου του εδάφους διατίθενται στη γεωργία. Πάνω από το 50% της καλλιεργήσιμης γης διατίθεται για δημητριακά [12].

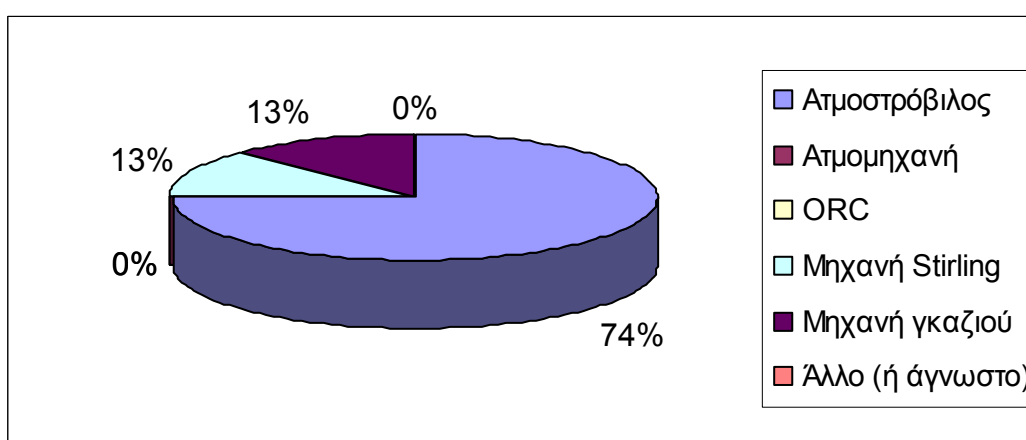
#### **Ενεργειακή κατάσταση και ενέργεια από ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα**

Στη Δανία, το 2001 το 46,5% της παρεχόμενης ενέργειας προερχόταν από το πετρέλαιο, το 23,1% από τον άνθρακα, ακολουθεί το φυσικό αέριο (22%), ενώ τέταρτη είναι η ενέργεια από βιομάζα (8%) [8].

Η Δανία είναι η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΣΗΘ (περίπου 54%) [9], από 16 μονάδες. Το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιεί καύσιμο άχυρο και υπολείμματα ξυλείας. Οι περισσότερες μονάδες είναι εμπορικού χαρακτήρα, ενώ το 74% των μονάδων λειτουργεί με ατμοστρόβιλο (Διαγράμματα 4.9, 4.10). Από σύγχρονες και καινοτόμες τεχνολογίες επικρατεί η μηχανή Stirling, η οποία εφαρμόζεται σε 2 μονάδες (Lyngby, Salling) πειραματικού χαρακτήρα.



**Διάγραμμα 4.9:** Χαρακτήρας μονάδων ΣΗΘ στην Δανία [4]



**Διάγραμμα 4.10:** Είδος τεχνολογιών ΣΗΘ στην Δανία[4]

Ως καύσιμη ύλη στις μονάδες ΣΗΘ χρησιμοποιείται αρκετά το φυσικό αέριο, απόβλητα και βιομάζα. Το δυναμικό συμπαραγωγής έχει ως επί το πλείστον αναπτυχθεί πλήρως, ενώ ο τομέας της μεγάλης κλίμακας βιομηχανίας και ο οικιακός τομέας παρουσιάζουν δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης. Η υφιστάμενη κατάσταση της συμπαραγωγής στη Δανία κάνουν τη χώρα να είναι από τους κυρίαρχους στην διεθνή αγορά ΣΗΘ [3].

### **Ενεργειακή πολιτική – οικονομικά κίνητρα**

Η ενεργειακή πολιτική της χώρας είναι ο βασικός συντελεστής του υψηλού ποσοστού συμμετοχής της ΣΗΘ στην παραγωγή ενέργειας. Η ενεργειακή πολιτική έκανε στροφή προς την ανεξάρτηση από το πετρέλαιο τη δεκαετία του '70. Ενώ μέχρι την πετρελαϊκή κρίση του '70 η Δανία ήταν κατά 90% εξαρτώμενη από εισαγωγή πετρελαίου, σήμερα είναι αυτόνομη.

Ένας άλλος σημαντικός λόγος που η ΣΗΘ βρήκε τόσο ευρεία εφαρμογή είναι το ήδη υπάρχον δίκτυο τηλεθέρμανσης σε όλη τη χώρα, το οποίο δημιουργήθηκε το 1979. Η χώρα χωρίστηκε σε περιοχές παροχής θέρμανσης, με βάση τις υπάρχουσες δυνατότητες και την παροχή αερίου.

Η Δανία επίσης παρουσίασε από τη δεκαετία του 80 περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση. Αυτό είχε ως συνέπεια την υιοθέτηση και προώθηση συστημάτων παραγωγής ενέργειας με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και κατ' επέκταση την εφαρμογή ΣΗΘ, λόγω των μειωμένων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Έτσι η Δανία είχε ήδη νομοθετικό πλαίσιο υποστήριξης ενέργειας από ΣΗΘ, όταν η κοινότητα το θέσπισε για πρώτη φορά για τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες.

Συνοπτικά, το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τη ΣΗΘ είναι [8]:

- Electricity Supply Act (1976, αναθεώρηση 1998),
- Gas Supply Act (1979),
- Heat Supply Act (αναθεώρηση το 1990)

Το Heat Supply Act αφορά τον ενεργειακό σχεδιασμό και συμφωνίες μεταξύ κυβέρνησης και ενεργειακού τομέα, ενώ είναι σημαντική προώθηση για τη ΣΗΘ, καθώς υποχρεώνει τους Δήμους να εξασφαλίσουν μελέτες ΣΗΘ σε τηλεθέρμανση περιοχών με ικανότητα θέρμανσης πάνω από 1MW. Επίσης, οι Δήμοι μπορούν να επιβάλλουν υποχρεωτική σύνδεση με το δίκτυο, καθώς και να απαγορεύσουν την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής θερμότητας σε περιοχές τηλεθέρμανσης. Η αναθεώρηση του Electricity Supply Act υποχρεώνει τις δημόσιες υπηρεσίες να αγοράζουν το πλεόνασμα ενέργειας των μονάδων ΣΗΘ.

Το 1990 ξεκίνησε πρόγραμμα μετατροπής όλων των μικρών και μεσαίων μονάδων τηλεθέρμανσης σε μονάδες συμπαραγωγής πριν το 1998. Σημαντικά οικονομικά οφέλη που δόθηκαν ήταν τα εξής:

- Επιχορηγήσεις επενδύσεων για τη μετατροπή τηλεθέρμανσης (District Heating, DH) σε μικρής κλίμακας ΣΗΘ, αν η μετατροπή οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές θερμότητας.

- Επιδόματα επενδύσεων για νέα δίκτυα τηλεθέρμανσης και αποκατάσταση ήδη υπαρχόντων.
- Επιχορηγήσεις της πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρισμού από ΣΗΘ στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.
- Επιχορηγήσεις επενδύσεων για εγκατάσταση μονάδων ΣΗΘ για κεντρική θέρμανση σε περιοχές με τηλεθέρμανση.
- «Πράσινη» φορολογία σε εμπόριο και βιομηχανία, όπου οι φόροι χρησιμοποιούνται ως επιδόματα επενδύσεων.

Ενώ η παρούσα κατάσταση στην Δανία είναι η καλύτερη σε θέματα ΣΗΘ, περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη δεν είναι βέβαιες. Η νέα νομοθεσία απελευθέρωσης ενέργειας θα έχει αμφίβολα αποτελέσματα, ενώ ένα μεγάλο μέρος του δυναμικού ανάπτυξης της συμπαραγωγής έχει αξιοποιηθεί. Ο χρόνος αποπληρωμής των επιδοτήσεων, καθώς και οι χαμηλές τιμές του φυσικού αερίου είναι ανασταλτικοί οικονομικοί παράγοντες. Εξάλλου, υπάρχει ενεργειακό πλεόνασμα στη χώρα.

### **Πηγές βιομάζας**

Ο φυσικός τύπος βλάστησης στη χώρα είναι τα φυλλοβόλα, αλλά ευδοκιμούν και οι αναδασώσεις με έλατα και ρομπόλα. Τα φυσικά δάση με βελανιδιές, φτελιές και οξιές έχουν περιοριστεί από τις καλλιέργειες και άλλες χρήσεις γης, ενώ τα δάση καλύπτουν το 10% του εδάφους και τα περισσότερα προέρχονται από αναδασώσεις [12].

Η Δανία εκμεταλλεύεται στο έπακρο τη βιομάζα από ξύλο, περίπου τη μισή διαθέσιμη ποσότητα αγροτικών υπολειμμάτων και σχεδόν όλη τη βιομάζα από βιομηχανικά υπολείμματα.

Όσον αφορά τα ζωικά υπολείμματα, υπάρχει ακόμα ποσότητα ενέργειας που έχει δυνατότητα εκμετάλλευσης. Σε καλό στάδιο είναι επίσης η αξιοποίηση απορριμματικής αστικής βιομάζας (Πίνακας 4.8).

**Πίνακας 4.8.:** Πηγές βιομάζας στη Δανία [11]

ΤΟΜΕΑΣ	ΠΗΓΗ	ΧΡΗΣΗ 2000 (PJ/έτος)	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑ (τόνοι επί ξηρού/έτος)	ΠΙΘΑΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (PJ/έτος)
ΓΕΩΡΓΙΑ	Αγροτικά υπολείμματα επί ξηρού	13,05	1.605.000	28,9
	Ζωικά υπολείμματα	1,29	2.715.753	22,4
	Ενεργειακές καλλιέργειες	0	μη διαθέσιμα	μη διαθέσιμα
ΔΑΣΗ	Ξυλεία	7	388.889	7
	Δασικά παραπροϊόντα	8,5	611.111	11
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	Βιομηχανικά υπολείμματα	7,66	211.000	7,06
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Αστικά και κατεδαφίσεων	30,34	1.097.000	13,439
	Υγρών (υλίσ) και στερεών (ΧΥΤΑ)	1,23	333.000	2,4
ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΚΗΠΟΙ	Αστική ξυλεία	0	0	0
	Χορτα-αγρωστώδη	0	0	0
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	0,7 PJ προνιδι και pellets από Βαλτικές χώρες και Καναδά			0,7
ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	πολύ μικρές εξαγωγές			0



## **Χαρακτηριστικά παραδείγματα**

### ***Lyngby***

Σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο της Δανίας (Technical University of Denmark), κατασκευάστηκε και εφαρμόστηκε στο Lyngby μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή Stirling [10]. Η μονάδα λειτούργησε πρώτη φορά το καλοκαίρι 2002 και μέχρι τον Ιούνιο 2003 είχε συμπληρώσει περισσότερο από 4.300 ώρες λειτουργίας με ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Ο σχεδιασμός της μονάδας στηρίχθηκε σε προηγούμενες πρωτότυπες μηχανές, στις οποίες έγιναν τροποποιήσεις και προσαρμογές, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη λειτουργία της. Η μονάδα είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, ώστε να μειώνεται το κόστος λειτουργίας, απαραίτητος παράγοντας για την οικονομική βιωσιμότητα μικρής κλίμακας εγκαταστάσεων.

### ***Αποδόσεις***

Το πρώτο εξάμηνο λειτουργίας, η μονάδα παρουσίασε διαθεσιμότητα μεγαλύτερη από 80%, ενώ το δεύτερο πάνω από 92%. Μετά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας, από ελέγχους που έγιναν στη μονάδα προέκυψε ότι η ολική ηλεκτρική απόδοση, καθώς και η εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια ήταν μικρότερες από τις αναμενόμενες, ενώ η ολική απόδοση της μονάδας (90%) ήταν μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη. Αυτό οφείλεται στη παραγόμενη θερμική ενέργεια, που ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από την προσδοκούμενη (Πίνακα 4.9)

**Πίνακας 4.9:** Απόδοση και χαρακτηριστικά μονάδας του Lyngby [10].

	<i>Στόχος</i>	<i>Αποτελέσματα</i>
Ηλεκτρική ενέργεια (kW)	35	31
Θερμική ενέργεια – Stirling (kW)	105	124
Θερμική ενέργεια – ΣΗΘ (kW)	215	272
Κατανάλωση καυσίμου kg/h	85	96
Ηλεκτρική απόδοση stirling%	25	20
Ολική ηλεκτρική απόδοση ΣΗΘ%	12	9,2
Ολική απόδοση ΣΗΘ%	85,9	90

### *Συμπερασματικά*

Συνολικά, η λειτουργία της μονάδας θεωρείται επιτυχημένη, ενώ από τη συνεχή παρατήρηση της προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας, καθώς επισημαίνονται τα σημεία όπου απαιτείται περαιτέρω έρευνα.

Η Ε.Ε. ως επέκταση της συγκεκριμένης εγκατάστασης, χρηματοδότησε πρόγραμμα εγκατάστασης μονάδας με Stirling μηχανή ισχύος 75kW. Το πρόγραμμα άρχισε το 2003 και έχει διάρκεια 3 χρόνια.

### **4.3.4.3 Φινλανδία**

Η Φινλανδία έχει έκταση 338.145 km<sup>2</sup> και πληθυσμό 5.151.000. Συγκαταλέγεται στις πλουσιότερες χώρες της Ευρώπης, όπου τα κυριότερα κρατικά έσοδα προέρχονται από φόρους. Ο τομέας των υπηρεσιών εξελίχθηκε ως ο κυριότερος της οικονομίας. Ο αγροτικός τομέας παρουσιάζει ύφεση σε σχέση με την παλιότερη του σημασία, γεγονός που φαίνεται από την συρρίκνωση του αγροτικού δυναμικού και από την εγκατάλειψη αρκετών καλλιεργούμενων εδαφών. Η εμπορική αλιεία βρίσκεται επίσης σε παρακμή, λόγω της ρύπανσης των ποταμών και την κατασκευή φραγμάτων (για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας) [12].

### **Ενεργειακή κατάσταση και ενέργεια από ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα**

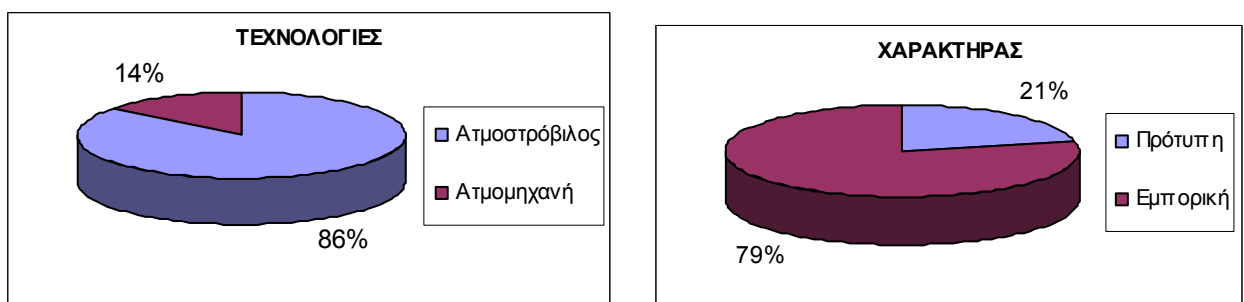
Στη Φινλανδία μόλις 31,1% της παρεχόμενης ενέργειας είναι από πετρέλαιο, ενώ η ενέργεια από βιομάζα φτάνει σε ποσοστό 18,9%. Η πυρηνική ενέργεια είναι επίσης σε ποσοστό 18%, ενώ ο άνθρακας συμμετέχει κατά 11,1%. Το 46% της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία παράγεται από βιομάζα [13, 14].

Η Φινλανδία κατέχει την τρίτη θέση στην ΕΕ στην κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Ο τομέας της συμπαραγωγής επίσης είναι σε πολύ καλά επίπεδα, καθώς καλύπτει το 73-76% της θέρμανσης και το 33% του ηλεκτρισμού στους δήμους (κυρίως με τηλεθέρμανση) και στον βιομηχανικό τομέα. Έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης διαθεσιμότητας σε πρώτη ύλη (ξύλεια, ποάνθρακες) σε όλη την έκταση της χώρας, οπότε η παραγωγή

ενέργειας και θερμότητας από βιομάζα είναι μια ελκυστική και εύκολα εφαρμόσιμη επιλογή, τόσο για την βιομηχανία, όσο και για τον οικιακό τομέα. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται ποικίλουν από μονάδα σε μονάδα. Γενικά χρησιμοποιείται κατά 38% φυσικό αέριο, 27% γαιάνθρακας, 18% τύρφη, 6% πετρέλαιο και 9% υπολείμματα ξυλείας. Στο μέλλον προβλέπεται να αντικατασταθεί ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και οι ποάνθρακες από φυσικό αέριο και ξύλο.

Στη χώρα υπάρχουν 14 μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα, ενώ υπάρχουν γύρω στις 60 επιπλέον μονάδες που κάνουν συμπαραγωγή με καύσιμο τύρφη. Υπάρχει αντιπαράθεση στον ορισμό της έννοιας «βιομάζα» ως καύσιμο στο σημείο αυτό, καθώς στην Φινλανδία τον ποάνθρακα τον κατατάσσουν στην κατηγορία αυτή, ενώ η πλειοψηφία της ΕΕ δεν το θεωρεί «βιομάζα», οπότε οι μονάδες αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται στην παρακάτω ανάλυση.

Σύμφωνα με στοιχεία της έρευνας που διεξάγει από την ΕΕ, το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων είναι εμπορικού χαρακτήρα, ενώ χρησιμοποιούνται συμβατικές τεχνολογίες (Διάγραμμα 4.11).



**Διάγραμμα 4.11:** Καταμερισμός τεχνολογιών και χαρακτήρα μονάδων ΣΗΘ [2]

Η συμπαραγωγή από βιομάζα καλύπτεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από βιομηχανικά δασικά υπολείμματα. Καθώς η ΣΗΘ είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα ήδη, δεν υπάρχει μεγάλη δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης.

### **Ενεργειακή πολιτική – οικονομικά κίνητρα**

Η Φινλανδία ακολουθεί ενεργειακή πολιτική προώθησης και ανάπτυξης βιοενέργειας, με στόχο αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές κατά 50% το 2010 σε σχέση με το 1995.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας που προωθεί η πολιτική της χώρας είναι η εξαγωγή της ενεργειακής τεχνολογίας. Πρόκειται για αρκετά κερδοφόρο επένδυση, καθώς το 2001 τα κέρδη από τις εξαγωγές ήταν 3 δις ευρώ.

Τα βασικά μέτρα που εφαρμόζονται για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών είναι η ανάπτυξη έρευνας και τεχνολογίας, η ενεργειακή φορολογία και επιδοτήσεις επενδύσεων, καθώς και η διάδοση γνώσης και εκπαίδευσης.

Η Φινλανδία εφαρμόζει από το 1990 φορολογία διοξειδίου του άνθρακα για τα ορυκτά καύσιμα. Από τότε έχουν γίνει μεταρρυθμίσεις, που κατέληξαν στο νόμο του 1998 όπου φορολογεί με 17,2 ευρώ/τόνο CO<sub>2</sub>.

Η κυβέρνηση διέθεσε 19,5 εκατ. ευρώ το 2000 και 25 εκατ. ευρώ το 2002 σε επιδοτήσεις και θέματα ανάπτυξης του ενεργειακού τομέα της ΣΗΘ. Οι τομείς που έχουν προτεραιότητα είναι η προώθηση και ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών, καθώς και οι επενδύσεις σε περιοχές με τα μεγαλύτερα ποσοστά ανεργίας της χώρας.

### **Πηγές βιομάζας**

Τα  $\frac{3}{4}$  του εδάφους της Φινλανδίας καλύπτεται από δάση, όπου κυριαρχούν τα κωνοφόρα δέντρα (πεύκα και ερυθρελάτες). Στο νότιο άκρο της υπάρχει μια ζώνη φυλλοβόλων (σημύδες, λεπτοκαρυές, λεύκες, σφένδαμους, φτελιές κ). Περίπου το 60% των δασών ανήκει σε ιδιώτες, οι οποίοι ελέγχουν τις εγχώριες τιμές ξυλείας, με αποτέλεσμα η δασική βιομηχανία να φθάσει στην εισαγωγή του 10-15% (δεκαετία 80) της πρώτης ύλης που απαιτείται για την λειτουργία της, αν και θα μπορούσε να είναι ανεξάρτητη από εισαγωγές. Η δασική βιομηχανία είναι από τους πιο σημαντικούς τομείς της τοπικής

οικονομίας, με παραγωγή κατεργασμένης ξυλείας, χαρτοπολιτού, προϊόντων χάρτου, δομικών υλικών και επίπλων [12].

Η Φινλανδία είναι μια χώρα με έντονη δραστηριότητα στον τομέα της εκμετάλλευσης ξυλείας. Η πολύ καλή θέση της στο θέμα της ενέργειας με ΣΗΘ έγκειται στην πλήρη αξιοποίηση και εκμετάλλευση των βιομηχανικών υπολειμμάτων. Ενώ σε άλλους τομείς έχει δυνατότητες που δεν εκμεταλλεύονται, ο βιομηχανικός τομέας, καθώς σχετίζεται με την ξυλεία καλύπτει ικανοποιητικά τις ανάγκες της χώρας στο θέμα ΣΗΘ.

Το 2000, η βιομάζα από αγροτικά υπολείμματα δεν αξιοποιήθηκε καθόλου [11], ενώ έχει ένα δυναμικό παραγωγής 9,7PJ/έτος. Πολύ μικρό ποσοστό εκμετάλλευσης παρατηρείται και στον τομέα των ζωικών υπολειμμάτων, καθώς και στα δασικά παραπροϊόντα. Στο θέμα της ξυλείας, αντίθετα, παρουσιάζεται μια πολύ έντονη δραστηριότητα, που καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό των δυνατοτήτων της χώρας. Τα αναλυτικά στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.10.

Στον τομέα τις αστικής βιομάζας έχει περιθώρια περαιτέρω βελτίωσης και αξιοποίησης, καθώς εκμεταλλεύεται ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με την δυνατή παραγόμενη ενέργεια.

Όσον αφορά τον τομέα εισαγωγών –εξαγωγών, παρουσιάζει μια συμμετοχή, εξάγοντας συσσωματώματα ξύλου σε γειτονικές χώρες, ενώ εισάγει ξυλεία από τη Ρωσία.

### **Χαρακτηριστικά παραδείγματα**

#### ***Kokkola [19]***

Η μονάδα παραγωγής ενέργειας του Kokkola καλύπτει τις ανάγκες της πόλης Kokkola σε ηλεκτρισμό και τηλεθέρμανση. Η μονάδα ξεκίνησε να κατασκευάζεται στις αρχές του 2000, ενώ λέβητας και η τουρμπίνα τοποθετήθηκαν την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2001. Οι πρώτοι έλεγχοι έγιναν την περίοδο Οκτωβρίου –Νοέμβριου της ίδιας χρονιάς και η μονάδα λειτούργησε εμπορικά το Δεκέμβριο. Το συνολικό κόστος της επένδυσης ήταν

26,9 εκατ. ευρώ το 2001. Το κόστος επένδυσης ανά παραγόμενο kW ηλεκτρικής ενέργειας για το συγκεκριμένο έργο ανάγεται σε 1346 ευρώ/kWe.

Το 60% των κτιρίων της πόλης είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο τηλεθέρμανσης ενώ προβλέπεται ότι στο μέλλον το συνδεδεμένο ποσοστό θα ανέλθει στο 65%. Η μονάδα λειτουργεί 5000-6000 ώρες ετησίως, από τις οποίες οι 4000 είναι σε μερικό φορτίο.

Η μονάδα χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη βιομάζα (ρινίσματα ξυλείας, φλοιούς, πριονίδι, τύρφη κατά 50%), ενώ τεχνικώς είναι ικανή να καίει ξυλώδη καύσιμα σε ποσοστό 80%, εφόσον η τιμή τους είναι οικονομικά ανταγωνιστική. Ο λέβητας καύσης είναι ρευστοστερεά κλίνη και με ισχύ 70 MW. Η μονάδα βρίσκεται κοντά σε βιομηχανία θειϊκού οξέος, όπου το θερμό θειϊκό οξύ, πριν την λειτουργία της μονάδας ψύχονταν με θαλασσινό νερό. Μετά την λειτουργία της μονάδας όμως, έγινε προσθήκη τριών εναλλακτών θερμότητας, οι οποίοι συνδέθηκαν με το δίκτυο τηλεθέρμανσης. Από εκεί γίνεται ανάκτηση θερμότητας 15MW και το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σε σειρά ή παράλληλα με την μονάδα.

Η μονάδα έχει ηλεκτρική απόδοση 25% και ολική 89%. Παράγει 20MW ηλεκτρικής και 50MW θερμικής ενέργειας. Η αναλογία ηλεκτρισμού/θερμότητας είναι 0,4.

**Πίνακας 4.10:** Διαθέσιμες πηγές βιομάζας στη Φινλανδία [11]

ΤΟΜΕΑΣ	ΠΗΓΗ	ΧΡΗΣΗ 2000 (PJ/έτος)	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑ (τόνοι ε.ξ./έτος)	ΠΙΘΑΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (PJ/έτος)
ΓΕΩΡΓΙΑ	Αγροτικά υπολείμματα επί ξηρού	0	540843	9,7
	Ζωικά υπολείμματα	0,03	86702	8,2
	Ενεργειακές καλλιέργειες	0,216	μη διαθέσιμα	μη διαθέσιμα
ΔΑΣΗ	Ξυλεία	45,3	2.777.778	50
	Δασικά παραπροϊόντα	5	5.333.333	96
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	Βιομηχανικά υπολείμματα	190,6	17.015.111	190,99
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Αστικά και κατεδαφίσεων	2	683.450	10
	Υγρών (υλίσ) και στερεών (ΧΥΤΑ)	0,56	863.000	4
ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΚΗΠΟΙ	Αστική ξυλεία	0	0	0
	Χορτα-αγρωσιώδη	0	0	0
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	12,3 PJ ξυλεία κυρίως από Ρωσία			12,3
ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	0,8PJ pellets στη Δανία, Σουηδία, Ολλανδία			0,8

#### **4.3.4.4 Πορτογαλία**

Η Πορτογαλία έχει έκταση 92.389 km<sup>2</sup>, ενώ βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Ευρώπης. Παρά το μικρό μέγεθος της, χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλία γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Αποτελείται από βαθύπεδα: μόνο το 11,6% της επιφάνειας έχει υψόμετρο πάνω από 700 μέτρα. Το νότιο τμήμα της χώρας χαρακτηρίζεται από πεδιάδες, ποτάμια και γενικά ομαλό ανάγλυφο, περιλαμβάνοντας λίγους λόφους και μια οροσειρά, ενώ το βόρειο κατά 90% έχει υψόμετρο πάνω από 400 μέτρα. Το κλίμα χαρακτηρίζεται από μεταβατικά χαρακτηριστικά μεταξύ ωκεάνιου (δυτικά) και μεσογειακού [12].

#### **Ενεργειακή κατάσταση και ενέργεια από ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα**

Πρόκειται για μια χώρα με μεγάλη εξάρτηση από την εισαγωγή πετρελαίου και καυσίμων γενικότερα. Έχει χαμηλή παραγωγή ενέργειας, ενώ για να αντιμετωπιστεί η κατάσταση, η Πορτογαλική ενεργειακή πολιτική απελευθέρωσε την αγορά ενέργειας, διασφάλισε την παροχή ενέργειας, βελτίωσε την ενεργειακή απόδοση και στόχευσε στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Μικρό ποσοστό έχει η ενέργεια από βιομάζα (5,16%), με το πετρέλαιο να κυριαρχεί ως καύσιμο παραγόμενης ενέργειας. Ο άνθρακας και το φυσικό αέριο ακολουθούν, ενώ οι εισαγωγές ενέργειας φτάνουν μέχρι και το 88,5% της ολικής παρεχόμενης ενέργειας.

Η συμπαραγωγή καλύπτει κατά ένα 10% τη ζήτηση σε ηλεκτρισμό, σχεδόν αποκλειστικά στον βιομηχανικό τομέα. Το δίκτυο φυσικού αερίου εξαπλώνεται. Υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης, κυρίως στον βιομηχανικό τομέα και στη συνέχεια στον εμπορικό και οικιακό.

Σε μελέτη του COGEN [17] το 2001, εκτιμήθηκε ότι η Πορτογαλία μπορούσε να αναπτύξει, μέχρι το 2003, 570 MWe, από τα οποία τα 350MWe θα προερχόταν από τουρμπίνες αερίου. Στην πραγματικότητα εγκαταστάθηκαν 100MWe.



### **Ενεργειακή πολιτική – οικονομικά κίνητρα**

Η χώρα προκειμένου να ωθήσει την συμπαραγωγή και την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, υιοθέτησε το 1994 Ενεργειακό Πρόγραμμα σύμφωνα με το οποίο κρατικές και ευρωπαϊκές επιχορηγήσεις φτάνουν το 20-25% του κεφαλαίου της επένδυσης, με πολύ χαμηλό επιτόκιο. Ο στόχος του Προγράμματος είναι η παραγωγή ενέργειας 170MW από ΑΠΕ. Επιπλέον δόθηκε βάση στην νομοθεσία. Αναλυτικότερα:

- Με νόμο του 88, καθιερώθηκε υποχρεωτική η αγορά ενέργειας και με ευνοϊκούς όρους αποπληρωμής.
- Με νόμο του 95, έγιναν οικονομικές και φορολογικές διευκολύνσεις στην ενέργεια από ΑΠΕ
- Με νόμο του 99, καθιερώθηκε η απελευθέρωση της αγοροπωλησίας ενέργειας και θερμότητας
- Ορίστηκε καθορισμένη τιμή τροφοδοσίας για ηλεκτρισμό παραγόμενο από ΑΠΕ (99)
- Δόθηκαν επιδοτήσεις σε προγράμματα κόστους άνω των 25000 ευρώ, που έχουν στόχο την ενέργεια από ΑΠΕ, την εξοικονόμηση ενέργειας και τη χρήση φυσικού αερίου.

Άλλες αλλαγές που έγιναν τα τελευταία χρόνια στην ενεργειακή πολιτική της χώρας είναι η απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς, η εισαγωγή φυσικού αερίου, τα κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας και παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ.

Παρόλα αυτά, η χώρα έχει να αντιμετωπίσει τα συνήθη εμπόδια της τηλεθέρμανσης από βιομάζα (μεγάλο κεφάλαιο αρχικής επένδυσης, ποικιλία στην ποιότητα καυσίμου, τιμές ενέργειας, έλλειψη εμπιστοσύνης στις νέες τεχνολογίες, νέες επιχειρήσεις που ασχολούνται με τον τομέα, που η φερεγγυότητα και η ποιότητα των υπηρεσιών τους ποικίλει). Επιπλέον, η Πορτογαλία, καθώς και η Ελλάδα, έχουν να αντιμετωπίσουν τα εξής:

- Λόγω κλίματος, οι μέρες που απαιτείται θέρμανση είναι πολύ λιγότερες σε σχέση με τις βόρειες χώρες, που έχει αντίκτυπο στα οικονομικά του θέματος.
- Υπάρχει δυσκολία στη συλλογή των δασικών υπολειμμάτων

- Οι υπάρχοντες και πιθανοί επενδυτές αδυνατούν ακόμα να φέρουν εις πέρας ενεργειακά προγράμματα βιομάζας, όχι μόνο για οικονομικούς λόγους, αλλά και για οργανωτικούς και θέματα τεχνολογικών αποφάσεων.

### **Πηγές βιομάζας**

Η φυσική βλάστηση της χώρας αποτελείται από φυλλοβόλα του Ατλαντικού και αειθαλή της Μεσογείου και της Αφρικής. Στη βόρεια Πορτογαλία κυριαρχούν δυο είδη πεύκου και τρία οξιάς, καστανιές, φλαμουριές, φτελιές και ελιές. Νότια απαντώνται χαρουπόδεντρα, αμυγδαλιές, συκιές και ελιές, οι οποίες επεκτάθηκαν στο νότο τελευταία. Το 1/3 της χώρας καλύπτεται από δάση και οι περισσότερες ορεινές περιοχές είναι κατάλληλες για τη δασοκομία και δασικά προϊόντα [12].

Η Πορτογαλία έχει πολλές δυνατότητες αξιοποίησης στο θέμα της ενέργειας από βιομάζα. Σύμφωνα με στοιχεία του 2000, δεν εκμεταλλευόταν καθόλου τα αγροτικά υπολείμματα, ενώ έχει ένα ενεργειακό δυναμικό της τάξης του 25,8 PJ/έτος. Αντίστοιχα, στον τομέα των ζωικών υπολειμμάτων υπάρχει ένα μικρό ποσοστό αξιοποίησης του ενεργειακού δυναμικού (Πίνακα 4.11).

Στον τομέα της δασικής βιομάζας, αφενός γίνεται πλήρης αξιοποίηση της ξυλείας, με 100% εκμετάλλευση του ενεργειακού δυναμικού (στοιχεία 2000), ενώ αντίθετα δεν υπάρχει καμία αξιοποίηση των δασικών παραπροϊόντων. Όσον αφορά τα βιομηχανικά υπολείμματα, η Πορτογαλία είναι σε καλό επίπεδο ενεργειακής αξιοποίησης τους, ενώ έχει μεγάλα περιθώρια βελτίωσης στο τομέα της αξιοποίησης της αστικής βιομάζας, όπου με βάση στοιχεία του 2000, δεν γινόταν καμία εκμετάλλευση.

Στον τομέα των εισαγωγών –εξαγωγών δεν έχει παρουσιάσει καμία δραστηριότητα.

### **Χαρακτηριστικά παραδείγματα: ΣΗΘ μικρής κλίμακας**

Στην Πορτογαλία υπάρχει ένας μικρός αριθμός μονάδων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας:

- Ένα σύστημα κυψέλης καυσίμου για εφαρμογές θέρμανσης τύπου Vaillant ισχύος 5 kW στο Instituto Superior Tecnico, τμήμα του Πανεπιστημίου της Λισσαβόνας (εγκαταστάθηκε με βάση το πείραμα πεδίου του Vaillant's Virtual Fuel Cell Power Plant).
- Μια μικροτουρμπίνα τύπου Capstone 30 kW στο Lablec (κέντρο ενεργειακής έρευνας του Electricite de Portugal).
- Λίγες μονάδες SenerTec ισχύος 5 kW που λειτουργούν σε ξενοδοχεία.
- Αρκετές μονάδες Fiat Totem ισχύος 15kW που λειτουργούν σε ξενοδοχεία και πισίνες

Για τη Πορτογαλία εκτιμάται ότι η τεχνολογική αγορά έχει δυνατότητες παραγωγής περίπου 500 MW, χρησιμοποιώντας μονάδες ΣΗΘ μεγέθους μικρότερου των 150 kW. Αν αυτές οι δυνατότητες αξιοποιούνταν, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εκτιμάται ότι θα μειώνονται κατά 287.000 τόνους/έτος. Οι μονάδες αυτές μπορούν να εγκατασταθούν και να χρησιμοποιηθούν για εμπορικά κέντρα, αθλητικά κέντρα, ξενοδοχεία, μικρές βιομηχανίες –βιοτεχνίες, οικοδομικά τετράγωνα, γεωργικές δραστηριότητες που απαιτούν ζεστό νερό, και μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

Από άποψη κόστους, ένα παράδειγμα λειτουργίας παρουσιάζεται παρακάτω. Αφορά μια μικροτουρμπίνα 30kW που λειτουργεί σε ξενοδοχείο (Πίνακας 4.12) [26].

**Πίνακας 4.11:** Πηγές βιομάζας στη Πορτογαλία [11]

ΤΟΜΕΑΣ	ΠΗΓΗ	ΧΡΗΣΗ 2000 (PJ/έτος)	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑ (τόνοι ε.ξ/έτος)	ΠΙΘΑΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(PJ/έτος)
ΓΕΩΡΓΙΑ	Αγροτικά υπολείμματα επί ξηρού	0	1.433.000	25,8
	Ζωικά υπολείμματα	0,03	1.214.750	12,9
	Ενεργειακές καλλιέργειες	0	μη διαθέσιμα	μη διαθέσιμα
ΔΑΣΗ	Ξυλεία	27,4	1.522.222	27,4
	Δασικά παραπροϊόντα	0	1.173.000	21
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	Βιομηχανικά υπολείμματα	42,63	3.768.136	49,65
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Αστικά και κατεδαφίσεων	0	4.000	0,048
	Υγρών (υλίσ) και στερεών (ΧΥΤΑ)	0	2.388.000	10,04
ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΚΗΠΟΙ	Αστική ξυλεία	0	0	0
	Χορτα-αγρωσιώδη	0	0	0
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ				0
ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ				0,1

**Πίνακας 4.12:** Κοστολόγηση εφαρμογής μικροτουρμπίνας ΣΗΘ 30kW σε ξενοδοχείο

Κόστος εγκατάστασης	76.000€
Παραγόμενος ηλεκτρισμός	124.721 kW
Παραγόμενη θερμότητα	244.906 kW
Αξία παραγόμενου ηλεκτρισμού	13.677€
Κόστος επιπλέον γκαζιού που χρησιμοποιείται <sup>1</sup>	1.940 €
Κόστος συντήρησης	624 €
Ετήσια οφέλη (annual savings) <sup>2</sup>	11.113 €
Χρόνος απόσβεσης	6,8 έτη
Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub>	17 τόννοι/ έτος

1. Υπολογίστηκε με βάση το μικρότερο ποσοστό κατανάλωσης γκαζιού για μονάδες μικροτουρμπίνας

2. Δεν συνυπολογίστηκαν έξοδα ασφάλισης

Οι ρυθμίσεις της ενεργειακής πολιτικής ως προς την εφαρμογή μικρών μονάδων ΣΗΘ είναι οι εξής:

#### Σύνδεση με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο

Πρόσφατες νέες ρυθμίσεις στη νομοθεσία έκαναν την διεργασία εγκατάστασης μικρο-μονάδων ΣΗΘ πιο απλή. Οι μονάδες που εξάγουν έως 150 kW δικαιούνται σύνδεσης με το εθνικό δίκτυο, ακολουθώντας απλές διεργασίες.

#### Κοστολόγιο

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μονάδες ΣΗΘ κοστολογείται με προνομιακή τιμή. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, οι τιμές διαφέρουν, με τη λογική ότι οι νέες τεχνολογίες λαμβάνουν μεγαλύτερα οφέλη από τις ήδη υπάρχουσες (Πίνακας 4.13).

**Πίνακας 4.13:** Προνομιακές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας ανά τεχνολογία

Τεχνολογία	Προνομιακή τιμή (€λεπτά/kWh)
Μηχανές κύκλου Otto	1,0
Μικρο-τουρμπίνες	1,5
Μηχανές Stirling	2,0
Κυψέλες καυσίμων	20,0
Φωτοβολταϊκά	20,0

#### Κίνητρα για νέες επενδύσεις

Η κυβέρνηση παρέχει άτοκα δάνεια, που καλύπτουν έως το 20% του κόστους επένδυσης, για νέες εγκαταστάσεις μονάδων μικρο-ΣΗΘ υψηλής απόδοσης.

#### **4.3.4.5 Ιρλανδία**

Η Ιρλανδία έχει περίπου 4 εκατ. κατοίκους και έκταση 70280 km<sup>2</sup>. Η βιομηχανική δραστηριότητα καλύπτει περίπου το 46% της εθνικής οικονομίας.

##### **Ενεργειακή κατάσταση και ενέργεια από ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα**

Τη περίοδο 1997-98 το 11% του ηλεκτρισμού της Ιρλανδίας προερχόταν από πέντε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με ποάνθρακα, λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας του. Η παρεχόμενη ενέργεια από βιομάζα το 1999 ήταν στο επίπεδο του 1,2%. Υπάρχει έλλειψη ευαισθητοποίησης και πληροφόρησης σχετικά με τα πλεονεκτήματα της βιομάζας ως καύσιμη ύλη. Δεν υπάρχει εξοικείωση του καταναλωτή και των επενδυτών για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Επιπλέον, υπήρχε έλλειψη πολιτικής και κινήτρων ανάπτυξης της συγκεκριμένης ΑΠΕ [15].

Το φυσικό αέριο είναι από τις πλέον αναπτυσσόμενες επιλογές στην Ιρλανδία. Έχει αποθέματα αρκετά ώστε να είναι αυτόνομη, αν και τελευταία παρουσιάστηκε σημαντική μείωσης αποθεμάτων. Η εισαγωγή πετρελαίου μειώθηκε στη δεκαετία 86-97, λόγω στροφής προς τον άνθρακα, ενώ η χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμη ύλη σχεδόν διπλασιάστηκε την ίδια περίοδο. Αυτό ήταν αποτέλεσμα της ενεργειακής πολιτικής της χώρας.

Η ΣΗΘ στην Ιρλανδία παρέχει το 2,1% του ηλεκτρισμού κυρίως στον βιομηχανικό τομέα. Δεν υπάρχει δίκτυο τηλεθέρμανσης. Γενικά αναμένεται ανάπτυξη στην μεγάλης κλίμακας βιομηχανία και στον εμπορικό τομέα. Σύμφωνα με μελέτη του φορέα της Ιρλανδίας που ασχολείται με την αειφόρο ενέργεια (Sustainable Energy Ireland, SEI) [16], η ενέργεια από βιομάζα μπορεί να φτάσει μέχρι τα 45MWe το 2005, από τα οποία τα 33 μπορούν να προέρχονται από αγροτικά υπολείμματα.

##### **Ενεργειακή πολιτική – οικονομικά κίνητρα**

Προκειμένου να αυξηθεί η ενεργειακή αυτονομία της χώρας, το Electricity Supply Board και το Bord Gais Eireann υποστηρίζουν και προωθούν τη

ΣΗΘ. Επιπλέον, ενίσχυση δραστηριοτήτων σχετικά με ΣΗΘ γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Βελτίωση της αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων γενικά.
- Αντικατάσταση κάποιων μονάδων με νέες τεχνολογίες.
- Ανανέωση του συστήματος μεταφοράς.
- Υποστήριξη προγραμμάτων που αφορούν ΑΠΕ
- Εγκαθίδρυση του Γραφείου Πληροφόρησης για Ανανεώσιμες (1995) σαν τμήμα του Κέντρου Ιρλανδικής Ενέργειας

Επιπλέον, χρηματοδοτήθηκαν 10 νέα προγράμματα που αφορούν τις ανανεώσιμες. Τα προγράμματα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα που αφορά τις ανανεώσιμες: δημιουργία ενεργειακών καλλιεργειών, μελέτες σχετικές με δασοκομία και παραγωγή ενέργειας από ξύλο, γενικές περιβαλλοντικές έρευνες, πιλοτικό πρόγραμμα κατασκευής δασυλλίου περιοδικώς ξυλευόμενο κα.

Τέλος, εκδόθηκε Σχέδιο Στρατηγικής Αειφόρου Ανάπτυξης το 1997, όπου συν τοις άλλοις αναφέρθηκε στην αειφόρο ενέργεια. Οι στόχοι που τέθηκαν είναι [16]:

- Ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και άλλων ρυπαντών με καθαρότερη παραγωγή ενέργειας, αλλά και με εξοικονόμηση στην κατανάλωση
- Προώθηση εξοικονόμησης ενέργειας από τους καταναλωτές
- Διατήρηση της ποιότητας αέρα σε τοπική κλίμακα
- Μέγιστη αποδοτικότητα της παραγωγής ενέργειας και έμφαση στη χρήση ΑΠΕ
- Εξασφάλιση ενεργειακής διαθεσιμότητας με προστασία του περιβάλλοντος παράλληλα

### **Πηγές βιομάζας**

Η Ιρλανδία διαθέτει σημαντικά αποθέματα ενέργειας από βιομάζα. Η χώρα παρόλα αυτά (με βάση στοιχεία του 2000), δεν παρουσίαζε έντονη εκμετάλλευση του ενεργειακού δυναμικού της από βιομάζα. Μικρά ποσά

ενέργειας παρήχθησαν από ξυλεία, βιομηχανικά υπολείμματα και αστικά απόβλητα (υγρά και στερεά) (Πίνακας 4.14). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το 2000 ο τομέας εκμετάλλευσης ξυλείας για παραγωγή ενέργειας καλύπτει το 100% των δυνατοτήτων της χώρας, ενώ στους υπόλοιπους τομείς, η δραστηριότητα είναι μηδαμινή, εκτός ίσως από τον βιομηχανικό τομέα, όπου και σε αυτή την περίπτωση αξιοποιείται ένα μεγάλο μέρος του ενεργειακού δυναμικού [16]. Η αξιοποίηση υπολειμμάτων ξυλείας είναι ένας καλός πρόδρομος για την ανάπτυξη και εκμετάλλευση ενεργειακών καλλιεργειών.

Σύμφωνα με μελέτη του Sustainable Energy Ireland [15], με την εκμετάλλευση του 10% τις καλλιεργήσιμης γης της χώρας από περιοδικώς ξυλευόμενες καλλιέργειες, η χώρα θα κάλυπτε το 14% του TPES (Total Primary Energy Supply) για το 2000, ή την ενέργεια που παράχθηκε τον ίδιο χρόνο από άνθρακα.

Η ενέργεια από αστικά απορρίμματα καθώς και τα αγροτικά υπολείμματα έχει επίσης δυνατότητες ανάπτυξης,. Η παραγωγή ενέργειας από βιομηχανικά υπολείμματα παρουσιάζει επίσης προοπτική, καθώς υπάρχει ήδη κάποια ανάπτυξη. Συνολικά η Ιρλανδία έχει ενεργειακό δυναμικό από βιομάζα 38,17 PJ/έτος, από τα οποία το μεγαλύτερο μέρος προέρχεται από ζωικά υπολείμματα. Σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, ο τομέας των ζωικών υπολειμμάτων παρουσιάζει υψηλές τιμές.

### **Χαρακτηριστικά παραδείγματα**

Στα πλαίσια μιας φιλοπεριβαλλοντικής πολιτικής, και πρόθεση συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές του Κιότο, αλλά και της ανάπτυξης της ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα στη χώρα, ξεκίνησε η εγκατάσταση μιας πρωτοποριακής μονάδας εκμετάλλευσης οργανικών (ζωικών και φυτικών) αποβλήτων.

Η μονάδα θα εγκατασταθεί σε περιοχή όπου είναι συγκεντρωμένες βιομηχανίες πουλερικών και μανιταριών. Η εκμετάλλευση των οργανικών αποβλήτων για την συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, λύνει



ταυτόχρονα το πρόβλημα επεξεργασίας και διάθεσης των αποβλήτων, ενώ συμβάλλει στην μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, η μονάδα θα παράγει 22,5MW ηλεκτρικής ενέργειας, από τα οποία τα 20 MW θα πωλούνται στο εθνικό δίκτυο. Η μονάδα θα λειτουργεί με ατμοστρόβιλο, ενώ η θερμική ικανότητα θα είναι 80MW.

Το έργο θα έχει συνολική διάρκεια 40 μήνες, στους οποίους προβλέπεται η ποσοτικοποίηση και ταυτοποίηση του διαθέσιμου καυσίμου, καθορισμός βέλτιστης τοποθεσίας για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους, έκδοση άδειων, κατασκευή και λειτουργία. Ο χρόνος κατασκευής υπολογίζεται στους 18 μήνες.

Η μονάδα είναι η πρώτη παγκοσμίως που θα χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη οργανικά απόβλητα βιομηχανιών πουλερικών σε συνδυασμό με βιομηχανιών μανιταριών (κομπόστ υπολειμμάτων μανιταριών και απόβλητα πουλερικών). Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο ότι συμβάλλει στην παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη απόβλητα, λύνοντας ταυτόχρονα το πρόβλημα της επεξεργασίας τους.

Η μονάδα αυτή στοχεύει στο να συντελέσει στην επίτευξη του στόχου της ΕΕ για περισσότερη ενέργεια από ΣΗΘ, να ενισχύσει τη θέση των μικρομεσαίων επιχειρήσεων στον τομέα παραγωγής ενέργειας και να προωθήσει την ανάπτυξη της ΣΗΘ στην Ιρλανδία.

**Πίνακας 4.14:** Πηγές βιομάζας στην Ιρλανδία [11]

ΤΟΜΕΑΣ	ΠΗΓΗ	ΧΡΗΣΗ 2000 (PJ/έτος)	ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑ (τόνοι επί ξηρού/έτος)	ΠΙΘΑΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (PJ/έτος)
ΓΕΩΡΓΙΑ	Αγροτικά υπολείμματα επί ξηρού	0	59.500	2,1
	Ζωικά υπολείμματα	0	2.772.695	25,6
	Ενεργειακές καλλιέργειες	0	μη διαθέσιμα	μη διαθέσιμα
ΔΑΣΗ	Ξυλεία	3,4	188.889	3,4
	Δασικά παραπροϊόντα	0	128.000	2,3
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	Βιομηχανικά υπολείμματα	1,17	260.000	1,37
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	Αστικά και κατεδαφίσεων	0	63.500	0,8
	Υγρών (υλίσ) και στερεών (ΧΥΤΑ)	1	630.000	2,6
ΠΑΡΚΑ ΚΑΙ ΚΗΠΟΙ	Αστική ξυλεία	0	0	0
	Χορτα-αγρωσιώδη	0	0	0
ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ				0
ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ				0

#### **4.3.4.6 Ελλάδα**

##### **Ενέργειακη κατάσταση και ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα**

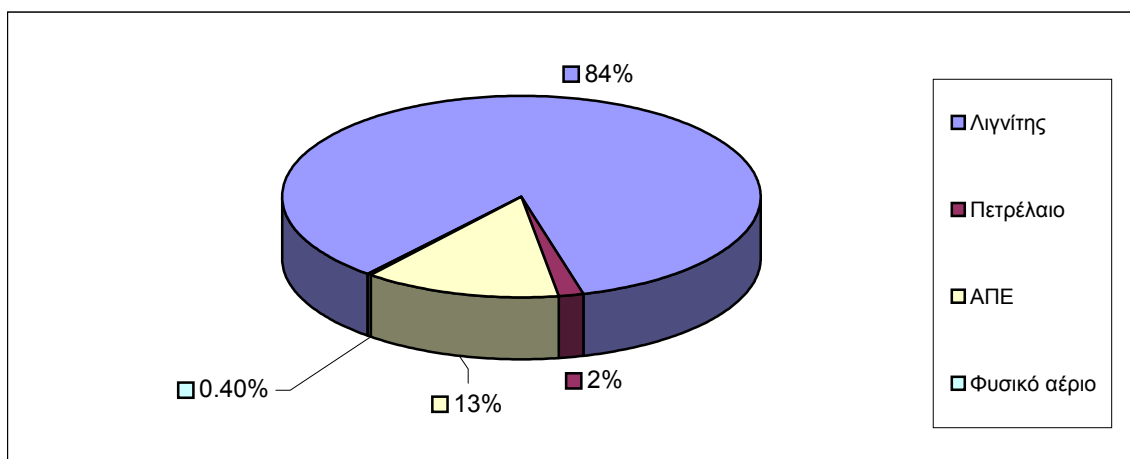
Η ΔΕΗ είναι η κυριότερη παραγωγός επιχείρηση σε θέματα ενέργειας, ενώ μέχρι πρόσφατα είχε το μονοπώλιο στον τομέα αυτό. Έχει εγκατεστημένους 34 μεγάλους θερμικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς και 3 αιολικά πάρκα στην ηπειρωτική χώρα, ενώ υπάρχουν 58 αυτόνομοι σταθμοί στην Κρήτη, τη Ρόδο και τα λοιπά νησιά (33 θερμικοί, 2 υδροηλεκτρικοί, 18 αιολικά πάρκα, 5 φωτοβολταϊκοί). Τον Αύγουστο του 2004 εντάχθηκε στο σύστημα και ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Αθρινόλακκου ισχύος 102 MW.

Η ΔΕΗ έχει ιδρύσει την Διεύθυνση Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΔΕΜΕ), η οποία ασχολείται με τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση και αποδοτική εκμετάλλευση των εναλλακτικών μορφών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με τον εντοπισμό και την καταγραφή του αιολικού, ηλιακού και γεωθερμικού δυναμικού της χώρας.

Επίσης, έχει συστήσει τη θυγατρική “ΔΕΗ – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΕ”, που ασχολείται με τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ οποιασδήποτε πηγής χωρίς περιορισμό στο ύψος του προϋπολογισμού τους. Η ΔΕΜΕ έχει υποβάλλει στη ΡΑΕ αιτήσεις αδειών παραγωγής ενέργειας από αιολικά έργα, από τις οποίες έχουν εγκριθεί 23 πάρκα σε όλη την Ελλάδα, συνολικής ισχύος 87,10 MW. Από αυτά αναμένεται να υλοποιηθούν όσα θα ενταχθούν σε χρηματοδοτικά προγράμματα. Επιπλέον, έχουν ξεκινήσει οι διεργασίες για την εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου της Λέσβου [25].

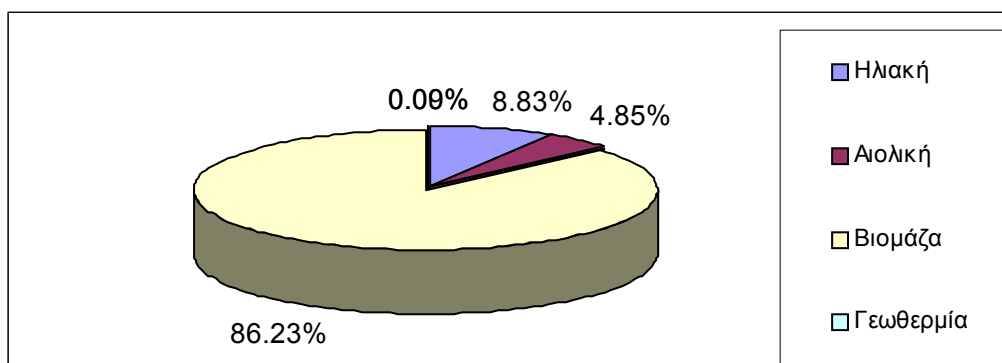
Παρότι όμως από τον Φεβρουάριο του 2001 παρέχεται το δικαίωμα επιλογής προμηθευτή σε 7.500 καταναλωτές (δηλαδή στο 34% της κατανάλωσης), δεν υφίσταται σήμερα ουσιαστική δυνατότητα δραστηριοποίησης προμηθευτή διαφορετικού από τη ΔΕΗ και κατά συνέπεια δεν μπορεί να αναπτυχθεί άμεσα κάποιος ανταγωνισμός [26].

Η πιο σημαντική ενεργειακή πηγή της Ελλάδας είναι ο λιγνίτης. Στο Διάγραμμα 4.12, φαίνεται η εγχώρια πρωτογενής παραγωγή ενέργειας το 2002 [27]. Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται κυρίως για την κάλυψη νησιωτικών συστημάτων μη συνδεδεμένων με την ηπειρωτική χώρα [28].



**Διάγραμμα 4.12:** Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας 2002 [27]

Στο παρακάτω Διάγραμμα 4.13 παρουσιάζεται η συνεισφορά των επιμέρους ανανεώσιμων πηγών στην παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ, σύμφωνα με στοιχεία του ΚΑΠΕ για το 2002 [27].



**Διάγραμμα 4.13:** Κατανομή ειδών ενέργειας από ΑΠΕ (επί %) [27]

Το 36% των ενεργειακών πόρων της Ελλάδας καταναλώνεται στον οικιακό και τον τριτογενή τομέα (δημόσιες και ιδιωτικές υπηρεσίες). Οι τομείς αυτοί ευθύνονται για το 40% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της χώρας. Περίπου 40 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) απελευθερώνονται κάθε χρόνο στην ατμόσφαιρα από την ενέργεια που

καταναλώνουμε κυρίως για φωτισμό, ψύξη, θέρμανση, παραγωγή ζεστού νερού κλπ, στα ιδιωτικά, εμπορικά και δημόσια κτίρια [26].

Η Ελλάδα είναι από τις χώρες της ΕΕ με τη μικρότερη ανάπτυξη στο τομέα της ΣΗΘ. Στον Πίνακα 4.11 που ακολουθεί αναγράφονται μονάδες ΣΗΘ βιομηχανικών εγκαταστάσεων στη χώρα.

Μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζας πρωτοεμφανίστηκαν στην Ελλάδα για την περιβαλλοντική αξιοποίηση βιοαερίου από ΧΥΤΑ και από ΜΕΥΑ. Στον Πίνακα 4.12 που ακολουθεί αναγράφονται οι μονάδες που εκμεταλλεύονται το παραγόμενο βιοαέριο για συμπαραγωγή. Επιπλέον δόθηκαν άδειες για εκμετάλλευση του βιοαερίου από τους ΧΥΤΑ Κέρκυρας (Τεμπλόνη), Θεσσαλονίκης (Θέρμη), Αττικής (Λιόσια) και από ΜΕΥΑ στην Αττική (Μεταμόρφωση) και Αχαΐα (Πάτρα). Προτάσεις που εγκρίθηκαν από την ΡΑΕ αφορούν επίσης στην λειτουργία μονάδας ΣΗΘ από απόβλητα χοιροτροφείου στην Πρέβεζα (Φιλλιπιάδα), φρουτοβιομηχανίας στη Λακωνία (Σπάρτη), κλαδοδέματα και πυρηνέλαιο στην Μεσσηνία (Μελιγάλας) [29].

Άλλες εφαρμογές που παρουσιάζονται σε άλλη πηγή [30] είναι μια μονάδα αξιοποίησης υπολειμμάτων εκκοκκισμού στη Βοιωτία, μια μονάδα αξιοποίησης πυρηνόξυλου για ζεστό νερό και θέρμανση χώρων σε ξενοδοχείο της Κρήτης, θέρμανση θερμοκηπίων με υπολειμματική βιομάζα σε διάφορες περιοχές της χώρας (ελαιουργείων στην Κέρκυρα, τσόφλια αμυγδάλου στο Βελεστίνο, άχυρου σιτηρών στις Σέρρες) και τηλεθέρμανση με καύση δασικής βιομάζας στο Ν. Αρκαδίας (κοινότητα Νυμφασίας).

Οι ενεργειακές παροχές από τις παραπάνω εφαρμογές έχουν ως εξής [30]:

<i>Εκκοκκιστήρια βαμβακιού</i>	<i>0,4 PJ/έτος</i>
<i>Πυρηνόξυλου</i>	<i>8,3 PJ/έτος</i>
<i>Πυρήνες φρούτων και κελύφη αμυγδάλων</i>	<i>0,01PJ/έτος</i>
<i>Φλοιοί ρυζιού</i>	<i>0,09PJ/έτος.</i>

**Πίνακας 4.11:** Εγκαταστάσεις μονάδων ΣΗΘ στην Ελλάδα [31]

Επιχείρηση	Πόλη	Τεχνολογία	Δραστηριότητα	Εγκαταστημένη ισχύς (MW)	Ηλ. Παραγωγή (GWh) 2000	Καύσιμο
Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης	Λάρισα	Ατμοτουρμπίνα	Τρόφιμα	12	23,401	Φυσικό αέριο
	Πλάτη	Ατμοτουρμπίνα		12	24,919	
	Σέρρες	Ατμοτουρμπίνα		6	10,695	
	Ξάνθη	Ατμοτουρμπίνα		16	9,904	
	Ορεστιάδα	Ατμοτουρμπίνα		10	14,77	
ΕΤΜΑ	Αθήνα	Ατμοτουρμπίνα	Υφαντουργία	13,1	35,668	Πετρέλαιο
Motor Oil	Κόρινθος	Αεριοτουρμπίνα	Διυλιστήρια	23	241,987	Πετρέλαιο
Διυλιστήρια Ασπροπόργου	Ασπρόπυργος	Ατμοτουρμπίνα	Διυλιστήρια	50	341,975	Πετρέλαιο
Ετ. πετρελαίου Β. Αιγαίου	Καβάλα	Αεριοτουρμπίνα	Πετρέλαια	16,5	50,566	Πετρέλαιο
Λιπάσματα φωσφόρου	Καβάλα	Ατμοτουρμπίνα	Χημικά	25	129,411	Φυσικό αέριο
	Θεσσαλονίκη	Ατμοτουρμπίνα		10,5	26,242	
Ελληνική Αλουμίνια	Δίστομο	Ατμοτουρμπίνα	Πρώτες ύλες	11,6	51,504	Πετρέλαιο
Amylum Hellas	Αθήνα	Αεριοτουρμπίνα	Τρόφιμα	5,1	26,726	Πετρέλαιο
EXALCO	Λάρισα		Πρώτες ύλες	2,7	2,693	Πετρέλαιο
<b>Σύνολο</b>				<b>213,5</b>	<b>990,461</b>	

**Πίνακας 4.12:** Μονάδες ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα [29]

Εταιρεία	Δραστηριότητα	Ηλεκτρική ικανότητα (Mwe)	Θερμική ικανότητα (MWth)	Παραγόμενη ηλεκτρική (MWh/y)	Παραγόμενη θερμική (MWh/y)	Δεδομένα
ΕΥΔΑΠ Ψυτάλλεια	ΜΕΥΑ	7,37	2,7	64.000,00	70.000,00	Κατ' εκτίμηση
Κοινοπραξία (δημοτική& ιδιωτική)	Βιοαέριο ΧΥΤΑ	13,00	16,55	107.000,00	109.000,00	Κατ' εκτίμηση
Δήμος Βόλος	ΜΕΥΑ	0,35	0,5	2.100,00	4.200,00	Κατ' εκτίμηση
Δήμος Ηρακλείου	ΜΕΥΑ	0,19	0,25	0,64	Περιστασιακή χρήση	2001
Δήμος Χανίων	ΜΕΥΑ	0,17	Μη διαθέσιμα	44,00	1.000,00	2000
Αγρίνιο	Βιομηχανία ρυζιού	0,44	Μη διαθέσιμα	1.033,00	22.500,00	Κατ' εκτίμηση
ΣΥΝΟΛΟ		21,52	20,00	174.177,64	206.700,00	

## **Ενεργειακή πολιτική – οικονομικά κίνητρα**

Η ενεργειακή πολιτική της χώρας τις τελευταίες δεκαετίες συνεχώς μεταβάλλεται. Τις δεκαετίες 70 και 80, στόχος ήταν η ενεργειακή αυτάρκεια, όποτε γίνεται η εγκατάσταση νέων λιγνιτικών μονάδων. Την δεκαετία του 90, στόχος είναι η κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών, ενώ γίνονται τα πρώτα βήματα προς την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας [32]. Οι νέες ρυθμίσεις περιγράφονται από τους εξής νόμους:

### **Νόμος 2244/94:**

*«Κανονισμός σε θέματα παραγωγής ηλεκτρισμού από ΑΠΕ και συμβατικά καύσιμα»*

Με την εισαγωγή ειδικών ρυθμίσεων ωθείται η πρώτη ανάπτυξη των ΑΠΕ κυρίως με οικονομικά προνόμια.

Ειδικά για τη **συμπαγωγή**, ο νόμος διαχωρίζει την παραγωγή ενέργειας σε δυο κατηγορίες: στην «*αυτόνομη*», όπου κατασκευάζεται μονάδα ΣΗΘ για να καλύψει τις ανάγκες μιας επιχείρησης –βιομηχανίας, είτε είναι συνδεδεμένη με το εθνικό δίκτυο είτε όχι, και στην «*ανεξάρτητη*», όπου μπορεί όλη η παραγόμενη ενέργεια να πωλείται, άσχετα από την κάλυψη των αναγκών της μονάδας. Υπάρχουν διαφορετικές ρυθμίσεις κατά περίπτωση, που αφορούν στην επιλογή του καυσίμου και στην αγορά της παραγόμενης ενέργειας.

Συνοψίζοντας, ο νόμος 2244/94 συνέβαλε στην προώθηση των ΑΠΕ και της ΣΗΘ ειδικότερα με 3 πρωτοποριακές τομές:

- Την απελευθέρωση της παραγωγής ενέργειας από ιδιώτες
- Την υποχρέωση αγοράς της παραγόμενης ενέργειας από τη ΔΕΗ
- Τον καθορισμό εγγυημένης τιμής

### **ΥΑ Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995**

Με την απόφαση Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας (ΦΕΚ Β' 385) καθορίστηκαν αφενός οι διαδικασίες



αδειοδότησης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και αφετέρου οι γενικοί τεχνικοί και οικονομικοί όροι των συμβάσεων μεταξύ παραγωγών και ΔΕΗ [33].

### Νόμος 2773/99

Ο Ενεργειακός νόμος 2773/99: «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας –Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις», (ΦΕΚ Α286/22-12-99) αντικατέστησε τον 2244/94 και εστίασε στο υφιστάμενο πλαίσιο για την απελευθέρωση της αγοράς, ώστε να συμφωνεί με τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 96/92. Διατήρησε το ευνοϊκό τιμολογιακό καθεστώς των ΑΠΕ δίνοντας έμφαση και στο θέμα προτεραιότητας στο δίκτυο [42]. Ιδρύθηκε η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), ενώ αναφέρεται η υποχρέωση του *Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας* (ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε., ανεξάρτητη Αρχή<sup>4</sup>) να παρέχει προτεραιότητα πρόσβασης στο δίκτυο στις εγκαταστάσεις μετατροπής ΑΠΕ ισχύος έως 50MWe. [35,36].

Την δεκαετία 2000, στόχος της ενεργειακής πολιτικής είναι η εναρμόνιση της ενεργειακής κατάστασης σύμφωνα με τα ισχύοντα στην ΕΕ, καθώς και η εναρμόνιση με στόχους του Κιότο. Ο νόμος 2773/99 τροποποιείται με τον νόμο 3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις». Άλλοι κανονισμοί και διατάξεις σχετικά με τα νέα ενεργειακά δεδομένα είναι:

### Υπουργική Απόφαση (ΥΑ) 17951/00

Προκειμένου να καθοριστεί η διαδικασία αδειοδότησης, ορίστηκε ο «Κανονισμός Αδειών Παραγωγής και Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας» [32].

---

<sup>4</sup> Η ύπαρξη του ΔΕΣΜΗΕ προβλέφθηκε στις διατάξεις του Ν.2773/1999 και η σύστασή του έγινε με το Π.Δ. 328/2000 με σκοπό τη λειτουργία, εκμετάλλευση, διασφάλιση της συντήρησης και την ανάπτυξη του Συστήματος σε ολόκληρη τη χώρα, καθώς και των διασυνδέσεων του με άλλα δίκτυα για να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια με επαρκή, ασφαλή, οικονομικά αποδοτικό και αξιόπιστο τρόπο [42].

### Νόμος 2941/2001

Ο Ν. 2941/2001 συμπλήρωσε το Ν. 2773/99, κυρίως όσον αφορά τον ορισμό των γενικών όρων και συνθηκών, υπό τις οποίες επιτρέπεται η εγκατάσταση μονάδων ΑΠΕ [42].

### Κώδικας συναλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας

Ο κώδικας (ΥΑ Δ5/Β/Φ1/8988/14.05.01) ρυθμίζει τους τεχνο-οικονομικούς κανόνες που διέπουν τις εμπορικές συμφωνίες μεταξύ του ΔΕΣΜΗΕ και των κατόχων αδειών παραγωγής, προμήθειας, αποκλειστικής κυριότητας και διαχείρισης δικτύου.

### Κώδικας Διαχείρισης του Συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Στην συνέχεια της ίδιας υπουργικής απόφασης (ΥΑ Δ5/Β/Φ1/8989/14.05.01), ορίζεται κώδικας προκειμένου να ρυθμιστούν θέματα σχετικά με τη διαχείριση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [32].

### Ν.3017/2002

Με το Ν. 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση –πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ Α117) επισημοποιήθηκε η δέσμευση της χώρας για δράσεις αντιστρατευόμενες την τάση επιδείνωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου [42].

### Κ.Υ.Α. 1726/8-5-2003

Η ΚΥΑ αυτή έχει αντικείμενο την απλοποίηση των αδειοδοτικών διαδικασιών για έργα ΑΠΕ. Περιορίσε από 41 σε 26 τον αριθμό των φορέων και υπηρεσιών από τις οποίες απαιτείται γνωμοδότηση [36].

Υ.Α Δ6/Φ1/οικ.19500/4-11-2004

Δημιουργούνται θετικές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη *Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας* σε μη βιομηχανικές περιοχές, αλλά και σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εμπορικά κτίρια και οικίες.

Το ΥΠΑΝ επεξεργάζεται νομοσχέδιο για την προώθηση νέων χρηματοδοτικών εργαλείων, για την πραγματοποίηση ενεργειακών ιδιωτικών επενδύσεων αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής [37].

Ως σήμερα δεν έχουν αξιοποιηθεί όσο θα έπρεπε, τόσο στη νομοθεσία όσο και στη νομολογία, οι διεθνείς και οι κοινοτικοί κανόνες που διέπουν, άμεσα ή έμμεσα, τις Α.Π.Ε., αν και -για να χρησιμοποιηθούν δύο μόνο χαρακτηριστικά παραδείγματα- το Πρωτόκολλο του Κιότο του 1998 και η Οδηγία 77/2001 δεσμεύουν τη χώρα μας και της επιβάλλουν απτές υποχρεώσεις, μετρήσιμες με δείκτες. Η δημιουργική συνεκτίμησή τους θα διευκολύνει την ταχεία ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στη χώρα μας [33].

#### **Χρηματοδοτικοί μηχανισμοί - Προγράμματα**

Προκειμένου να υπάρχει εξέλιξη στον τομέα της συμπαράγωγής, απαραίτητη είναι η χρηματοδότηση νέων επενδύσεων και οικονομική υποστήριξη γενικότερα. Η οικονομική υποστήριξη στην Ελλάδα ξεκίνησε ουσιαστικά την δεκαετία του 90 με μορφή επιχορηγήσεων για επενδύσεις, μέσω Εθνικών και Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων. Αναλυτικά:

#### **Αναπτυξιακός νόμος 1892/90**

Ο νόμος αυτός παρείχε χρηματοδοτήσεις σε ιδιωτικές επιχειρήσεις, σε συνδυασμό με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, (υποκατηγορία για τις ΑΠΕ), που ήταν η βασική πηγή χρηματοδότησης έργων ΑΠΕ.

#### **Αναπτυξιακός νόμος 2601/98**

Οι διατάξεις του αναπτυξιακού νόμου αναφέρονται σε επενδύσεις ή και προγράμματα χρηματοδοτικής μίσθωσης εξοπλισμού που αφορούν:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ
- **Συμπαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας**
- Υποκατάσταση υγρών καυσίμων ή ηλεκτρικής ενέργειας με επεξεργασμένα απορριπτόμενα υλικά από εγχώριες βιομηχανίες
- Εξοικονόμηση ενέργειας

που γίνονται από ιδιωτικές εταιρείες ή και από ΟΤΑ [38].

Ο Αναπτυξιακός νόμος απορρόφησε κονδύλια του 2<sup>ου</sup> ΚΠΣ, κυρίως για την επιχορήγηση ιδιωτικών επενδύσεων και την προώθηση τοπικής ανάπτυξης.

Οι ενισχύσεις που προβλέπει ο αναπτυξιακός νόμος είναι:

- *Επιχορήγηση:*
- *Επιδότηση τόκων:*
- *Επιδότηση χρηματοδοτικής μίσθωσης:*
- *Φορολογική απαλλαγή [38].*

Ο νόμος καθορίζει το χρηματοδοτικό πλαίσιο των επενδύσεων με βάση γεωγραφικούς όρους, ενώ για την **συμπαγωγή** υπάρχει ενιαία επιχορήγηση σε όλη τη χώρα, προκειμένου να προωθηθεί η ανάπτυξη της. Συγκεκριμένα, επιχορηγεί κατά 40% το συνολικό εγκεκριμένο κόστος επένδυσης ΑΠΕ και παρέχει επιδότηση 40% στους τόκους των σχετικών δανείων ή εναλλακτικά επιδότηση 40% στους τόκους των δανείων και 100% μείωση φόρων στο κόστος επένδυσης ΑΠΕ [26].

#### Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ)

Τον Ιανουάριο 94 ξεκίνησε το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας, που διήρκεσε μέχρι το 2001 και συντονίστηκε από το ΥΠ.ΑΝ. Το Πρόγραμμα παρείχε επιχορηγήσεις για επενδύσεις στις ΑΠΕ και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Χρηματοδοτήθηκαν επενδύσεις της ΔΕΗ που στόχευαν την παραγωγή ηλεκτρισμού, ιδιωτικά προγράμματα για εξοικονόμηση ενέργειας και παραγωγή από ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένης της **ΣΗΘ**, μελέτες για ανάπτυξη ενέργειας από εγχώριες πηγές, ΑΠΕ, καθώς και μελέτες για την ενεργειακή πολιτική. [39,40].

### Νόμος 2364/95 - Πρώτο Εθνικό Σχέδιο Δράσης (1995)

Ο Νόμος 2364/95 αφορά στην σύνταξη του Πρώτου Ενεργειακού Εθνικού Σχεδίου Δράσης. Τα πιο σημαντικά μέτρα του σχεδίου αφορούσαν στους τομείς παραγωγής ηλεκτρισμού (παροχή), και περιελάμβαναν, συν τοις άλλοις, την κατασκευή μονάδων **συμπαγωγής** σε υφιστάμενες και νέες μονάδες και μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευσης των ΑΠΕ [40] .

Ο Νόμος, επίσης, σε διάταξη του ορίζει ότι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης οικιστικών εφαρμογών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ μπορεί να εκπίπτει έως και 75% από το φορολογήσιμο εισόδημα. Αυτό μεταφράζεται, σύμφωνα με εκτιμήσεις, σε μείωση κόστους εγκατάστασης μέχρι και 30% [41].

### ΚΥΑ 163/1995

Η ΚΥΑ αυτή έδωσε μεγάλη οικονομική υποστήριξη σε επενδύσεις που αφορούν βιομάζα την περίοδο 94-99, μέσω της προώθησης εφαρμογής σε θερμοκήπια: δόθηκαν επιχορηγήσεις μόνο σε θερμοκήπια που καλύπτουν τις θερμικές ανάγκες από βιομάζα, ηλιακή ή γεωθερμική ενέργεια. Την περίοδο αυτή εγκρίθηκαν 12 έργα σχετικά με την ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας, ενώ ένα από αυτά αφορά **συμπαγωγή**.

### Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα (ΕΠΙΑΝ)

Το Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα (2000-2006) στηρίζεται στο 3<sup>ο</sup> Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Χρηματοδοτήσεις που αφορούν επενδύσεις ΣΗΘ παρουσιάζονται στον Οδηγό Ενεργειακών Επενδύσεων (2002) στον 2<sup>ο</sup> Άξονα, Μέτρο 2.1 –Δράση 2.1.3: «Οικονομικά κίνητρα για την ενίσχυση μεμονωμένων ιδιωτικών ενεργειακών επενδύσεων». Το Μέτρο 2.1 αφορά στην ενίσχυση ιδιωτικών επενδύσεων για συστήματα συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (**ΣΗΘ**), για υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με υγραέριο ή φυσικό αέριο, για εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμησης ενέργειας.

Το Μέτρο 2.1 συν τοις άλλοις περιλαμβάνει:

- Την προώθηση της **συμπααραγωγής** ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και της εξοικονόμησης ενέργειας (ΕΞΕ), περιλαμβάνοντας έργα ενημέρωσης, προώθησης και διάδοσης, μελέτες για την υποστήριξη των παραπάνω τεχνολογιών και έργα υποδομής τεχνικής υποστήριξης, τόσο σε κεντρικό, όσο και σε περιφερειακό επίπεδο.

- Μελέτη, δημιουργία και εφαρμογή ενός ειδικού καθεστώτος ενίσχυσης των ιδιωτικών επενδύσεων σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Στο πλαίσιο του καθεστώτος αυτού, αναμένεται η υλοποίηση έργων που σχετίζονται με αιολικά συστήματα, υδροηλεκτρικά έργα, αξιοποίηση βιομάζας με έμφαση στην ανάπτυξη συστημάτων **συμπααραγωγής** κα έργα ΑΠΕ. Τα έργα αξιοποίησης βιομάζας αφορούν σε αξιοποίηση υπολειμμάτων ή παραγώγων λυμάτων, καθώς και αστικών ή βιομηχανικών απορριμμάτων.

- Μελέτη, δημιουργία και εφαρμογή ενός ειδικού καθεστώτος ενίσχυσης επενδύσεων συμπααραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), με χρήση συμβατικών καυσίμων (κυρίως φυσικό αέριο) από καταναλωτές ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα [42].

Ο τομέας της **συμπααραγωγής** συναντάται και στον 6<sup>ο</sup> Άξονα προτεραιότητας «Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού και προώθηση της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας».

Στο Μέτρο 6.3 (Ειδικές ενεργειακές υποδομές για τα νησιά και για τη προώθηση των ΑΠΕ), Δράση 6.3.2 «Έργα προώθησης καινοτόμων λύσεων», περιλαμβάνονται εκτός των άλλων και ειδικά έργα ενίσχυσης του συστήματος μεταφοράς και έργα επέκτασης ή ενίσχυσης του δικτύου διανομής στα νησιά και στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, για την προώθηση υλοποίησης έργων ΑΠΕ και Συμπααραγωγής. Στην περίπτωση ΣΗΘ από βιομάζα, το ανώτατο επιλέξιμο όριο είναι:

- Αγροτικά υπολείμματα: 2.000 € / εγκατεστημένο kWe
- Λύματα: 1.500 € / εγκατεστημένο kWe
- Βιομηχανικά και αστικά στερεά απορρίμματα: 1.500 € / εγκατεστημένο kWe [34]

Στο Μέτρο 6.5 (Προώθηση συστημάτων ΑΠΕ, **Συμπααραγωγής** στο ενεργειακό σύστημα της χώρας –Εξοικονόμησης ενέργειας) συγκεκριμένα, η προώθηση των συστημάτων ΑΠΕ και ΣΗΘ γίνεται μέσω:

- Παροχής οικονομικών κινήτρων για μεμονωμένες ιδιωτικές ενεργειακές επενδύσεις σε συστήματα συμπααραγωγής και ΑΠΕ
- Ενίσχυσης επενδύσεων στο ηλεκτρικό σύστημα /δίκτυο για την σύνδεση έργων ηλεκτροπαραγωγής, που θα χρηματοδοτηθούν από Μέτρα του ΕΠΑΝ [35,40].

Η συμπααραγωγή αποκλειστικά με χρήση βιομάζας αποτελεί ξεχωριστή κατηγορία στο σύνολο των έργων (ΑΠΕ/ΒΙ3).

### 2<sup>ο</sup> Εθνικό Πρόγραμμα Μείωσης των Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου

Το Πρόγραμμα αυτό εκδόθηκε το Μάρτιο του 2002 από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Η επιλογή των μέτρων έγινε με βάση την τεχνολογική και εμπορική ωριμότητα των διαθέσιμων τεχνολογιών, την άμεση και μετρήσιμη απόδοση τους ως προς τη μείωση των εκπομπών και τέλος, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής οικονομίας και κοινωνίας, ενώ προωθεί την εισχώρηση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και στη **συμπααραγωγή**.

### Υπουργική Απόφαση (ΥΑ) Φ2.1.3/13821/1275/4.8.2004

Η ΥΑ αυτή ενσωματώνει τις αναγκαίες ρυθμίσεις και απαιτούμενες διαδικασίες για τη συγχρηματοδότηση του κόστους σύνδεσης των έργων **ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού-Θερμότητας (ΣΗΘ)**, που εντάσσονται στο πλαίσιο της Δράσης 2.1.3 του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα» (ΕΠΑΝ), με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Στην ΥΑ τροποποιούνται τα κείμενα των Οδηγών Ενεργειακών Επενδύσεων του 2001 και 2002. Η επιχορήγηση θα ανέρχεται σε ποσοστό έως 50%.

## **Προοπτικές**

Στην Ελλάδα έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια μία προσπάθεια ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου. Το μεγάλο ενδιαφέρον των επενδυτών για το βιοαέριο διαφαίνεται και στις αιτήσεις που έχουν υποβληθεί στη ΡΑΕ, από τις οποίες έχουν ήδη εγκριθεί (2003) δέκα αιτήσεις για άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 48MW, με καύση βιοαερίου από επεξεργασία αγροτοβιομηχανικών οργανικών αποβλήτων, μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (ΜΕΥΑ) και από Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) με την τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα προοπτική, την οποία εξετάζει το ΚΑΠΕ είναι η ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων βιομηχανιών επεξεργασίας εσπεριδοειδών. Από τους 150.000 τόνους οργανικών αποβλήτων, που προκύπτουν κάθε χρόνο από 18 βιομηχανίες επεξεργασίας εσπεριδοειδών, θα μπορούσε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια 27 GWhe/έτος, ικανή να καλύψει τις ετήσιες ανάγκες μιας πόλης 6.500 κατοίκων, καθώς και θερμική ενέργεια 41 GWhth/έτος [37]. Στην περίπτωση αυτή έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ.

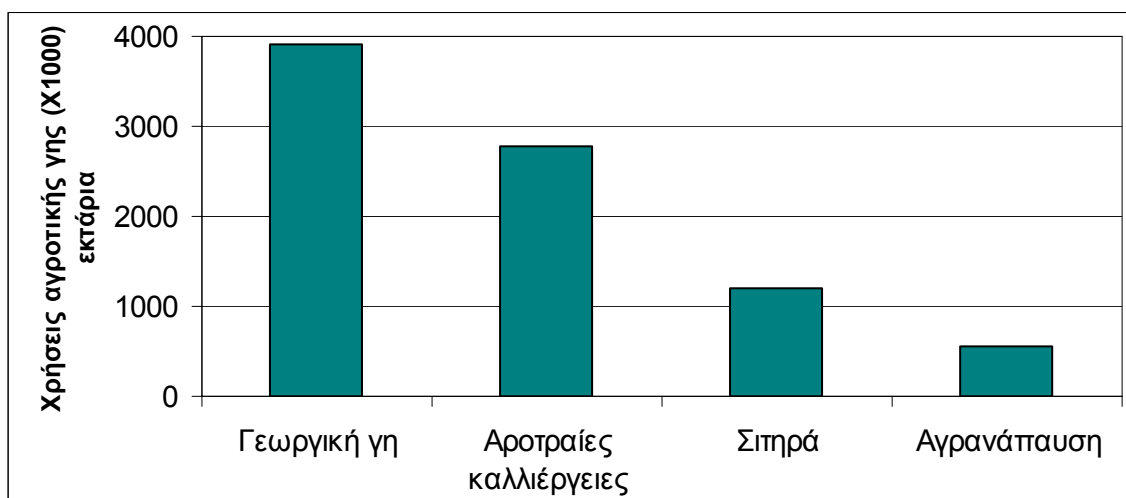
Τέλος, μία επενδυτική πρόταση, η οποία δεν υλοποιήθηκε αλλά θα μπορούσε να επανενεργοποιηθεί στο μέλλον, είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από αγροτικά παραπροϊόντα στην Κρήτη ή και άλλα νησιά [32].

## **Πηγές βιομάζας**

Η γεωργική δραστηριότητα αποτελεί από τους κύριους τομείς της ελληνικής παραγωγικής δραστηριότητας, με σημαντικές ποσότητες γεωργικών υπολειμμάτων, που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ενεργειακά. Ο γεωργικός τομέας αποτελεί το 6% του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος και καταλαμβάνει το 20% του τομέα της απασχόλησης. Το 69% της συνολικής έκτασης της χώρας αξιοποιείται για γεωργική παραγωγή, που αντιστοιχεί σε 9,2 εκ. εκτάρια (συμπεριλαμβανομένων των βοσκοτόπων). Στο Διάγραμμα 4.14 που ακολουθεί



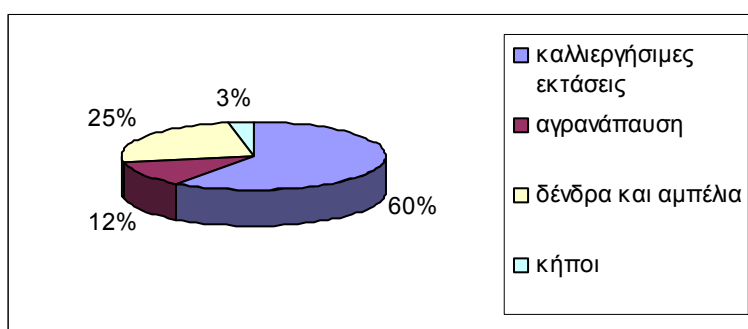
παρουσιάζεται η κατανομή χρήσεων γης της αγροτικής παραγωγής για το 2000, ενώ στο Διάγραμμα 4.15 η ποσοστιαία κατανομή των δραστηριοτήτων.



**Διάγραμμα 4.14:** Κατανομή χρήσεων γης της αγροτικής παραγωγής (2000) [45]

Ο πληθυσμός που απασχολείται στον γεωργικό τομέα παρουσιάζει χαμηλή τεχνική κατάρτιση, ενώ ηλικιακά είναι άνω των 45 ετών [30]. Τα δυο αυτά γεγονότα προκαλούν δυσκολία στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών στην αγροτική παραγωγή, ενώ έχει παρατηρηθεί μείωση της απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα.

Τα βαμβακοστελέχη και τα υποπροϊόντα καλλιέργειας ελιάς αποτελούν περίπου το 46% του διαθέσιμου δυναμικού, ενώ η Κεντρική Ελλάδα είναι έχει τις μεγαλύτερες ποσότητες αγροτικών υπολειμμάτων, λόγω της έντονης γεωργικής δραστηριότητας.



**Διάγραμμα 4.15:** Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γεωργικής γης [45]

Το θεωρητικό δυναμικό γεωργικών υποπροϊόντων υπολογίζεται σε 7,5 εκατ. τόνους ξ.ο./ έτος, με διαθέσιμο δυναμικό 3,8 εκατ. τόνους ξ.ο./έτος και ενεργειακό δυναμικό 69PJ/έτος [30]. Τα κύρια γεωργικά υπολείμματα της ελληνικής αγροτικής παραγωγής συνιστώνται στα εξής:

- Άχυρο: σκληρό/μαλακό σιτάρι, ρύζι
- Στελέχη: αραβόσιτος, βαμβάκι, καπνός
- Σπάδικες: αραβόσιτος
- Φούντα: καπνός
- Κλαδοδέματα: αμπέλι, ροδακινιά, πορτοκαλιά, ελιά, αμυγδαλιά

Η γεωργική βιομηχανία έχει σημαντικό θεωρητικό δυναμικό (0,6 εκατ τόνους ξηρού όγκου /χρόνο) και ενεργειακό δυναμικό 10 PJ/έτος και ως εκ τούτου είναι ένας ενδιαφέρον τομέας αξιοποίησης υπολειμματικής βιομάζας. Από την εκμετάλλευση των γεωργικών προϊόντων στην γεωργική βιομηχανία προκύπτουν τα εξής υπολείμματα [30]:

- Εκκοκκιστήρια βαμβακιού: φύλλα, άχρηστες ίνες
- Βιομηχανίες μεταποίησης φρούτων: πυρήνες
- Σπαστήρια αμυγδάλων: κέλυφος αμυγδάλων
- Πυρηνελαιουργεία: πυρηνόξυλο
- Ορυζόμυλοι: φλοιός ρυζιού
- Ελαιουργεία: ελαιοπυρήνας

Η παραγωγικότητα των ενεργειακών καλλιεργειών της Ελλάδας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.13 , ενώ τα βασικά είδη που καλλιεργούνται είναι [30]:

- Καλάμι (*Arundo donax*)
- Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*)
- Μίσχανθος (*Miscanthus sinensis x giganteus*)
- Switchgrass (*Panicum viratum*)
- Ευκάλυπτος(*Eucalyptus spp.*)
- Ψευδακακία (*Robinia pseudacacia*)
- Γλυκό και ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor*)
- Κενάφ (*Hibiscus cannabinus*)
- Ελαιοκράμβη (*B.carinata*, *B.napus*)

**Πίνακας 4.13:** Παραγωγικότητα ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα [30]

<i>Φυτικά είδη</i>	<i>Αποδόσεις (t ξ.ο/εκτάριο/χρόνο)</i>
Καλάμι	20-30
Αγριαγκινάρα	10-20
Μίσχανθος	11-30
Switchgrass	14-25
Ευκάλυπτος	<35
Ψευδακακία	5,6-17,1
Γλυκό /ινώδες σοργό	13-27
Κενάφ	15
Ελαιοκράμβη	3-8

Τα είδη της βιομάζας, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε εθνικό επίπεδο είναι [46]:

- *Υπολείμματα καλλιέργειας και επεξεργασίας βαμβακιού:* Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται 4.000.000 στρ για καλλιέργεια βαμβακιού από τα οποία παράγονται ετησίως 1.200.000t βαμβάκι. Από τη διεργασία αυτή προκύπτουν 120.000t αγροτικού υπολείμματος, το οποίο αντιστοιχεί σε 42.000 ΤΙΠ (τόνους ισοδύναμου πετρελαίου). Εκτός αυτού, υπολείμματα παράγονται κατά τη συλλογή του βαμβακιού, τα οποία ανέρχονται σε 350 kg/km<sup>2</sup> και τα οποία χαρακτηρίζονται από ένα θερμικό περιεχόμενο 3.400 kcal/kg. Η ετήσια παραγωγή των υπολειμμάτων αυτών φτάνει τους 1.400.000 t, μια ποσότητα που ισοδυναμεί με 408.000 ΤΙΠ.

- *Υπολείμματα ελιάς:* Τα στερεά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα κατά τη διεργασία παραγωγής ελαιολάδου αντιστοιχούν στο 12% της σοδειάς. Η ενέργεια η οποία μπορεί να ανακτηθεί από αυτά ετησίως, εκτιμάται σε 100.000 ΤΙΠ, χωρίς να υπολογίζεται η ποσότητα που χρησιμοποιείται για άλλες χρήσεις.

- *Καλαμπόκι:* Η καλλιέργεια του καλαμποκιού λαμβάνει χώρα σε 2.000.000 στρ και παράγονται 1.200–1.500 kg/km<sup>2</sup> ετησίως. Θεωρητικά, η ετήσια καύση των υπολειμμάτων που προκύπτουν ισοδυναμεί με 800.000 ΤΙΠ.

- *Ρύζι:* Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις ρυζιού στην Ελλάδα έχουν έκταση 250.000 στρ, δίνοντας ετησίως ποσότητα ρυζιού 700 kg/km<sup>2</sup>. Κατά τη διεργασία αυτή παράγονται 35.000 t υπολειμμάτων, που ισοδυναμούν με 10.000 ΤΙΠ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4<sup>ΟΥ</sup>

- [1] BIOCOGEN, Internim report Johanneum research “*Solid biomass CHP in EU countries*” [www.cres.gr/biocogen/pdf/solid%20biomass.pdf](http://www.cres.gr/biocogen/pdf/solid%20biomass.pdf)
- [2] EUROPEAN COMMISSION – ENERGY, “*European bio energy projects*”  
<http://ec.europa.eu/energy/>
- [3] COGEN, “*The future of CHP in the European energy market – The European cogeneration Study*”  
[http://tecs.energyprojects.net/links/final\\_publishable\\_report.pdf](http://tecs.energyprojects.net/links/final_publishable_report.pdf)
- [4] CRES, “*Eubionet Austria Report*”,  
[http://www.cres.gr/biocogen/country\\_profiles.htm](http://www.cres.gr/biocogen/country_profiles.htm)
- [5] BIOS, 2001 “*Biomass fired CHP plant based on an ORC cycle – Project: ORC-STIA-Admont*”, Final publishable report, Admont, 2001  
<http://bios-bioenergy.at/bios01/downloads/finalreport.pdf>
- [6] Obernberger I. 2000, “*Biomass CHP plant based on an ORC process - realised EU-demonstration project in Admont/ Austria*”, Meeting of IEA Bioenergy, TASK 19 “*Biomass Combustion*”, 6 – 8th December 2000, Broadbeach, Australia
- [7] COGEN, “*Austria profile*”,  
[http://www.cogen.org/publications/reports\\_and\\_studies.htm](http://www.cogen.org/publications/reports_and_studies.htm)
- [8] COGEN “*Denmark profile*”,  
[http://www.cogen.org/publications/reports\\_and\\_studies.htm](http://www.cogen.org/publications/reports_and_studies.htm)
- [9] EDUCOGEN, 2001 “*A guide to cogeneration*”,  
[http://www.cogen.org/Downloadables/Projects/EDUCOGEN\\_Cogen\\_Guide.pdf](http://www.cogen.org/Downloadables/Projects/EDUCOGEN_Cogen_Guide.pdf)
- [10] Obernberger I., Carlsen H., Biedermann F., 2003 “*State-of-the-art and future developments regarding small-scale biomass CHP systems with a special focus on ORC and Stirling engine technologies*”, Proceedings of the International Nordic Bioenergy Conference
- [11] Nikolaou A., Remrova M., Jeliakov I., 2003 “*Biomass availability in Europe*” Report prepared by: Centre for Renewable Energy Sources, BTG Czech Republic s.r.o, ESD Bulgaria Ltd..
- [12] Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς Μπριτάννικα, 1996 Έκδοση συνεργασίας Grande Encyclopedie Larousse, Encyclopedia Britannica, Εκδ. Οργανισμός Πάπυρος.
- [13] COGEN “*Finland profile*”  
[http://www.cogen.org/publications/reports\\_and\\_studies.htm](http://www.cogen.org/publications/reports_and_studies.htm)
- [14] North P., Utriainen T., 2000, “*The use of biomass in power generation and CHP schemes*”, IMechE, Power generation by renewables, pp.65-75

- [15] Sustainable Energy Ireland 2002 “*Briefing Note on Biomass*”, Report, [www.irish-energy.ie/uploadedfiles/RenewableEnergy/BriefingNoteonBiomass.pdf](http://www.irish-energy.ie/uploadedfiles/RenewableEnergy/BriefingNoteonBiomass.pdf)
- [16] COGEN “*Ireland profile*”.  
[http://www.cogen.org/publications/reports\\_and\\_studies.htm](http://www.cogen.org/publications/reports_and_studies.htm)
- [17] [www.cogen.org](http://www.cogen.org)
- [18] COGEN EUROPE, 2004 “*Micro – CHP Fact Sheet – Portugal*”, Country report, available at: [www.cogenportugal.com](http://www.cogenportugal.com)
- [19] Kirjavainen M, Sipila K., Savola T., Salomon M., Alakangas E., 2004 “*Small scale biomass CHP technologies. Situation in Finland, Denmark and Sweden*” OPET Report 12, European Commission, Directorate – General for Energy and Transport, Contract no NNE5/2002/52, Espoo, Finland.
- [20] Frost & Sullivan reports, 2004  
“*Advances in Alternative Fuel Technologies in Europe*”,  
<http://www.frost.com/prod/servlet/report-homepage.pag?repid=D326-01-00-00-00>
- [21] <http://www.cogen.org/cogen-challenge/>
- [22] COGEN 2001, “*MICRO-MAP – Mini and Micro CHP – Market assessment and development plan. Summary report.*”  
[www.cogen.org/projects/micromap.htm](http://www.cogen.org/projects/micromap.htm)
- [23] Salomon P., *Small-scale combined heat and power plants using biofuels. Literature survey.* Department of Energy Technology. Division of CHP. Royal Institute of Technology, 2002
- [24] Simader G.R., Luncy P., Lackner P., *Small and micro scale CHP in Austria* Country report, E.V.A. the Austrian Energy Agency, Austria 2003
- [25] [www.dei.gr](http://www.dei.gr)
- [26] Ψωμάς Σ., 2003 “*Ενέργεια, Περιβάλλον και επιχειρηματικότητα. Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο*” Έκθεση Εθνικού Κέντρου Περιβάλλοντος & Αειφόρου ανάπτυξης, Νοέμβριος 2003.
- [27] IEA, 2002. *Energy policies of IEA countries. Greece 2002 Review*
- [28] ΥΠΙΑΝ, 2003. *Εθνική έκθεση για το επίπεδο διεύθυνσης της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010* (άρθρο 3 Οδηγίας 2001/77/ΕΕ), Φεβ. 2003.  
[www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)
- [29] EUBIONET 2003: “*Biomass survey in Europe: Country report of Greece*” European Bioenergy Network, Greece.
- [30] Χρήστου Μ., (2005): “*Δυνατότητες του αγροτικού τομέα και των ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα*”, ΚΑΠΕ, Πρακτικά Ημερίδας ΑΠΕ, 18.04.2005, Χανιά

- [31] OPET Network and LDK, 2004: "State of SSCHP Policy and Sector Situation in Greece", OPET CHP/DH CLUSTER, Workpackage 2: Micro and Small Scale CHP, European Commission (Directorate – General for Energy and Transport
- [32] Παπαδόπουλος Α.Μ., Παπαχρήστου Δ., 2005 «Ενεργειακή πολιτική και αξιοποίηση εγχώριων πηγών ενέργειας». Διημερίδα «Ενεργειακή πολιτική και ΑΠΕ», Χανιά, 27-28 Ιανουαρίου.
- [33] Παπακωνσταντίνου Α., 2004 «Το Νομικό Καθεστώς Των Ανανεώσιμων Πηγών Ηλεκτρικής Ενεργειας», <http://www.nomosphysics.org.gr/>
- [34] Γ ΚΠΣ 2005 «Ενίσχυση Καινοτόμων Ενεργειακών Επενδύσεων Στη Νησιωτική Χώρα», Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα», Οδηγός Εφαρμογής.
- [35] Γ ΚΠΣ 2005 «Προώθηση συστημάτων ΑΠΕ, Συμπαράγωγής στο ενεργειακό σύστημα της χώρας – Εξοικονόμηση ενέργειας», , Επιχειρησιακό πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα», Μέτρο 6.5, Οδηγός Ενεργειακών Επενδύσεων, Ιούλιος.
- [36] Λυπιδής Ι., 2004 «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η εναλλακτική τεχνολογία για ένα αειφόρο μέλλον», <http://www.nomosphysics.org.gr/articles.php?artid=353&lang=1&catid=1>
- [37] Δελτίο Τύπου 10-11-2004, Υπουργείο Ανάπτυξης, Γραφείο Τύπου και Δημοσίων Σχέσεων Υφυπουργού
- [38] [www.rae.gr/K5/41.htm](http://www.rae.gr/K5/41.htm)
- [39] European Commission 2004 "State of SSCHP policy and Sector Situation in Greece", (Directorate- General for Energy and Transport) Contract no. NNE5/2002/52: OPET CHP/DH Cluster, Απρίλιος.
- [40] Λεμπέσης Β., 2005 «Η συνεισφορά των ΑΠΕ στην Περιφερειακή ανάπτυξη και στην Εθνική πολιτική για την κλιματική αλλαγή». Διημερίδα «Ενεργειακή πολιτική και ΑΠΕ», Χανιά, 27-28 Ιανουαρίου.
- [41] OPET, 2003 «Export & import possibilities and fuel prices. Country report of GREECE», Targeted actions in bioenergy network, AFB-net V
- [42] Γ ΚΠΣ 2002 «Οδηγός Ενεργειακών Επενδύσεων», , Επιχειρησιακό πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα».
- [43] COGEN 2000 "EU funding sources for Cogeneration" Briefing No 10, [www.cogen.org/Downloadables/Publications/Briefing%20Funding%20Sources.pdf](http://www.cogen.org/Downloadables/Publications/Briefing%20Funding%20Sources.pdf)
- [44] <http://europa.eu.int/comm/energy/en/altener2.htm>
- [45] Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας, [www.esye.gr](http://www.esye.gr)
- [46] Koroneos, C., Boura A, Mousiopoulos N, Zambaniotou A and N. Fillipopoulos (2000). "Technical, environmental, economical and energy analysis of alternative methods for the exploitation of agricultural wastes in Greece.", 1<sup>st</sup> World Conference on biomass for Energy and Industry, pp. 339-341

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

*Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση βιομάζας για  
Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας*

## 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να γίνει ολοκληρωμένη ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση βιομάζας ως καύσιμο, χρειάζεται η διεξαγωγή μελετών που σχετίζονται με όλη τη διαδικασία, από την παραγωγή μέχρι την τελική καύση. Συγκεκριμένα, προκειμένου να γίνει σωστός σχεδιασμός για την ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας απαιτούνται:

- Μελέτη των επιπτώσεων από ενδεχόμενη αλλαγή της χρήσης γης ή μελέτη κατάλληλης χωροθέτησης των ενεργειακών καλλιέργειών.
- Στην περίπτωση καλλιέργειας ενός συγκεκριμένου ενεργειακού είδους (μονοκαλλιέργεια) χρειάζεται μελέτη των επιπτώσεων στην τοπική βιοποικιλότητα. Αντίστοιχα, στην περίπτωση πολυκαλλιέργειας (καλλιέργεια πολλών ειδών), χρειάζεται αξιολόγηση των θετικών και αρνητικών επιπτώσεων που ενδεχομένως προκύπτουν από την ανάμειξη ειδών.
- Μελέτη για τη μείωση της χρήσης ζιζανιοκτόνων και λιπασμάτων με την κατάλληλη επιλογή είδους (υπάρχουν κάποια που είναι πιο ανθεκτικά στις ασθένειες), ή την εφαρμογή μεθόδων βιολογικού ελέγχου.
- Ολοκληρωμένη διαχείριση και μελέτη της επεξεργασίας της βιομάζας (π.χ. μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη μεταφορά, αποθήκευση και προεργασία του καυσίμου)
- Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την τεχνολογία και το σύστημα καύσης, η οποία εστιάζεται στην εκπομπή ρύπων ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , σωματίδια) και στην ανακύκλωση/ επεξεργασία των αποβλήτων (π.χ. χρήση της τέφρας ως λίπασμα, διάθεση αποβλήτων σε κατάλληλες μονάδες επεξεργασίας κατά περίπτωση κλπ)
- Τέλος, είναι επιθυμητή η Ανάλυση Κύκλου Ζωής του όλου συστήματος παραγωγής και ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας, στην κατά περίπτωση εφαρμογή [1].

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται οι τρόποι με τους οποίους η ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και ενέργειας, καθ' όλα τα στάδια της διεργασίας, έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον: αναφέρονται οι επιπτώσεις κατά την παραγωγή βιομάζας, στη συνέχεια οι επιπτώσεις κατά την μεταφορά και αποθήκευση, και κατόπιν αναλυτικά οι επιπτώσεις από την καύση για συμπαραγωγή.



## 5.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

### 5.2.1 Επιπτώσεις στο εδαφικό περιβάλλον

Η αγροτική και δασική παραγωγή είναι άμεσα συνδεδεμένη με το έδαφος, αφού αυτό παρέχει απαραίτητα συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Τελευταία, στην ΕΕ καταγράφεται ανησυχητική μείωση της παραγωγής, οφειλόμενη στην υποβάθμιση των εδαφικών πόρων, λόγω της άσκησης εντατικής μορφής της γεωργίας. Την περίοδο 1989-90, το 15-20% των εδαφών στην Ευρώπη είχαν υποστεί σημαντική υποβάθμιση, ενώ στην Ελλάδα εκτιμάται ότι το 43% της γης διατρέχει μεγάλο κίνδυνο διάβρωσης και μόνο στο 20% των εδαφών η επικινδυνότητα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα [2].

Το έδαφος είναι σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη και την πορεία ενός οικοσυστήματος. Στηρίζει το ριζικό σύστημα, παρέχει νερό και ανόργανα θρεπτικά για την ανάπτυξη των δέντρων, ενώ παρέχει τις κατάλληλες συνθήκες για την αποσύνθεση και ανακύκλωση των δασικών υπολειμμάτων [3].

Η σύνθεση και η δομή του εδάφους καθορίζει τα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων του (περιεκτικότητα σε νερό, ενεργότητα και κατακράτηση διαλυμένων ουσιών, μεταφορά θρεπτικών και ενέργειας, διάβρωση, οξείδωση, ανάπτυξη ριζών κα). Για τα εδάφη που υποστηρίζουν δασικές εκτάσεις, που χρησιμοποιούνται για ξυλεία και παραγωγή βιοενέργειας, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην παραγωγικότητά τους, την οδική προσπελασιμότητα, τους παράγοντες (χαρακτηριστικά του εδάφους) που δρουν κατασταλτικά (που περιορίζουν) στην ανάπτυξη των φυτών. Το έδαφος λειτουργεί με τους εξής τρεις τρόπους [5,6]:

- α) ως μέσο για ανάπτυξη φυτών
- β) ως μανδύας μετάδοσης νερού
- γ) ως συστατικό οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας τους βιοχημικούς και χημικούς κύκλους στοιχείων, την αναλογία σύστασης οργανικού υλικού, την ποσότητα του αποθηκευμένου άνθρακα, τον αριθμό και ποικιλία των μηχανισμών λειτουργίας του οικοσυστήματος.

*Ως εκ τούτου, κάθε μεταβολή που υφίσταται (όπως από την απομάκρυνση βιομάζας) επηρεάζει και μεταβάλλει το οικοσύστημα που υποστηρίζει, αλλά και την παραγωγικότητα του.*

Η παραγωγικότητα του εδάφους είναι η ικανότητα του να συνεισφέρει στην παραγωγή δασικής βιομάζας και εξαρτάται από τα φυσικά, χημικά, βιολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του [3]. Η παραγωγικότητα συνδέεται με το «κλίμα» του εδάφους και μεταβάλλεται με τις φυσικές ιδιότητες που το επηρεάζουν (νερό, αέρας, μεταφορά θερμότητας).

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι επίσης ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζεται από δασικές δραστηριότητες [7] και η μεταβολή της μπορεί να σταματήσει την ανάπτυξη ριζών και βλαστών [8].

Η μείωση εδαφικού οργανικού υλικού μπορεί να έχει σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ένα οικοσύστημα, [12] καθώς το υλικό αυτό είναι απαραίτητο για την παραγωγικότητα του εδάφους (τροφή και ενεργειακή πηγή σε ωφέλιμους οργανισμούς, ρυθμιστής θερμοκρασίας κα). Επίσης, είναι σημαντική πηγή θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτερα N και P που επηρεάζουν τον ρυθμό ανάπτυξης των δασών [9,10] και έχει σημαντική επιρροή στην δομή του εδάφους.

Οι δασικές δραστηριότητες μπορεί να συνεπάγονται την μείωση του εδαφικού οργανικού υλικού και το μέγεθος της μείωσης εξαρτάται από την ποσότητα βιομάζας που απομακρύνεται, την ποσότητα απομάκρυνσης ή μετακίνησης δασικού δαπέδου και το κατά πόσο μεταβάλλεται η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους. Άλλος δείκτης είναι η αναλογία της ποσότητας της βιομάζας που απομακρύνεται προς την ποσότητα που ανακυκλώνεται κατά την φυσιολογική διαδοχή [3].

Η εντατική εκμετάλλευση και διαδικασία επαναφύτευσης έχει ως αποτέλεσμα απώλεια θρεπτικών συστατικών από το πεδίο. Η μακρόχρονη επίδραση των απωλειών αυτών στην παραγωγικότητα του εδάφους δεν είναι γνωστή [13].

Η διάβρωση του εδάφους και η μετατόπιση του από τα μηχανήματα αποκομιδής μειώνουν την παραγωγικότητα του πεδίου, λόγω της απομάκρυνσης του πλούσιου σε θρεπτικά συστατικά επιφανειακού εδαφικού στρώματος [14].

Η συμπίεση του εδάφους από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την αποκομιδή μπορεί να προκαλέσει σοβαρή διαταραχή στο εδαφικό στρώμα νεκρής εδαφικής ύλης, ενώ μειώνει τα κενά αέρια διαστήματα του εδάφους και

κατ' επέκταση μειώνει την ικανότητα κατακράτησης υγρασίας, την ικανότητα των ριζών να διεισδύουν στο έδαφος, την εκκόλαψη των νέων σπόρων, καθώς και την επιβίωση των σπόρων. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από το βάρος του οχήματος και είναι πιο έντονες όταν το έδαφος είναι υγρό [51].

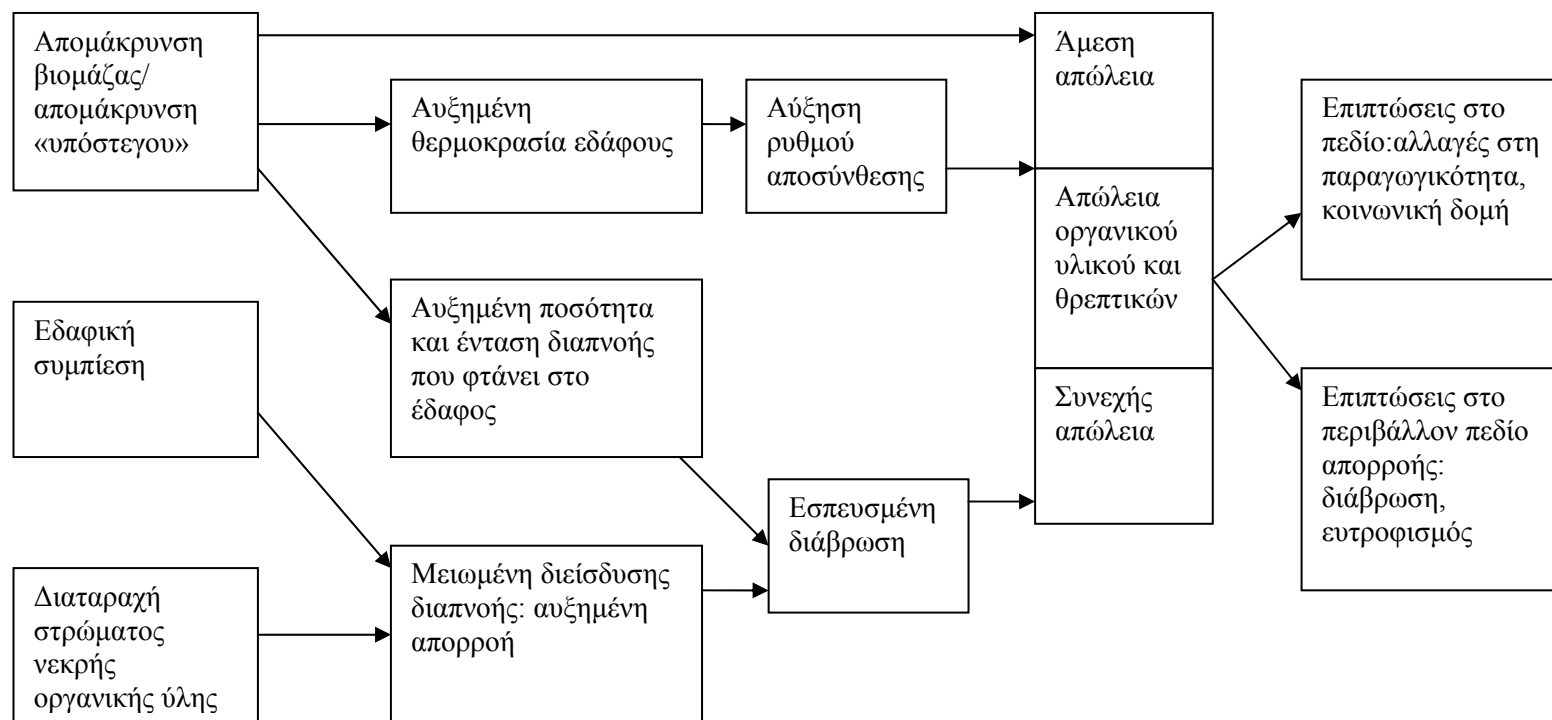
Η διάβρωση και η συμπίεση των εδαφών αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητας των εδαφών.

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά, σε διάγραμμα ροής, οι πιθανές επιπτώσεις αποκομιδής βιομάζας σε εδάφη και θρεπτικά συστατικά.

#### Ενεργειακές καλλιέργειες

Ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα της εκμετάλλευσης γης για ενεργειακές καλλιέργειες είναι η χρήση της γης για καλλιέργεια τροφής προκειμένου να συντελέσει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της πείνας σε αναπτυσσόμενες χώρες. Το παγκόσμιο πρόβλημα της πείνας, όμως, δεν προκύπτει από έλλειψη χώρου για καλλιέργεια τροφής, αλλά από θέμα παγκόσμιας οικονομικής πολιτικής, ενώ οι ενεργειακές καλλιέργειες δεν αντικαθιστούν βοσκότοπους, υδροβιότοπους, φυσικά δάση ή γεωργική γη υψηλής αξίας.

Η καλλιέργεια εκτάσεων, που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν ανεκμετάλλευτες (λόγω υποβαθμισμένης ποιότητας εδάφους), παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα: συγκράτηση εδάφους και μείωση διάβρωσης (λόγω του ριζικού συστήματος), προστασία από πλημμυρικά φαινόμενα και κατακράτηση θρεπτικών συστατικών από την εισχώρηση στον υδατικό υδροφόρα. Επιπλέον, απαιτούνται λιγότερα παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες, μειώνοντας έτσι την απορροή χημικών ενώσεων [50, 30, 15].



**Σχήμα 6.1:** Πιθανές επιπτώσεις συγκομιδής βιομάζας σε εδάφη και θρεπτικά συστατικά [51]

Ακόμη, προάγονται οι εδαφογενετικές διαδικασίες, μέσω της προσθήκης οργανικής ουσίας (από τα υπολείμματα που μένουν μετά την συγκομιδή καθώς και τα φύλλα που πέφτουν μετά την γήρανσή τους) και της βελτίωσης της δομής του εδάφους, της υδατοϊκανότητας και της αποθηκευτικής ικανότητας θρεπτικών στοιχείων [2].

Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες για τις ενεργειακές καλλιέργειες εστιάζονται στην οπτική παρενόχληση, στις επιπτώσεις στην τοπική άγρια χλωρίδα και πανίδα και στις αυξημένες απαιτήσεις της μεταφοράς των θρυμμάτων κοπής στις μονάδες ενεργειακής μετατροπής [16].

Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών σε γενικές γραμμές εκτιμάται ότι έχει σημαντικά θετικά οφέλη όσον αφορά τη διατήρηση της γονιμότητας και την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση, εφόσον διατηρηθεί αγροτική πολιτική στρατηγικής που δεν επηρεάζει την αρχική χρήση γης και δεν δημιουργεί σοβαρές διαταραχές στην ισορροπία του οικοσυστήματος (πχ πανίδα). Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η μελέτη της προς καλλιέργειας περιοχής και η κατάλληλη επιλογή του είδους του φυτού.

Όσον αφορά την απορριμματική βιομάζα, είναι ένας τρόπος μείωσης του όγκου αποβλήτων προς τελική διάθεση, επεκτείνοντας έτσι τη ζωή και χωρητικότητα των χωματερών. Τα ξυλώδη υλικά και τα υπολείμματα των κήπων αποτελούν το 20% περίπου του συνολικού ποσού των μη βλαβερών αποβλήτων που οδηγούνται στις χωματερές [50].

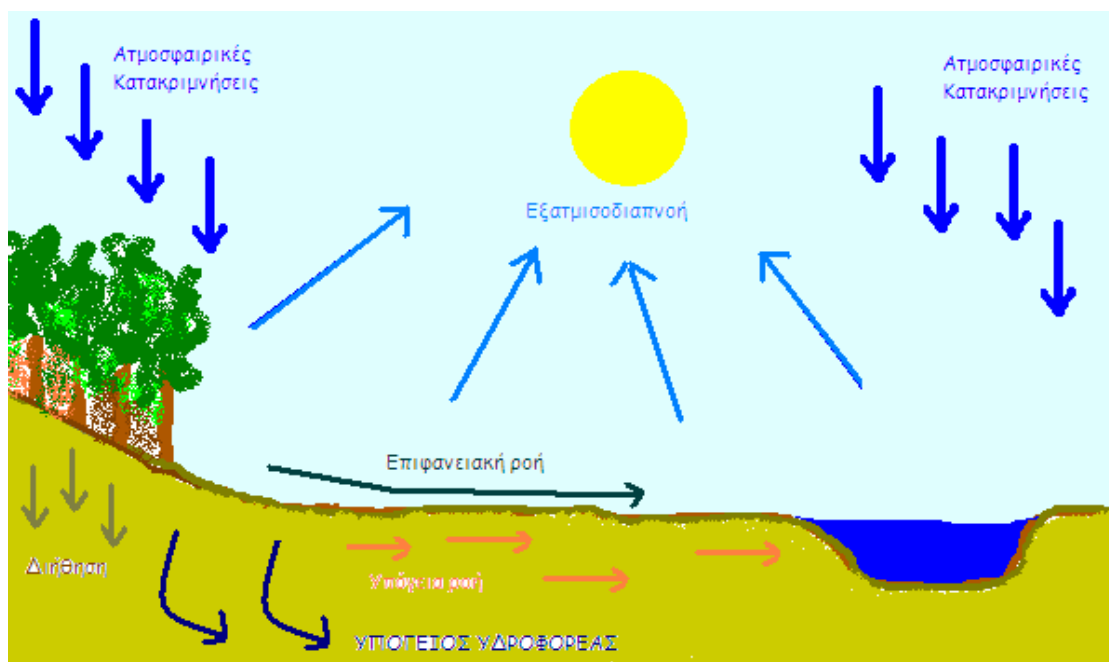
### **5.2.2 Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους**

Ο ρόλος των φυτών, αλλά και των οικοσυστημάτων, στον υδρολογικό κύκλο είναι εξίσου σημαντικός όσο και η παρουσία νερού στην ανάπτυξη των φυτών και στην ισορροπία των οικοσυστημάτων. Οι επιπτώσεις από την χρήση βιομάζας στους υδατικούς πόρους συνιστώνται αφενός στην επίδραση των δραστηριοτήτων *συγκομιδής* και αφετέρου στην επίδραση των δραστηριοτήτων *καλλιέργειας* βιομάζας στους υδατικούς πόρους (πχ η χρήση φυτοφαρμάκων).

Η εμφάνιση και το μέγεθος των επιπτώσεων της δασικής βιομάζας εξαρτώνται από το κλίμα, τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, τον προσανατολισμό, το γεωγραφικό πλάτος, το πόσο έντονη είναι η διαταραχή που δημιουργείται στο σύστημα και το ποσοστό κατά το οποίο επηρεάζεται η λεκάνη απορροής από την συγκομιδή.

Όσον αφορά τις *επιπτώσεις της συγκομιδής στη λεκάνη απορροής*, εξαρτώνται κάθε φορά από το οικοσύστημα. Συνήθως, τον πρώτο χρόνο μετά την συγκομιδή παρατηρούνται μεγαλύτερες αυξήσεις στην εισροή νερού στη λεκάνη απορροής και στον υδροφόρο [17], ενώ στη συνέχεια, η εισροή έρχεται στα ίδια επίπεδα με πριν την αποκομιδή [18]. Σε γενικές γραμμές, η ποσότητα νερού που καταλήγει στον υδροφόρο μετά την συγκομιδή αυξάνει όσο η ποσότητα φυτών που κόβεται αυξάνει, όσο δηλαδή η συγκομιδή πλησιάζει το 100% της προϋπάρχουσας βλάστησης [3].

Ο κύκλος του νερού παρουσιάζεται σχηματικά στο επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 5.2:** Ο κύκλος του νερού

Η κοπή φυτών μιας περιοχής σχετίζεται με την εμφάνιση *πλημμύρων* στη περιοχή, η οποία με τη σειρά της σχετίζεται με την ανθρώπινη υγεία και

ασφάλεια, με αλλαγές στη γεωμορφολογία της περιοχής, ακόμα και στην πολιτιστική κληρονομιά [3].

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στην *ποιότητα του νερού*, οι έρευνες εστιάζονται στη συγκέντρωση νιτρικών και άλλων θρεπτικών συστατικών, στη ποσότητα ιζημάτων και στη θερμοκρασία. Η μελέτη των παραμέτρων αυτών έχει ενδιαφέρον για την ποιότητα του νερού του υδροφόρου, όταν αυτό χρησιμοποιείται για ύδρευση, αλλά και για την διατήρηση των οργανισμών (τόσο υδρόβιων όσο και χερσαίων) του τοπικού οικοσυστήματος [19,3].

Όσον αφορά την παρουσία *νιτρικών* στο νερό, δεν έχουν παρατηρηθεί ιδιαίτερες επιπτώσεις από την κοπή δέντρων αυτή καθαυτή [20]. Αλλαγές στη συγκέντρωση νιτρικών στον υδροφόρο παρουσιάζονται όταν έχουν χρησιμοποιηθεί φάρμακα για την καταστολή της αναγέννησης των φυτών [21], σε περιπτώσεις σοβαρής πυρκαγιάς, [22] σε περίπτωση χρήσης φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων για πιο γρήγορη ανάπτυξη φυτών [19], ή σε περίπτωση εμπότισης με νιτρικά από ατμοσφαιρική απόθεση [23].

Η παρουσία *θρεπτικών συστατικών* στο νερό επηρεάζεται από την αποκομιδή δέντρων, αλλά η επίπτωση είναι μικρής διάρκειας [24]. Σύμφωνα με τους Neary and Hornbeck [19] η αύξηση των διαλυμένων ανόργανων ιόντων στον υδροφόρο μετά την αποκομιδή ξυλείας είναι μικρή και δεν έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού.

Η παρουσία *ιζημάτων* στο νερό είναι ένας αρκετά σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του νερού, λόγω της δυσκολίας επαναδιάλυσης τους, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την μόνιμη παρουσία τους στον υδροφόρο [3]. Αύξηση παρουσίας ιζημάτων προκαλείται από την διαταραχή του εδάφους από τις διεργασίες συγκομιδής, αλλά συνήθως είναι παροδική λόγω της ανάπτυξης των φυτών. Οι έντονες διαταραχές σχετίζονται με την προετοιμασία του πεδίου πριν την κοπή [18], την αστάθεια του πρανούς [26], την κατασκευή δρόμων [27] και έντονα διαβρωτικά εδάφη [28]. Οι επιπτώσεις αυτές μπορούν να μειωστούν με κατάλληλο διαχειριστικό πρόγραμμα που περιλαμβάνει τις διεργασίες πριν, κατά την διάρκεια και μετά την κοπή της ξυλείας.

Η φυτοκάλυψη προστατεύει τους υδατικούς επιφανειακούς υδροφορείς από την ηλιακή ακτινοβολία, ελαττώνοντας έτσι την ένταση και την διακύμανση της *θερμοκρασίας* του νερού [19]. Η αύξηση επομένως της θερμοκρασίας του νερού, που είναι επακόλουθο της αποκομιδής ξυλείας, επηρεάζει ποικιλοτρόπως πολλές φυσικές, βιολογικές και χημικές διεργασίες.

#### Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καλλιέργειας ενεργειακών φυτών, στο πεδίο των υδατικών πόρων, εξαρτώνται κυρίως από τις υπάρχουσες χρήσεις γης που θα αντικαταστήσουν. Συγκεκριμένα, αν πρόκειται να αντικαταστήσουν συμβατικές καλλιέργειες, τότε εκτιμάται ότι θα υπάρξει θετικό όφελος ενώ αντίθετα, αν αυτές δεσμεύσουν εδάφη που αξιοποιούνται ως λιβάδια ή βρίσκονται σε αγρανάπαυση, προβλέπεται να υπάρξουν παρόμοιες ή δυσμενέστερες επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτων.

Οι επιπτώσεις των ενεργειακών καλλιεργειών συγκεκριμένα στα υδατικά οικοσυστήματα εστιάζονται στη *χρήση λιπασμάτων* και στην *κατανάλωση νερού* [29].

Έχει αποδειχθεί ότι με κατάλληλο σχεδιασμό και προγραμματισμό οι επιπτώσεις από τα *λιπάσματα* των ενεργειακών καλλιεργειών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν (αποφυγή υπερλίπανσης, ο καταμερισμός των λιπάνσεων σε μικρές δόσεις ανάλογα το στάδιο ανάπτυξης των φυτών, η συγκαλλιέργεια των δασικών ειδών με αζωτοδεσμευτικά είδη κ.α.) [30].

Όσον αφορά τη *χρήση φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων* (που είναι ένας άλλος βασικός παράγοντας υποβάθμισης υδατικών πόρων), έχει υπολογιστεί [29] ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες απαιτούν μικρότερες εισροές αγροχημικών σε σχέση με την εντατική καλλιέργεια [29].

Οι ενεργειακές καλλιέργειες παρουσιάζουν σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τις συμβατικές ως προς την *κατανάλωση νερού*, καθώς τα περισσότερα είδη παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό αποδοτικότητας της χρήσης νερού, αντοχή σε χαμηλής ποιότητας νερό, περίοδο ανάπτυξης κατά τους μήνες βροχοπτώσεων, αντοχή στη ξηρασία, κ.α. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η περίπτωση άρδευσής τους *με επεξεργασμένα αστικά λύματα*, καθώς το τελικό προϊόν δεν εισέρχεται



στην τροφική αλυσίδα και αυτή η λύση φαίνεται να έχει τα περισσότερα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη από οποιαδήποτε άλλη μορφή επαναχρησιμοποίησης [2].

### **5.2.3. Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα**

Η μεταβολή των χαρακτηριστικών των οικοσυστημάτων με την πάροδο του χρόνου επηρεάζει την παρουσία πληθυσμών των ειδών που σχετίζονται με τα δασικά οικοσυστήματα.

Τα χαρακτηριστικά του πεδίου που σχετίζονται με την διαβίωση του κάθε είδους είναι συνοπτικά:

- μέγεθος του πεδίου ανάπτυξης του είδους: Κάθε είδος για να επιβιώσει έχει ανάγκη από συγκεκριμένο μέγεθος του πεδίου ανάπτυξης της φυσικής κατοικίας του. Το πεδίο πρέπει να μπορεί να ικανοποιήσει τις συγκεκριμένες χωρικές απαιτήσεις του [31].
- η απόσταση μεταξύ των πεδίων είναι αντίστοιχα σημαντική, καθώς για κάποια είδη η μετακίνηση είναι αναγκαία.
- Η ποιότητα της περιοχής παίζει επίσης ρόλο στην επιτυχή αξιοποίηση του [31].

Η ανθρωπογενής δημιουργία δασικών οικοσυστημάτων συνήθως προκαλεί απώλεια ειδών και αποσπασματική παρουσία τους, που ενδέχεται να οδηγήσει σε τοπική και ολική εξάλειψη.

#### Ενεργειακές καλλιέργειες

Το θέμα των ενεργειακών καλλιεργειών και της βιοποικιλότητας είναι διφορούμενο. Αφενός υπάρχει αύξηση της βιοποικιλότητας μιας περιοχής, καθώς γίνεται εισαγωγή νέων ειδών σε μια περιοχή. Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών εκτιμάται ότι προκαλεί επιπτώσεις που έχουν τον ίδιο βαθμό πίεσης στο περιβάλλον όσο και η καλλιέργεια συμβατικών ειδών ή τροφικών ειδών. Οπότε, έχει σημασία η προϋπάρχουσα χρήση γης μιας περιοχής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για αυτό το σκοπό, προκειμένου να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα.

Η είσοδος νέων φυτών σε ένα δεδομένο οικοσύστημα διαταράσσει ούτως ή άλλως τις υπάρχουσες οικολογικές ισορροπίες μεταξύ των ειδών. Υπάρχει περίπτωση υπερίσχυσης τους έναντι στα ενδημικά είδη και η εξάπλωση των ειδών και εκτός του αγρού καλλιέργειας [2, 32]. Χρειάζεται ειδική μελέτη και παρακολούθηση του καλλιεργούμενου αγρού, προκειμένου να παρατηρηθούν οι αλλαγές στη τοπική βιοποικιλότητα και να διατηρηθούν όλα τα είδη.

## 5.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

### 5.3.1 Επιπτώσεις κατά τη συγκομιδή

Η συγκομιδή βιομάζας προκαλεί στο οικοσύστημα κάποιες διαταραχές, οι οποίες σχετίζονται αφενός με τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται και αφετέρου με την απομάκρυνση της βιομάζας.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις λόγω της χρήσης μηχανημάτων, εστιάζονται κυρίως στη χρήση *βαρέων μηχανημάτων* για την συγκομιδή της βιομάζας, τα οποία λόγω σημαντικού βάρους, υποβαθμίζουν την ποιότητα του εδάφους και μπορεί να παρατηρηθεί διάβρωση ενώ μειώνουν τα κενά των αερίων διαστημάτων του εδάφους, που μειώνει την ικανότητα κατακράτησης υγρασίας και την ικανότητα των ριζών να διεισδύουν στο έδαφος, ενώ αυξάνει την απορροή. Οι επιπτώσεις είναι πιο έντονες αν το έδαφος είναι υγρό [51].

Όσον αφορά στις εκπομπές των *καυσαερίων* των μηχανημάτων, είναι αμελητέες (περίπου 1%), σε σχέση με τη μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται λόγω της αντικατάστασης ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Η συγκομιδή βιομάζας σχετίζεται επίσης με την *απώλεια θρεπτικών στοιχείων* και οργανικών ουσιών από το έδαφος.

Το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συγκομιδής της βιομάζας εξαρτάται από 3 κυρίως παράγοντες [2]:

- Είδος καλλιέργειας. Το είδος της καλλιέργειας καθορίζει την εποχή συγκομιδής, το είδος των μηχανημάτων και τον απαιτούμενο χρόνο συγκομιδής.
- Αποδόσεις. Οι αποδόσεις καθορίζουν την ταχύτητα συγκομιδής. Όσο μεγαλύτερες είναι οι αποδόσεις, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος συγκομιδής και επομένως τόσο μικρότερος οι εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Είδος διαχείρισης. Αναλόγως του είδους της διαχείρισης του συγκομιζόμενου υλικού (δεματοποίηση, θρυμματοποίηση, μετατροπή σε συσσυματώματα)

έχουμε και κατανάλωση διαφορετικού ποσού ενέργειας. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιθυμητή ειδική πυκνότητα και μικρότερο το μέγεθος του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ενέργειας.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.1 δίδονται οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> και η ενεργειακή κατανάλωση για διαφορετικούς τρόπους μεταχείρισης του μίσχανθου.

**Πίνακας 5.1:** Εκπομπές του CO<sub>2</sub> και η ενεργειακή κατανάλωση για διαφορετικούς τρόπους μεταχείρισης του μίσχανθου [2].

Μεταχείριση	Ενεργειακές απαιτήσεις (MJ/ha)	Πυκνότητα υλικού (kg/m <sup>3</sup> )	Εκπομπές CO <sub>2</sub> (kg/t dm*)
Κοπή και δεματοποίηση	1.445	150	5,8
Θρυμματοποίηση	2.700	80	10,9
Μετατροπή σε συσσωματώματα	5.800	500	23,4

\*dm: dry matter, επί ξηρού υλικού

### 5.3.2. Επιπτώσεις κατά την αποθήκευση

Μετά την συγκομιδή της βιομάζας συνήθως ακολουθεί προσωρινή αποθήκευσή της, καθώς ο χρόνος συγκομιδής δεν συμπίπτει τις περισσότερες φορές με αυτόν της χρησιμοποίησης της για παραγωγή ενέργειας [2]. Η βιομάζα αποθηκεύεται κατά περίπτωση σε ακάλυπτους χώρους, σε σωρούς καλυμμένους με πλαστικό, σε σωρούς κάτω από απλή οροφή ή σε εσωτερικούς χώρους (σιλό).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αποθήκευσης της βιομάζας σχετίζονται με κινδύνους πυρκαγιάς, με την αποσύνθεση του υλικού, καθώς και τις απώλειες του υλικού κατά τη διαδικασία της ξήρανσης.

Η βιομάζα έχει υψηλό ποσοστό υγρασίας και για αυτό το λόγο με την αποθήκευση μέρος της μπορεί να αρχίσει να αποσυντίθεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια υλικού για την παραγωγή ενέργειας, καθώς επίσης και

τον κίνδυνο *πυρκαγιάς*: λόγω της μικροβιακής δράσης, η θερμοκρασία στο σωρό αυξάνεται και ενδέχεται να φτάσει στο σημείο αυτανάφλεξης [2].

Οι *μικροοργανισμοί* που αναπτύσσονται στους αποθηκευτικούς χώρους είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο, οπότε πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία των εργαζομένων [30].

Στην περίπτωση αποθήκευσης της βιομάζας σε κλειστό 'χώρο, χρησιμοποιείται εξαερισμός για την διατήρηση του ποσοστού υγρασίας σε ανεκτά επίπεδα. Για την διαδικασία αυτή απαιτείται ενέργεια, η οποία συμπεριλαμβάνεται στις αρνητικές επιπτώσεις της αποθήκευσης, καθώς η κατανάλωση ενέργειας έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ανάλογα πάντα με το είδος ενέργειας που χρησιμοποιείται. Η ενέργεια που απαιτείται για να εξατμισθεί η υγρασία κυμαίνεται από 1,9-3,7 MJ/kg εξατμιζόμενου νερού. Η ενέργεια που καταναλώνεται για την *ξήρανση* μπορεί να φθάσει το 12% του ενεργειακού περιεχομένου του υλικού [2].

Επίσης, από τη διαδικασία μεταφοράς και αποθήκευσης υπάρχουν απώλειες μέρους της αρχικής ποσότητας βιομάζας.

Το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά το στάδιο της αποθήκευσης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες [2]:

- Ποσοστό υγρασίας. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες βιομάζας.
- Εποχή συγκομιδής. Η εποχή συγκομιδής επηρεάζει το ποσοστό υγρασίας της βιομάζας.
- Χρόνος αποθήκευσης (διάρκεια και εποχή). Όσο μεγαλώνει ο χρόνος αποθήκευσης, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες.
- Τρόπος διαχείρισης. Το μέγεθος του συγκομιζόμενου υλικού σχετίζεται με την τάση προς αποσύνθεση: όσο πιο μικρά τεμάχια βιομάζας, τόσο πιο εύκολη η αποσύνθεσή τους.
- Τρόπος αποθήκευσης. Αναλόγως του τρόπου αποθήκευσης (σε εσωτερικό χώρο ή όχι, καλυμμένο ή μη, ύπαρξη εξαερισμού), μεταβάλλεται και το ποσοστό απωλειών.
- Επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες.

### 5.3.3. Επιπτώσεις κατά την μεταφορά

Η μεταφορά βιομάζας γίνεται οδικώς με κατάλληλα φορτηγά οχήματα. Επομένως, κατά τη μεταφορά από τον αποθηκευτικό χώρο μέχρι τη μονάδα παραγωγής ενέργειας, παρουσιάζονται επιπτώσεις στο περιβάλλον που σχετίζονται με την κίνηση των φορτηγών: εκπομπές καυσαερίων, κυκλοφοριακή συμφόρηση, σκόνη και ωστική όχληση (θόρυβος).

Για παράδειγμα, για την τροφοδοσία ενός εργοστασίου 50 MW<sub>e</sub> σε απόσταση 45 km απαιτείται να πραγματοποιηθούν ετησίως 7400 δρομολόγια φορτηγών με φορτίο 25 τόνων, συνολικά δηλαδή 333000 χλμ. ετησίως. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι ανά χιλιόμετρο για μέση κατανάλωση 0.36 lt/km παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

**Πίνακας 5.2:** Εκπομπές ρύπων ανά χλμ. και έτος [2]

<i>Ρύποι</i>	<i>ΕΚΠΟΜΠΕΣ (mg/km)</i>	<i>Εκπομπές (t/έτος)</i>
<b>CO<sub>2</sub></b>	1073,88	346
<b>SO<sub>2</sub></b>	1,33	0,706
<b>NO<sub>x</sub></b>	16,53	1,472
<b>CO</b>	6,61	1,184
<b>HC</b>	3,31	0,375
<b>Σωματίδια</b>	1,33	0,258

Αν γίνει σύγκριση του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται σε αυτή την περίπτωση με τους ρύπους των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή 50 MWe., οι εκπομπές θεωρούνται αμελητέες, καθώς είναι περίπου 0,2%. Η τελική τιμή των εκπεμπόμενων ρύπων είναι μικρότερη από την παραγωγή ενέργειας με χρήση βιομάζας, από ότι με ορυκτά καύσιμα.

Το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την μεταφορά της βιομάζας εξαρτάται κύρια από τους εξής παράγοντες [2]:

Απόσταση: Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του αγρού και του αποθηκευτικού χώρου από τη μονάδα παραγωγής ενέργειας τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση καυσίμων.

Μέγεθος φορτηγού: Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτηγό, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας μεταφέρει, οπότε μειώνονται τα δρομολόγια μεταφοράς

Ποσοστό υγρασίας: Όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία του υλικού, τόσο αυξάνει και ο αριθμός των φορτηγών που απαιτούνται για την μεταφορά του ίδιου ποσού ξηρής ουσίας από τον αγρό στη μονάδα παραγωγής ενέργειας

Ειδική πυκνότητα βιομάζας: Όσο χαμηλότερη είναι η ειδική πυκνότητα, τόσο αυξάνει η διαφορά μεταξύ του πραγματικού φορτίου και του μέγιστου φορτίου του φορτηγού και επομένως αυξάνει ο αριθμός των δρομολογίων.

#### 5.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι κύριες λειτουργίες ενός συστήματος καύσης βιομάζας μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- Πλήρη καύση του άνθρακα : κατάλληλος σχεδιασμός του θαλάμου καύσης, ομογενοποιημένη μίξη αέρα και αερίων καύσης, σταθερή λειτουργία του καυστήρα στη βέλτιστη περίσσεια αέρα, σύστημα ελέγχου καύσης ακριβείας.
- Διαχωρισμός τέφρας και αερίων: πχ. Απομάκρυνση τέφρας από τις κινούμενες εσχάρες του κλιβάνου και εξαγωγή αερίων σε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν καίγονται καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια
- Ανάκτηση ενέργειας
- Μείωση των εκπομπών νιτρικών: σταδιακή καύση, που αποσκοπεί στις μειωμένες εκπομπές νιτρικών, αν οι πρώτες μετρήσεις προκύψουν σχετικά υψηλές.

Όταν η βιομάζα καίγεται σε θερμοκρασίες άνω των 300°C αποσυντίθεται σε πιητικά συστατικά (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> κ.α.) και εξανθράκωμα (char). Στους 500°C περίπου το 85% του βάρους του ξυλώδους συστατικού έχει μετατραπεί σε αέριες ενώσεις. Υπάρχει μικρή απόκλιση στις θερμοκρασίες αποσύνθεσης στα διάφορα είδη βιομάζας. Όμως, η περιεκτικότητα σε τέφρα και η συμπεριφορά της τέφρας διαφέρουν στα είδη βιομάζας και κατ' επέκταση, το σύστημα απομάκρυνσης τέφρας, ο καυστήρας και οι εσχάρες πρέπει να είναι σχεδιασμένες κατά περίπτωση με το είδος καυσίμου και με μεγάλη προσοχή.

Οι δυο κύριες ομάδες ρυπαντών από την καύση ξύλου μπορούν να διαχωριστούν ως: άκαυστοι ρυπαντές (CO, HC, PAH, αιθάλη) και οξειδωμένοι ρυπαντές (NO<sub>x</sub> και CO<sub>2</sub>). Άλλοι ρυπαντές που μπορεί να προκύψουν από την καύση είναι το Cl, μέταλλα κλπ. Ανάλογα με την σύνθεση του καυσίμου, το σχεδιασμό του εξοπλισμού και τη λειτουργία του συστήματος, η καύση βιομάζας μπορεί να έχει σημαντικές εκπομπές ρυπαντών στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές μπορούν να διαχωριστούν:



- Σε αυτές που εξαρτώνται άμεσα από το σύστημα καύσης και τη διεργασία (από το σχεδιασμό και λειτουργία του συστήματος, προκύπτουν άκαυστοι ρυπαντές που με πλήρη καύση δεν θα παρουσιάζονταν).
- Ρυπαντές που εξαρτώνται κατά βάση από το είδος και τη ποιότητα του καυσίμου.

Στον Πίνακα 5.3, που ακολουθεί, παρουσιάζεται η προέλευση των κύριων ρυπαντών από την καύση βιομάζας. Φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιοι ρυπαντές που συναντώνται σε όλες τις πηγές βιομάζας, άλλοι που προέρχονται από τη τέφρα, ενώ άλλοι που συναντώνται ως επί το πλείστον σε απορριμματική βιομάζα.

**Πίνακας 5.3:** Κύριοι ρυπαντές από καύση βιομάζας [52].

<i>Πηγή</i>	<i>Ρυπαντές</i>
Άκαυτοι ρυπαντές (όλες τις πηγές βιομάζας)	CO, HC, πίσσα, άκαυτα σωματίδια
Οξειδωμένοι ρυπαντές (όλες τις πηγές βιομάζας)	NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> σε κάποιες περιπτώσεις
Βιομάζα που περιέχει Cl και S:	HCl, SO <sub>2</sub> , άλατα (KCl, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> Cl)
απορριμματική βιομάζα και μικρού περιόπου χρόνου	
Τέφρα	Σωματίδια
Βιομάζα που περιέχει βαρέα μέταλλα	Pb, Zn, Cd, Cu, Cr κα

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι τυπικές εκπομπές που εξαρτώνται από το καύσιμο (νιτρικά, υδροχλώριο, σωματίδια κλπ). Οι ρυπαντές αυτοί μελετώνται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, που εξελίσσονται οι τεχνολογίες και εφαρμογές στον τομέα της καύσης βιομάζας. Οι κατασκευαστές μεγάλων καυστήρων βιομάζας υποχρεούνται να μετράνε τις εκπομπές από την καύση, ώστε να ικανοποιούν τα νομοθετικά όρια. Η ανεξέλεγκτη καύση βιομάζας έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή σημαντικών ρυπαντών στο περιβάλλον, που πρέπει να αποφεύγεται στη περίπτωση της οργανωμένης καύσης, όπου οι ρυπαντές μπορούν να μειώνονται σημαντικά με κατάλληλο σχεδιασμό.

Στον Πίνακα 5.5 αναγράφονται χαρακτηριστικά ποσοστά αναλύσεων των συστατικών βιομάζας, όπως έχουν μετρηθεί σε χαρακτηριστικά είδη καυσίμων (κυπαρίσσι, οξιά, σιτάρι κλπ) και συστατικών συμβατικών καυσίμων. Η στοιχειακή σύσταση των καυσίμων επηρεάζει τόσο τη θερμαντική του αξία, όσο και τις εκπομπές ρυπαντών. Παρατηρείται ότι η καύσιμη βιομάζα έχει σημαντικά πιο χαμηλά ποσοστά των ρυπογόνων συστατικών, από ότι τα συμβατικά καύσιμα.

**Πίνακας 5.4:** Εκπομπές που επηρεάζονται από το καύσιμο. Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών καυσίμου βιομάζας [53]

<i>Εκπομπές σε 11% O<sub>2</sub></i>	<i>Είδος καυσίμου</i>	<i>Τυπικές τιμές</i>
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Φυσική ξυλεία (μαλακή ξυλεία)	100-200
	Φυσική ξυλεία (σκληρή ξυλεία)	150-250
	Άχυρο, κόρτο, μίσχανθος	300-800
	Αστική	400-600
	Φυσική ξυλεία	<5
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )	Αστική, άχυρο, κόρτο, μίσχανθος, πριονίδι (NH <sub>4</sub> Cl)	Καθαρό αέριο 100-1000 Με απορρόφηση HCl <20
	Φυσική ξυλεία	Μετά τον κυκλώνα: 50-150
Σωματίδια (mg/Nm <sup>3</sup> )	Άχυρο, κόρτο, μίσχανθος, πριονίδι	Μετά τον κυκλώνα: 150-1000
	Αστική	Μετά από ηλεκ. φίλτρο<10
	Φυσική ξυλεία	<1
Pb, Zn, Cd, Cu (mg/Nm <sup>3</sup> )	Αστική (ανεπεξέργαστα αέρια)	20-100
	Αστική (μετά από ηλεκ. Φίλτρο)	<5
	Φυσική ξυλεία	<1

**Πίνακας 5.5:** Ανάλυση των συστατικών της βιομάζας και των συμβατικών καυσίμων (ε.ξ.%) [53]

	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>Τέφρα</i>
<b>Κυπαρίσσι</b>	55,0	6,5	38,1	-	-	0,4
<b>Οξιά</b>	51,6	6,3	41,4	-	-	-
<b>Ξύλο</b>	51,6	6,3	41,5	0	0,1	1
<b>Σιτάρι</b>	48,5	5,5	3,9	0,3	0,1	4
<b>Κριθάρι</b>	45,7	6,1	38,3	0,4	0,1	6
<b>Πίσσα</b>	73,1	5,5	8,7	1,4	1,7	9
<b>Λιγνίτης</b>	56,4	4,2	18,4	1,6	-	5

### 5.4.1 Αέριοι ρύποι

Οι εκπομπές αέριων ρύπων είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα για την παραγωγή ενέργειας. Συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην υποβάθμιση ποιότητας αέρα.

Σωματίδια: Η βιομάζα όταν καίγεται παράγει ποσότητες τέφρας, μέρος της οποίας συμπαρασύρεται με τα απαέρια και μέρος κατακρατείται στον κυκλώνα. Τα αέρια αυτά περιέχουν τοξικούς ρύπους, όπως καρκινογόνες ουσίες και/ή άλλες ουσίες που προκαλούν ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος του ανθρώπου, όπως π.χ. φαινόλες, αλδεΐδες, κτλ.

Οι εκπομπές τέφρας δημιουργούν πρόβλημα όταν πρόκειται για ανεξέλεγκτη σημειακή καύση βιομάζας (πχ ξυλόσομπες), ενώ σε οργανωμένες μονάδες παραγωγής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες απορρύπανσης, που μπορούν να κατακρατήσουν σημαντική ποσότητα τέφρας, ώστε οι εκπομπές σωματιδίων να αποφεύγονται κατά το μεγαλύτερο μέρος. Ένας τρόπος είναι ο συνδυασμός κυκλώνων διαχωρισμού, ενώ ένας άλλος η ηλεκτροστατική εφαρμογή φίλτρων.

Η εφαρμογή τεχνολογιών ελέγχου των σωματιδίων δεν ενδείκνυται για οικονομικούς λόγους στην οικιακή αξιοποίηση της βιομάζας. Επίσης, σωματίδια μπορούν να αναδυθούν κατά την προετοιμασία της βιομάζας για ζύμωση, αν και είναι πιθανό ότι προκύπτουν μεγαλύτερα σωματίδια, τα οποία είναι λιγότερο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία [2].

Διοξείδιο του Άνθρακα: Στη θεωρία, η χρήση βιομάζας δεν θα πρέπει να αυξάνει την ποσότητα του ελεύθερου διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) στην ατμόσφαιρα όπως συμβαίνει στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων, καθώς η απελευθέρωση  $\text{CO}_2$  αντισταθμίζεται από την αντίστοιχη ποσότητα  $\text{CO}_2$  που δεσμεύεται με την φωτοσύνθεση κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών. Αυτό αληθεύει εν μέρει κάτω από σταθερές συνθήκες (π.χ. όταν η ποσότητα που καίγεται ισούται με την ποσότητα που δεσμεύεται). Κατά την περίοδο όμως στην οποία μεγάλες ποσότητες από ήδη ανεπτυγμένες σοδειές μετατρέπονται σε ενέργεια, τα επίπεδα του ελεύθερου διοξειδίου του άνθρακα θα αυξηθούν. Αυτό επίσης αγνοεί την ενσωμάτωση του άνθρακα στο έδαφος σαν οργανική ύλη, από το γεγονός ότι

εκτενής χρήση βιομάζας τείνει, πιθανώς, μέσω διαφόρων βιοχημικών μηχανισμών, στη ραγδαία ελάττωση του οργανικού εδαφικού περιεχομένου [2].

Στον Πίνακα 5.6 φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από διάφορα καύσιμα. Η καύση έχει γίνει σε μικρής κλίμακας μονάδα ΣΗΘ. Παρατηρείται ότι το βιοαέριο έχει τις μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Από τις τιμές αυτές και από τη σύγκριση με τις εκπομπές που προέρχονται από το υπάρχον δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> από καύση εναλλακτικών καυσίμων.

**Πίνακας 5.6:** Ενδεικτικές τιμές εκπομπών CO<sub>2</sub> από καύση διαφορετικών καυσίμων σε μικρής κλίμακας μονάδα ΣΗΘ

<i>Καύσιμο</i>	<i>Ισοδύναμο CO<sub>2</sub> (g/kWh)</i>
Diesel (ΚΘΔ)	328,7
Φυσικό αέριο (ΚΘΔ)	253,6
Βιοαέριο (ΚΘΔ)	186,3
Φυτικό έλαιο	245,8

Οξείδια του Θείου: Το θείο περιέχεται σε πολύ μικρές ποσότητες σχεδόν αμελητέες στη βιομάζα. Η παραγωγή οξειδίων του θείου είναι σημαντικά μειωμένη κατά την καύση της, συγκρίνοντας την με τα ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης. Το γεγονός αυτό καθιστά την βιομάζα ως πιο φιλική πρώτη ύλη προς το περιβάλλον για παραγωγή ενέργειας.

Οξείδια του Αζώτου: Μονοξείδιο του αζώτου παράγεται κατά την καύση βιομάζας στην αέρια φάση από οξείδωση του μοριακού N<sub>2</sub> σε υψηλές θερμοκρασίες (θερμικό NO), από την ένωση ριζών άνθρακα με μοριακό N<sub>2</sub> και από οξείδωση του χημικού δεσμού N-O που υπάρχει στο ίδιο το καύσιμο (NO καυσίμου) [33]. Κατά την πυρόλυση ξύλου, περίπου το 20% των νιτρικών συστατικών παραμένει στο εξανθράκωμα, ενώ το 80% δημιουργεί πτητικές ουσίες [56].

Το θερμικό NO δημιουργείται όταν ρίζες οξυγόνου (O) σπάζουν τον τριπλό δεσμό στο μοριακό N<sub>2</sub>, οπότε απαιτούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Από το υδροκυάνιο (HCN) που λαμβάνεται από την καιγόμενη βιομάζα προκύπτουν

ρίζες  $\text{NH}_i$  που με περίσσεια οξυγόνου μετατρέπονται κυρίως σε  $\text{NO}$  και σε μικρότερο βαθμό σε  $\text{N}_2$  [35]. Στη δημιουργία μονοξειδίου του αζώτου συνεισφέρει η υψηλή θερμοκρασία καύσης, αυξημένη συγκέντρωση  $\text{O}$  και αυξημένος χρόνος παραμονής στο θάλαμο καύσης [34].

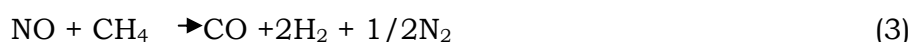
Όσον αφορά στο διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), ο σχηματισμός του είναι ασήμαντος κατά τη διεργασία καύσης. Το εκπεμπόμενο  $\text{NO}$  όμως μετατρέπεται σταδιακά σε  $\text{NO}_2$  όταν απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα, επομένως το  $\text{NO}$  αποτελεί εν δυνάμει  $\text{NO}_2$ .

Το  $\text{N}_2\text{O}$  σχηματίζεται σε μεγάλες ποσότητες, ειδικά κατά την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη και η αντιμετώπιση της επίπτωσης αυτής είναι ιδιαίτερη πρόκληση, καθώς είναι αέριο που συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Για την καύση ξύλου θεωρούνται σημαντικές οι παρακάτω αντιδράσεις όσον αφορά στο σχηματισμό  $\text{NO}_x$



Ελλείψει οξυγόνου, το  $\text{NO}_x$  συμπεριφέρεται σαν οξειδωτικό μέσο για το μονοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τους υδατάνθρακες, το υδρογόνο και τον άνθρακα:



Από διαφορετικά πειράματα έχει προκύψει ότι η αντίδραση (1) θεωρείται πιο σημαντική στην καύση ξύλου σε σταθερή κλίνη. Η αντίδραση (2) μπορεί να είναι σημαντική, καθώς μπορεί να έχει επιπτώσεις στο σχηματισμό και σύσταση της τέφρας, ενώ για τις αντιδράσεις (4) και (5) δεν παρουσιάστηκαν επιπτώσεις κατά την καύση ξυλείας σε αντιδραστήρα ελέγχου. Η αντίδραση (5) θεωρείται από τις πιο σημαντικές κατά την καύση άνθρακα σε σταθερή κλίνη [57]. Για τη μείωση  $\text{NO}_x$  με σταδιακή παροχή αέρα σε καύση βιομάζας, οι ετερογενείς αντιδράσεις δεν είναι μεγάλης σημασίας.

Στον Πίνακα 5.7, που ακολουθεί, αναγράφονται χαρακτηριστικές περιεκτικότητες αζώτου σε καύσιμα και τα θερμικά NOx που προκύπτουν από την ισοθερμική καύση σε εργαστηριακό κλίβανο. Υπολογίζεται η αναλογία NOx/N (%). Οι μετρήσεις έγιναν σε περίσσεια οξυγόνου 11%. Είναι εμφανής η σχέση μεταξύ περιεκτικότητας N στο καύσιμο και τελικών εκπομπών NOx, άρα συμπεραίνεται ότι μεγαλύτερη περιεκτικότητα N στο αρχικό καύσιμο θα οδηγήσει σε μεγαλύτερες εκπομπές νιτρικών, υπό ίδιες συνθήκες καύσης. Παρατηρείται, επίσης, ότι η επεξεργασμένη ξυλεία έχει πολύ μεγαλύτερες εκπομπές NOx.

**Πίνακας 5.7:** Περιεκτικότητες N σε πεύκο, οξιά και νοβοπάν και οι εκπομπές σε NOx, στις ίδιες συνθήκες καύσης [53]

	<i>N καυσίμου (wt%)</i>	<i>NOx (mg/Nm<sup>3</sup>)</i>	<i>NOx/N (%)</i>
<b>Πεύκο</b>	0,07	173	67,3
<b>Οξιά</b>	0,2	231	36,0
<b>Νοβοπάν</b>	2,85	921	8,4

Για να μειωθούν οι εκπομπές NOx έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές. Καθώς η παρουσία οξυγόνου και η θερμοκρασία παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία NOx, ο έλεγχος των εκπομπών σχετίζεται με την περίσσεια αέρα.

Μια τεχνική μείωσης των εκπομπών NOx είναι ο διαχωρισμός ροής των αερίων σε δύο επιμέρους στάδια. Στο πρώτο στάδιο μειώνεται η εισαγωγή αέρα (σε επίπεδα κάτω από τα στοιχειομετρικά απαιτούμενα) και απάγεται η θερμότητα κατά την εξαερίωση της βιομάζας, έτσι ώστε η θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα. Έτσι, αποφεύγεται η δημιουργία θερμικών NO, αλλά και αυτών που προκύπτουν από τους δεσμούς N-O του ίδιου του καυσίμου, καθώς και οι δυο μορφές δημιουργούνται σε υψηλές θερμοκρασίες [36].

Στη συνέχεια, η καύση ολοκληρώνεται με μεγαλύτερες ποσότητες αέρα, ώστε να αναπτυχθεί η ικανή θερμοκρασία για την αποφυγή δημιουργίας μονοξειδίου του άνθρακα, ρυθμίζοντας το χρόνο παραμονής να είναι μικρός, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία NOx [36].

Στα συστήματα καύσης, τα παραπάνω εφαρμόζονται με διαχωρισμό της καύσης σε δύο στάδια με δύο θαλάμους (εξαέρωσης και καύσης), με διαχωρισμό ροής του αέρα μέσα στο θάλαμο εξαέρωσης, με ανακύκλωση των παραγόμενων αερίων ή με συνδυασμό των παραπάνω.

Ένας άλλος τρόπος μείωσης εκπομπών NO<sub>x</sub> είναι η χρήση καταλυτών που συνεισφέρουν στη μετατροπή των οξειδίων σε μοριακό άζωτο. Οι ουσίες αυτές είναι κατά βάση η αμμωνία και η ουρία. Η ενεργοποίηση των απαραίτητων αντιδράσεων των καταλυτών με τα NO<sub>x</sub> γίνεται σε επιμέρους θάλαμο μείωσης εκπομπών, ο οποίος βρίσκεται μετά το θάλαμο καύσης και πριν στον εναλλάκτη θερμότητας και στον οποίο γίνεται η εισαγωγή ουρίας ή αμμωνίας με κατάλληλο τρόπο [37].

Έχει μελετηθεί ότι η βιομάζα που καίγεται σε καυστήρα ρευστοποιημένης κλίνης έχει σημαντικά μικρότερες εκπομπές νιτρικών, λόγω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών καύσης (που περιορίζουν το σχηματισμό θερμικών NO<sub>x</sub> περίπου κατά το ήμισυ ενδεικτικά: περίπου 250 rpm στους 927°C και 500rpm στους 1027°C, με στοιχειομετρικούς υπολογισμούς). Λόγω της περιορισμένης ποσότητας O<sub>2</sub> και των παράλληλων αντιδράσεων, η πραγματική ποσότητα θερμικού NO που σχηματίζεται τελικά είναι μικρότερη από την υπολογισμένη στοιχειομετρικά ποσότητα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όσον αφορά δηλαδή τον σχηματισμό NO<sub>x</sub>, η ρευστοστερεά κλίνη θεωρείται από τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες για μειωμένες εκπομπές NO<sub>x</sub> [54].

Η συγκεκριμένη τεχνολογία από την άλλη, έχει σημαντικές εκπομπές N<sub>2</sub>O. Το HCN θεωρείται από τις πιο σημαντικές ενδιάμεσες ενώσεις κατά το σχηματισμό N<sub>2</sub>O. Το N<sub>2</sub>O μειώνεται σημαντικά όταν τα καυσαέρια βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες καύσης, οπότε στην περίπτωση της κλίνης όπου οι θερμοκρασίες είναι πιο χαμηλές, η μείωση τους δεν είναι σημαντική. Αντίθετα με τα θερμικά NO<sub>x</sub>, η συγκέντρωση N<sub>2</sub>O αυξάνει σημαντικά όσο η θερμοκρασία μειώνεται από 1000°C στους 800°C.

Σε γενικές γραμμές, η παραγωγή NO<sub>x</sub> από την καύση βιομάζας σε σχέση αντί με της καύσης λιγνίτη ή γαιάνθρακα δεν έχει ξεκαθαριστεί αν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη. Η βιομάζα έχει μεγαλύτερο περιεχόμενο αζώτου, αλλά καίγεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, έχοντας έτσι χαμηλότερα ποσοστά οξείδωσης. Στις

τυπικές τιμές που δίνονται από τη Σουηδία, η βιομάζα φαίνεται να έχει χαμηλότερες εκπομπές από ότι ο γαιάνθρακας (50–150mg/MJ και 100–350mg/MJ αντίστοιχα). Το ίδιο υποστηρίζεται και σε άλλες μελέτες [54].

Μονοξειδίο του Άνθρακα: Το μονοξειδίο των καυσαερίων είναι ένας καλός δείκτης της «αποδοτικότητα» της καύσης: όσο μικρότερη ποσότητα διοξειδίου ανιχνεύεται στα καυσαέρια, τόσο καλύτερη και πιο ολοκληρωμένη έχει γίνει η καύση. Η απελευθέρωση μονοξειδίου του άνθρακα από την καύση βιομάζας πιθανόν να αποδειχθεί μεγαλύτερη από την καύση γαιάνθρακα, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνική καύσης [30]. Ως εκ τούτου ένα καλό σύστημα ελέγχου της καύσης βιομάζας μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές άκαυστων σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει καλύτερη καύση.

Ο σχηματισμός CO περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό επιμέρους αντιδράσεων και είναι ταχεία αντίδραση. Το μονοξειδίο μπορεί να μετατραπεί σε διοξειδίο του άνθρακα αν υπάρχει ικανοποιητικός χρόνος παραμονής στο θάλαμο καύσης (καθώς η αντίδραση μετατροπής είναι αργή διαδικασία), υψηλές θερμοκρασίες και παροχή αρκετού οξυγόνου. Οι υψηλές εκπομπές CO σχετίζονται και με χαμηλή απόδοση του συστήματος καύσης [38].

Διοξίνη: οι διοξίνες παρουσιάζονται κυρίως κατά την καύση αστικής απορριμματικής βιομάζας. Τα προς καύση απορρίμματα, ακόμα και μετά από το διαχωρισμό τους σε ζυμώσιμα ή μη, πιθανόν να περιέχουν ανεπιθύμητα προϊόντα. Ένας απτός κίνδυνος είναι η παρουσία πλαστικών και χλωριωμένων υλικών γενικά. Η καύση αυτών μπορεί να παράγει ένα πλήθος υψηλά τοξικών οργανικών ουσιών, συχνά αλογονούχων, συμπεριλαμβανομένων και των διοξινών. Επίσης μπορεί να παραχθεί και υδροχλωρικό οξύ σε μεγάλες ποσότητες, εάν καίγεται PVC. Οι εκπομπές από τους αποτεφρωτήρες αστικών απορριμμάτων αποτελούν ιδιαίτερη περίπτωση, λόγω των επιπλέον προβλημάτων που δημιουργούν.

Κατά την αποτέφρωση των αστικών απορριμμάτων παρατηρείται η παρουσία διοξινών στην τέφρα που ίπταται κατά την έξοδο των αερίων. Επίσης, έχει παρατηρηθεί η παρουσία αυτών και στον αέρα των χώρων αποθήκευσης των



απορριμμάτων, των παραπάνω εργοστασίων, χωρίς να είναι φανερές οι πηγές πρόκλησής τους [39].

Οι πολυχλωριωμένες διοξίνες και τα φουράνια ανήκουν στη τάξη των πολυαρωματικών αιθέρων με πολλαπλά υποκατάστατα χλωρίου. Αν και ο μηχανισμός σχηματισμού δεν είναι ολοκληρωτικά γνωστός, σημαντικά αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε διάφορες έρευνες. Από τις έρευνες προκύπτει ότι οι διοξίνες του καυσίμου (συνήθως αστικής βιομάζας) καταστρέφονται κατά την καύση, αλλά προκύπτει αναγέννηση στο τμήμα ανάκτησης θερμότητας του συστήματος καύσης. Απαιτείται η παρουσία χλωρίου, άνθρακα, οξυγόνου και στερεάς επιφάνειας [58]. Ο σχηματισμός των διοξινών γίνεται συνήθως σε θερμοκρασίες 200-500°C και φτάνει στο μέγιστο περίπου στους 300°C. Ανόργανα άλατα βαρέων μετάλλων έχουν σημαντική καταλυτική παρουσία στο σχηματισμό διοξινών. Οι διοξίνες μπορούν να σχηματιστούν και μόνο παρουσία μοριακού άνθρακα και κάποιες πηγές χλωρίου, χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία οργανικού χλωριωμένου συστατικού [58].

Για να εξασφαλιστεί η μείωση των εκπομπών διοξινών απαιτείται πολύ καλή καύση. Έτσι, οι ιπτάμενες τέφρες είναι οι ελάχιστες δυνατές, ενώ ο γαιάνθρακας καίγεται στο μεγαλύτερο ποσοστό. Οι εκπομπές διοξινών εξαρτώνται επίσης από την συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαέρια. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτό είναι η χαμηλή εκροή γαιάνθρακα λόγω χαμηλών θερμοκρασιών στη ζώνη καύσης και η επίδραση του οξυγόνου στην οξειδωση των διοξινών που λειτουργούν ως καταλύτες. Απουσία οξυγόνου, ολική καταστροφή διοξινών και φουρανίων μπορεί να επιτευχθεί στους 300°C, με χρήση χαλκού ως καταλύτη.

Οι διοξίνες συνήθως παρουσιάζονται σε απορριμματική βιομάζα και όχι σε φυτική βιομάζα. Ενδεικτικά, στον επόμενο Πίνακα 5.8 αναφέρονται τιμές διοξινών που μετρήθηκαν από καύση φυσικής ξυλείας, επεξεργασμένης (νοβοπάν) και αστικής βιομάζας.

Η καύση φυτικής βιομάζας έχει τις μικρότερες εκπομπές διοξίνης από όλα τα είδη καυσίμου. Στην επεξεργασμένη ξυλεία συναντώνται λίγο μεγαλύτερες ποσότητες διοξινών, αλλά οι τιμές έχουν σημαντικές διακυμάνσεις. Η καύση αστικών αποβλήτων, ιδίως αν περιέχουν PVC, έχει σημαντικές εκπομπές διοξινών. Η μέση τιμή εκπομπών σε αυτή την περίπτωση είναι τουλάχιστον κατά

μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τη μέση τιμή εκπομπών διοξινών από την καύση επεξεργασμένου ξύλου. Τότε έχει πολύ μεγάλη σημασία ο σχεδιασμός του

**Πίνακας 5.8:** Σχηματισμός διοξινών μετά από καύση φυτικής και επεξεργασμένης ξυλείας και απορριμματικής βιομάζας (11% O<sub>2</sub>) [53]

	Φυσική ξύλεια (ng TE/m <sup>3</sup> )	Επεξεργασμένη ξύλεια (ng TE/m <sup>3</sup> )	Αστική (απορριμματική) βιομάζα (ng TE/m <sup>3</sup> )
Ανεπεξέργαστα καυσαέρια	0,083	0,095	17,76
Μετά από φίλτρο	0,836	2,947	78,25
Σε καθαρά καυσαέρια	0,052	0,189	8,18
Αναλογία ακατέργαστα/καθαρά καυσαέρια	0,63	1,99	0,46

TE: ισοδύναμη τοξικότητας

θαλάμου καύσης και η ποιότητα της διεργασίας καύσης. Οι μεγαλύτερες εκπομπές διοξινών μετρήθηκαν από καύση οικιακών απορριμμάτων (συσσκευασίες τροφίμων, χάρτινες συσκευασίες υγρών, περιοδικά, χαρτί).

Τα κύρια σημεία κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος καύσης βιομάζας, ώστε να επιτευχθούν μειωμένες εκπομπές διοξινών είναι:

- Κατάλληλη επιλογή τεχνολογίας καύσης.
- Εναλλάκτης θερμότητας/ καυστήρας
- Συνθήκες λειτουργίας
- Καθαρισμός αεαερίων

Όσον αφορά στην επιλογή τεχνολογίας καύσης, οι εκπομπές διοξινών μπορούν να μειωθούν με τους εξής τρόπους:

- Μείωση της αναλογίας περίσσειας αέρα <2
- Καλή ανάμειξη θερμών αερίων με δευτερογενή αέρα
- Αύξηση χρόνου παραμονής στη ζώνη θερμής καύσης πριν τον καυστήρα
- Απομάκρυνση σωματιδίων σκόνης και ομογενοποιημένο αρχικό αέρα.

Όσον αφορά στον εναλλάκτη θερμότητας, πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται ο ελάχιστος χρόνος παραμονής σε θερμοκρασίες 200-500°C, με τις λιγότερες εκπομπές σκόνης.

Οι συνθήκες λειτουργίας βελτιώνονται με :

- Μονάδα ελέγχου καύσης (θερμοκρασία, εισροή αέρα), ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ποιότητα καύσης
- Σταθερή και συνεχή λειτουργία
- Αποφυγή γρήγορης εισαγωγής φορτίου.

Όσον αφορά στο σύστημα καθαρισμού των καυσαερίων πρέπει να επιτυγχάνει την καταστροφή των διοξινών πχ με καταλυτική οξείδωση, τον διαχωρισμό διοξινών σε κατάλληλους διαχωριστές και την αποφυγή αναγέννησης διοξινών.

#### **5.4.2 Στερεά απόβλητα**

Ως στερεά απόβλητα από την καύση της βιομάζας θεωρείται κυρίως η στάχτη (τέφρα) που συλλέγεται σε κυκλώνα. Σε σύγκριση με την αντίστοιχη στάχτη που παράγεται από τη λειτουργία ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, η τέφρα της βιομάζας είναι πιο εύκολη στην διαχείριση και περιέχει μικρότερες ποσότητες τοξικών ουσιών. Εξαιρέση αποτελεί η καύση απορριμματικής βιομάζας, κυρίως από αστικά απορρίμματα, καθώς σε αυτή την περίπτωση περιέχονται τοξικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων και διοξινών. Η τέφρα μπορεί ωστόσο να αποτελέσει κατασταλτικό παράγοντα κατά την εφαρμογή συστήματος καύσης βιομάζας, ιδίως σε χώρες με αυστηρή περιβαλλοντική νομοθεσία.

Ένα τρόπος διαχείρισης και αξιοποίησης της τέφρας είναι η χρήση της ως υλικό επίστρωσης σε έργα οδοποιίας. Η λύση αυτή είναι εφικτή μόνο εάν η τέφρα δεν περιέχει βαρέα μέταλλα και τοξικά υλικά, καθώς μπορεί να εισχωρήσουν στα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα και να προκαλέσουν σοβαρή μόλυνση.

Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η διασπορά σε γεωργικές εκτάσεις με προβλήματα οξύτητας, καθώς η αλκαλικότητα της μπορεί να αυξήσει το pH του εδάφους μειώνοντας έτσι την οξίνιση του εδάφους. Με κατάλληλη επεξεργασία είναι ένα πολλά υποσχόμενο εδαφοβελτιωτικό υλικό [40]. Σημαντικός παράγοντας είναι η σύστασή της, και κυρίως η παρουσία βαρέων μετάλλων και οργανικών τοξικών συστατικών.

Η διαβρωτικότητα της τέφρας είναι ένας παράγοντας που καθορίζει το αν απαιτείται διαχείριση της τέφρας ως επικίνδυνο απόβλητο. Η συγκέντρωση των τοξικών συστατικών επίσης. Καθοριστική τιμή για την επικινδυνότητα της τέφρας είναι το pH κάτω από 2 ή πάνω από 12.5, όταν αυτό μετράται στις υδατικές απορροές της. Οι τέφρες που προέρχονται από την καύση ξυλώδους βιομάζας (είτε φυσικής είτε επεξεργασμένης, όπως από βιομηχανίες ξυλείας, όπου η ξυλεία έχει υποστεί χημική επεξεργασία) δεν έχουν παρουσιάσει παρόμοια προβλήματα στη διαχείριση τους. Η τέφρα που προκύπτει από την καύση απορριμματικής βιομάζας είναι πιο πολύπλοκη στη σύνθεση της και μπορεί να χαρακτηριστεί ως επικίνδυνο απόβλητο [53].

#### **5.4.3 Χωροθέτηση**

Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και ενέργειας απαιτούν έκταση για την εγκατάστασή τους, όπως άλλωστε οποιαδήποτε εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας. Συγκριτικά, οι μονάδες που χρησιμοποιούν καύσιμο βιομάζα ενδεχομένως απαιτούν μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αποθήκευσης, λόγω της μικρότερης ενεργειακής πυκνότητας του καυσίμου. Η απαιτούμενη έκταση γης εξαρτάται από την κλίμακα και το μέγεθος της μονάδας.

Γενικά έχει αποδειχθεί ότι μεγάλος αριθμός μικρών μονάδων απαιτεί μεγαλύτερη έκταση γης ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Η δημιουργία ενός κεντρικού σταθμού ΣΗΘ ενδεχομένως να έχει μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε θέματα χωροθέτησης, θορύβου και εκπομπών από τις καμινάδες (καθώς συνήθως οι μεγάλες εγκαταστάσεις έχουν υψηλότερες καπνοδόχους οπότε γίνεται καλύτερη διασπορά ρύπων). Σε αυτή την περίπτωση όμως, ενδεχομένως να είναι μεγαλύτερες οι εκπομπές αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα από τη μεταφορά βιομάζας και από την παραγωγή ή αποθήκευσή τους στη μονάδα αξιοποίησής της. Σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητη η μελέτη χωροθέτησης της μονάδας, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις από την εγκατάσταση. Στην περίπτωση εγκατάστασης της μονάδας σε κατοικημένη περιοχή, η αναγκαιότητα της μελέτης χωροθέτησης αυξάνει, ενώ είναι απαραίτητη η κατασκευή καπνοδόχου υψηλότερης των γειτονικών κτιρίων. Προτιμούνται τεχνολογίες με χαμηλές εκπομπές θορύβου και χαμηλές εκπομπές ρύπων.

#### **5.4.4. Επιπτώσεις στην κατανάλωση υδατικών πόρων**

Επιπτώσεις από την λειτουργία μονάδων ΣΗΘ στην κατανάλωση υδατικών πόρων δεν έχει αναφερθεί βιβλιογραφικά. Εκτιμάται ότι οι απαιτήσεις νερού είναι στα ίδια επίπεδα με αυτές των συμβατικών σταθμών παραγωγής ενέργειας. Στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου η επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου νερού ευνοεί την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων [38].

#### **5.4.5 Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις**

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ΣΗΘ από βιομάζα είναι η δημιουργία θέσεων εργασίας σε τοπικό, περιφερειακό συνήθως, επίπεδο και τα οικονομικά οφέλη. Η βιοενέργεια δημιουργεί πληθώρα θέσεων εργασίας και εξασφαλίζει εισόδημα σε πολλά νοικοκυριά διεθνώς και είναι ένας από τους καθοριστικούς λόγους για τις τοπικές κοινωνίες να προβούν σε τέτοιες επενδύσεις. Συμβάλει επίσης σε αύξηση της τοπική οικονομίας και βελτίωση του εισοδήματος.

Έχουν γίνει αρκετές μελέτες [42, 43, 44, 45, 46, 47] σε επίπεδο κρατών (Βραζιλία, Ολλανδία, Ιρλανδία, Κροατία, Νικαράγουα, Ε.Ε. και ασιατικές χώρες) που αφορούν στην διερεύνηση των θέσεων εργασίας, που σχετίζονται με δραστηριότητες σχετικές με την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα (πχ στη Βραζιλία μελετήθηκαν οι εργασιακές δυνατότητες από την καλλιέργεια ζαχαρότευτλου για παραγωγή βιοαιθανόλης). Οι μελέτες αυτές έδειξαν την αποτελεσματικότητα της βιοενέργειας στην οικονομική εξέλιξη και ανάπτυξη της χώρας, αν και θεωρείται ότι αυτό δεν είναι κανόνας για όλες τις χώρες. Έχει σημασία η χρονική περίοδος και κάποιες συνθήκες που πρέπει να πληρούνται, προκειμένου να είναι οικονομικά βιώσιμες τέτοιου είδους επενδύσεις.

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που ωθούν την τοπική κοινωνία για εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι οι μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καλύτερη ποιότητα περιβάλλοντος, εξασφάλιση ενεργειακής αυτάρκειας, απεξάρτηση από το πετρέλαιο ή από μη τοπικές καύσιμες ύλες.

Οι τοπικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις ποικίλουν και διαφέρουν κατά περίπτωση και εξαρτώνται από παράγοντες όπως το είδος της τεχνολογίας, τις τοπικές οικονομικές δομές, το κοινωνικό προφίλ και την παραγωγική διεργασία [41].

Οι κοινωνικές επιπτώσεις από τις τοπικές επενδύσεις στον τομέα της βιοενέργειας και κατ' επέκταση την ενέργειας από βιομάζα μπορούν να διακριθούν σε δυο κατηγορίες: σε αυτές που σχετίζονται με την αύξηση του βιοτικού επιπέδου<sup>5</sup> και σε αυτές που συμβάλλουν στην βελτίωση κοινωνικής συνοχής και σταθερότητας. Όσον αφορά στην πρώτη κατηγορία, συντελούν στην αύξηση ατομικού αλλά και τοπικού εισοδήματος. Όσον αφορά στην δεύτερη, μπορεί να αναχαιτίσουν κοινωνικές καταστάσεις συνοχής (υψηλά επίπεδα ανεργίας, ερημοποίηση περιοχής, μετανάστευση πληθυσμών κλπ).

Σε πολλές περιφερειακές ή ασκητικές περιοχές παρατηρούνται τάσεις μετανάστευσης του τοπικού πληθυσμού, κυρίως λόγω έλλειψης θέσεων εργασίας. Δεδομένου ότι η ενέργεια από βιομάζα έχει νόημα σε αγροτικές, γεωργικές περιοχές ή περιοχές όπου η βιομάζα είναι περισσότερο διαθέσιμη, η δημιουργία μονάδας ΣΗΘ, αλλά και παραγωγής ενέργειας γενικότερα, δημιουργεί θέσεις εργασίας για τον τοπικό πληθυσμό στην ίδια τη μονάδα. Επιπλέον, γεννιέται η ανάγκη ανάπτυξης παραπλήσιων δραστηριοτήτων (αγροτική παραγωγή, προμηθευτές τεχνολογίας, παροχή σέρβις κλπ), που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία επιπλέον θέσεων εργασίας, και μάλιστα σε ποικιλία τομέων (αγροτικός, τεχνολογικός, εμπορικός κλπ). Τέλος, δίνονται κίνητρα και πιθανότητες για επενδύσεις και για ανάπτυξη τοπικών επενδύσεων στη περιοχή [41].

Ένα όμως από τα βασικά εμπόδια για την ανάπτυξη και εξάπλωση της βιοενέργειας και της ΣΗΘ από βιομάζα κατ' επέκταση, στην ενεργειακή αγορά, είναι η χρήση πετρελαίου και πυρηνικών για παραγωγή ενέργειας. Αν και το πραγματικό κόστος των καυσίμων αυτών πρώτων υλών είναι αντικειμενικά πολύ μεγαλύτερο από ότι η ενεργειακή αγορά αναγνωρίζει, κοινωνικοπολιτικοί λόγοι δεν συντελούν στην μεταβολή της δεδομένης κατάστασης. Στα κοινωνικά

---

<sup>5</sup> Ως βιοτικό επίπεδο ορίζεται η κατανάλωση του κάθε νοικοκυριού ή το χρηματικό εισόδημα. Άλλοι παράγοντες όπως η μόρφωση, οι εργασιακές ευκαιρίες, το περιβάλλον στο οποίο ζει, η κατάσταση υγείας και η περίθαλψη που μπορεί να έχει δεν μπορούν να αποδοθούν με οικονομικούς όρους, αλλά είναι εξίσου σημαντικοί και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

αρνητικά της χρήσης πετρελαίου πρέπει να συμπεριληφθεί και η στρατιωτική παρέμβαση στις περιοχές πλούσιες σε αυτό το φυσικό πλούτο, προκειμένου να υπάρχει έλεγχος των κοιτασμάτων.

Πέρα από τις επιπτώσεις από την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα στη τοπική οικονομία σαφώς υπάρχουν και επιπτώσεις στην εθνική οικονομία. Συντελεί στην απεξάρτηση από το πετρέλαιο και από εισαγόμενες καύσιμες ύλες. Κατά καιρούς, το κόστος εισαγωγής καύσιμων υλών μεταβάλλεται ανάλογα με κοινωνικοπολιτικές συνθήκες, γεγονός που προκαλεί ανασφάλεια τόσο στην οικιακή, όσο και στην εθνική οικονομία μιας χώρας. Η στροφή προς τη βιοενέργεια, αλλά και στην εκμετάλλευση των εγχώριων καύσιμων υλών, αποτελεί έναν τρόπο αντιμετώπισης της ανασφάλειας αυτής, ενώ εξασφαλίζει την εμπιστοσύνη του καταναλωτή και του πολίτη γενικότερα.

Το 10% της παγκόσμιας ενέργειας προέρχεται από βιομάζα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η βιομάζα σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία με αναποτελεσματικό τρόπο με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς δεν γίνεται χρήση αντιρρυπαντικής τεχνολογίας ή σύστημα ελέγχου επιπτώσεων. Βιομάζα χρησιμοποιείται για θέρμανση και μαγείρεμα χωρίς καμία ιδιαίτερη επεξεργασία και έλεγχο των εκπομπών, με αποτέλεσμα να είναι επιβλαβής, κυρίως για γυναίκες και παιδιά. Παρατηρείται επίσης ότι καταναλώνεται πολύς χρόνος για τη χειρωνακτική συλλογή της βιομάζας, ο οποίος θα μπορούσε να αξιοποιηθεί με πιο παραγωγικούς τρόπους, γεγονός σημαντικό για τις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου υπάρχει μεγάλη ανάγκη για εκμετάλλευση του χρόνου για εργασία.

Σε αντίθεση με αυτά τα δεδομένα, οι αναπτυγμένες χώρες επενδύουν σε έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογιών ενεργειακής εκμετάλλευσης βιομάζας με ασφάλεια, όσο το δυνατό μέγιστη αξιοποίηση ενεργειακού δυναμικού, και ιδιαίτερη έμφαση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συνθήκες με τις οποίες λειτουργούν. Ιδιαίτερα το θέμα των αέριων εκπομπών ρύπων, που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, κρίνει μείζονος προσοχής και σημασίας, καθώς σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή. Είναι σημαντικό να υπάρχει ανταλλαγή γνώσεων και τεχνολογίας μεταξύ των δύο διαφορετικών τρόπων αντιμετώπισης της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.

Η εισαγωγή τεχνολογικών επιτευγμάτων των αναπτυγμένων χωρών στις αναπτυσσόμενες, σε θέματα ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας, ενδεχομένως να μειώσει τις θέσεις εργασίας σε αυτές, καθώς τα σύγχρονα συστήματα είναι πιο αυτοματοποιημένα και έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε εργατικό προσωπικό. Σύμφωνα με αναλυτές [41], ο μεγαλύτερος αριθμός προσωπικού ανά μονάδα δεν είναι απαραίτητα καλύτερος, καθώς με χρήση προηγμένης τεχνολογίας ο μισθός ανά εργαζόμενο είναι μεγαλύτερος.

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μελέτης [48] όπου υπολογίστηκαν η δημιουργία θέσεων εργασίας, εισοδήματα και απασχόληση σε προγράμματα βιοενέργειας. Είναι ταξινομημένα σε τρεις κατηγορίες: εντατική παραγωγή σε ακριτικές περιοχές, παραγωγή καυσόξυλων με εντατικό τεμαχισμό και μεγάλης κλίμακας παραγωγή καυσόξυλων σε πρώην δασικές εκτάσεις.

Έχει υπολογιστεί η συνολική απασχόληση ανά μονάδα ενέργειας σε άτομα ανά έτος για τις εγκαταστάσεις, το ξεχορτάρισμα, την συγκομιδή, τον τεμαχισμό και τη διοίκηση.

Στον Πίνακα 5.5, που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα της παραγωγής βιοενέργειας σε περιφερειακή κλίμακα, τόσο σε κοινωνικό επίπεδο όσο και σε εθνικό. Παρουσιάζονται επιπλέον οι απαιτήσεις που δημιουργεί η εγκατάσταση μονάδας παραγωγής βιοενέργειας (πχ απαιτήσεις σε θέματα εργατικής απασχόλησης, εισροή επενδύσεων κλπ), καθώς και οι παροχές που δημιουργούνται και από τις οποίες επωφελείται η τοπική κοινωνία.



**Πίνακας 5.4:** Θέσεις εργασίας και εισοδήματα από επιλεγμένες μελέτες σε αναπτυσσόμενες/τροπικές χώρες από παραγωγή βιοκαυσίμων [48]

	<i>Εγκαταστάσεις</i>	<i>Ξεχορτάρισμα</i>	<i>Συγκομιδή</i>	<i>Μεταφορά</i>	<i>Τεμαχισμός</i>	<i>Διοίκηση</i>	<i>Σύνολο</i>
<b>Άτομα έτος/PJ</b>							
Εντατική παραγωγή, γεωργία	112	338	248	70	13	19	799
Εντατικός τεμαχισμός	71	196	251	71	13	19	620
Μεγάλης κλίμακας «δασική ενέργεια»	34	59	85	51	13	11	252
<b>Εισόδημα \$/PJ</b>							
Εντατική παραγωγή, γεωργία	82.305	205.761	257.202	68.587	13.717	68.587	696.159
Εντατικός τεμαχισμός	54.870	126.886	257.202	68.587	13.717	68.587	589.849
Μεγάλης κλίμακας «δασική ενέργεια»	17.147	27.435	37.723	20.576	13.717	34.294	150.892

**Πίνακας 5.5:** Πλεονεκτήματα της τοπικής παραγωγής βιοενέργειας [49]

<i>Κοινωνικά θέματα</i>	<i>Αύξηση ποιότητας ζωής</i>
	<i>Περιβάλλον</i>
	<i>Υγεία</i>
	<i>Εκπαίδευση</i>
	Κοινωνική συνοχή και σταθερότητα
	<i>Επιπτώσεις σε μετανάστευση</i>
	<i>Τοπική ανάπτυξη</i>
	<i>Αγροτική διαφοροποίηση</i>
Εθνικά θέματα	Διασφάλιση παροχής
	Περιφερειακή ανάπτυξη
	Μειωμένο περιφερειακό εμπορικό ισοζύγιο
	Δυνατότητα εξαγωγών
Παροχές	Αυξημένη παραγωγικότητα
	Αυξημένη ανταγωνιστικότητα
	Εργατική και πληθυσμιακή μετακίνηση
	Βελτιωμένες υποδομές
Απαιτήσεις	Απασχόληση
	Δημιουργία εισοδήματος και ευημερίας
	Εισροή επενδύσεων
	Υποστήριξη από σχετικές επιχειρήσεις

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5<sup>ου</sup>

- [1] James & James, *"The future for renewable energy – Prospects and directions"* EUREC Agency, 1997, LTD
- [2] Χατζηαθανασίου Α., Καβαδάκης Γ., Μαρδίκης Μ.: «Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας», (ΚΑΠΕ).
- [3] Richardson J., Bjorheden R., Hakkila P., Lowe A.T., Smith C.T., *"Bioenergy from sustainable forestry guiding principles and practice"* Forestry Sciences, Kluwer Academic Publishers, 2002
- [4] Sumner M.E., Wilding L.P., (eds) *"Handbook of Soil Science"* CRC Press, New York, 2000
- [5] Stone E.A., *"Soil and man's use of forest land"* in Bernier B., Winget C.H., (eds) *"Forest Soils and Forest Land Management"* Proceedings Fourth North American Forest Soils Conference, Laval University, Quebec, Canada, 1975.
- [6] Boul S.W., *"Sustainability of soil use"*. Annual review of ecological systems, 1995
- [7] Nambiar E.K.S., Bowen G.D., Sands R., *"Root regeneration and plant water status of Pinus radiata D. Don seedlings transplanted to different soil temperatures."* Journal of Experimental Botany, 1980
- [8] Bassman J.H., *"Influence of two site preparation treatments on ecophysiology of planted Picea engelmannii x glauca seedlings"*. Canadian Journal of Forest research, 1989.
- [9] Keenan R.J., Prescott C.E., Kimmins J.P., *"Mass and nutrient content of the forest floor and woody debris in western redcedar and western hemlock forests on northern Vancouver island"* Canadian Journal of forest research, 1993.
- [10] Vitousek P.M., Matson P.A., *"Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation"*. Ecology 66, 1985
- [11] Pritchett W.L., Smith W.H., *"Management of wet savanna forest soils for pine production"* Florida Agriculture Experiment Station Technical Bulletin 762. Florida Agricultural Experimental Station, Gainesville, 1974.
- [12] Chen Y., Aviad T., *"Effects of humic substances on plant growth"* in McCarthy C.E., Malcom R.L., Bloom P.R., (eds) *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: selected readings*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 1990.
- [13] Morris L.A., Miller R.E., *"Evidence for long term productivity change as provided by field trials"* in Dyck W.J., Cole D.W., Comerford N.B., *Impacts of forest harvesting on long-site productivity*. Chapman & Hall, London, 1994.

- [14] Morris L.A., Pritchett W.L., Swindel B.F., “*Displacement of nutrients into windrows during site preparation of a flatwoods forest.*” Soil Science Society of American Journal 47, 1983.
- [15] Kort J., Collins M., Ditsch D. “*A review of soil erosion potential associated with biomass crops*”, Biomass and Bioenergy, Vol. 14, Issue 4, p. 351-359, April 1998.
- [16]<http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=353&lang=1&catid=1>
- [17] Brooks K.N., Ffolliott P.F., Gregeson, H.M., DeBano, L.F., 1997. *Hydrology and the management of watersheds*. Iowa State University Press, Ames, IA.502p.
- [18] Brown H.E., Baker, M.B. Jr., Rogers J.J., Clary, W.C., Kovner, J.L., Larson, F.R., Avery C.C., Campbell, R.E., 1974. *Opportunities for increasing water yields and other multiple use values on ponderosa pine forest lands*. USDA Forest service research Paper RM-129, Rocky Mountain forest and Range experiment station, Fort Collins, CO.
- [19] Neary D.G., and Hornbeck J.W., 1994 Chapter 4: *Impacts of harvesting and associated practices on off-site environmental quality*. Pp 81-118 in Dyck, W.J., Cole, D.W. and Comerfort, N.B. (eds). *Impacts of forest harvesting on long-term site productivity*, Chapman and Hall, London
- [20] Swank W.T., 1988. Chapter 25. *Stream chemistry responses to disturbance*. Pp.339-357 in Swank W.T., and Crossley, D.A. (eds). *Forest hydrology and Ecology at Coweeta*. Springer-Verlag, New York, NY 469p.
- [21] Pierce R.S., Hornbeck, J.W., Likens, G.E., and Borman, F.H., 1970 « *Effect of elimination of vegetation on stream water quality and quantity*. International Association of Hydrological Science 96 :311-328
- [22] DeBano, L.F., Neary D.G. and Ffolliott, P.F., 1998. « *Fire's Effects on Ecosystems*. John Wiley & Sons, New York, NY.333p
- [23] Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P. and Melillo, J.M., 1989 « *Nitrogen saturation in northern forest ecosystems*. Bioscience 39 :378-386.
- [24] Neary D.G. and Leonard, J.H. 1978 “*effects of forest fertilization on nutrient losses in streamflow in New Zealand*. New Zealand Journal of Forest Harvesting on Long-term Site Productivity, Chapman & Hall, London.
- [25] Beasley R.S.1979 “*Intensive site preparation and sediment losses on steep watersheds in the gulf Coastal Plain*. Soil science society of American Journal 43: 412-417
- [26] O’ Loughlin C.L. and Pearce A.J 1976. *Influence of Cenozoic geology on mass movement and sediment yield response to forest removal*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 14:41-46.
- [27] Swanson R.H., Golding D.L., Rothwell R.L. and Bernier, P.Y. 1986 “*Hydrological effects of clear-cutting at Marmot Creek and Streeter*

watersheds, Alberta. Information report NOR-X-278, Northern Forestry Centre, Canadian Forestry Service, Edmonton, Alberta, Canada.27p.

[28] Beasley R.S. and Granillo A.B. 1988. “*Sediment and water yields from managed forests on flat coastal plain sites*”. Water resources Bulletin 24:361-366

[29] Ranney J. W., Mann L. K: “*Environmental considerations in energy crop production*”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 6, Issue 3, 1994, Pages 211-228.

[30] Μπούνου Α., Λεβαντάκης Κ., *‘Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση βιομάζας’*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2005

[31] Angelstam P., Mikusinski G., Breuss M., “*Biodiversity and forest habitats*” in Richardson J., Bjorheden R., Hakkila P., Lowe A.T., Smith C.T., “*Bioenergy from sustainable forestry guiding principles and practice*” Forestry Sciences, Kluwer Academic Publishers, 2002

[32] Βουρδουμπάς Γ. «*Το ενεργειακό πρόβλημα της Κρήτης και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*», Κεφάλαια: 1, 9, 10, 2002

[

[33] Γαγάνης Β., «*Η καύση της βιομάζας. Μηχανισμοί, συστήματα, ρυπαντές*», Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2005

[34] Hustad J.E., Sonju O.K., «*Biomass combustion in IEA countries*», *Biomass and bioenergy*, vol.2, no 1-6, Pergamon Press Ltd., pp 239-261, 1992

[35] Kilpinen P., Hupa M., “*Homogenous N<sub>2</sub>O chemistry at fluidized bed combustion conditions: a kinetic modelling study*”, *Combustion and flame*, vol. 85, pp94-105, 1992

[36] Mereb J., Wendt J., “*Air staging and reburning mechanisms for NO<sub>x</sub> abatement in a laboratory coal combustion*”, *Fuel*, vol 73, no7, pp 1020-1026, 1994

[37] Hansen J.L., “*Fluidized bed combustion of biomass: an overview*” in *Procs of Biomass combustion conference*, Reno, NV, pp 245-259

[38] Murphy M.L., “*Energy from biomass and wastes XI*”(D.L.Klass, ed), Institute of Gas Technology, Chicago, US, 1998

[39]W.T. Tsai, Y.H. Chou: “*Overview of environmental impacts, prospects and policies for renewable energy in Taiwan*”, 2004

[40] Kaltschmitt M., Reinhardt G. A., Stelzer T. “*Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects*”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, Issue 12, p. 121-134, 1997.

[41] Domac J., Richards K., Risovic S., “*Socioeconomics drivers in implementing bioenergy projects*’, *Biomass and bioenergy*, 28, pp 97-106, 2005

- [42] Remedio E., “*Socio-economic aspect of bioenergy: a focus on employment*” FAO Report 2003
- [43] Domac J., Richards K., “*Final results from IEA bioenergy task 29: socioeconomic aspects of bioenergy systems*” in: proceedings from 12<sup>th</sup> European conference on biomass for energy and climate protection, Amsterdam, the Netherlands, p.1200-04, 2002
- [44] Faaij APC., “*Energy from biomass and waste*” University of Utrecht, Postbus 80125, 3508TC Utrecht, The Netherlands, 1997
- [45] Bauen A., “*Sustainable heat and electricity supply from gasification based biomass fuels cycles. The case of Sweden and the UK*” in procs of World renewable energy congress, vol VI, Elsevier, London, UK, p1381-84, 2000
- [46] FAO “*Regional study on wood energy today and tomorrow in Asia*”, FAO field document no 50, Bangkok, Thailand
- [47] Domac J., “*The contribution of bioenergy systems on a national level – case study for Croatia*” in procs of the IEA bioenergy task 29 international workshop in Alberta, Canada, Zegreb, Croatia, p 3-47, 2001
- [48] Hector B., “*Forest fuels – rural employment and earnings*” Department of Forest Management and Products, SLU, SE-75007, Upsala, Sweden, 2000
- [49] Madlener R., Myles H., “*Modelling socio-economic aspects of bioenergy systems*” Prepared for IEA Bioenergy Task 29. [www.iea-bioenergy-tsk29.hr](http://www.iea-bioenergy-tsk29.hr), p11-12, 2000
- [50] Varela M, Lechón Y., Sáez R. «*Environmental and socioeconomic aspects in the strategic analysis of a biomass power plant integration*». Biomass and Bioenergy, 17, 405-413, 1999.
- [51] Braustein H.M., “*Biomass Energy Systems and the Environment*” Pergamon Press 1981, New York.
- [52] McGinnis G., Rughani J., Diebel J., Shetron S., and Jurgensen M., (1995) :*Wood Ash in the Great Lakes Region: Production, characteristics and regulation*” Institute of Wood Research, Mishigan Technology University, Houghton, MI, September.
- [53] McKendry P., ‘*Energy Production from Biomass: overview of biomass*’ (part 1), Bioresource Technology 83 (2002) 37-46
- [54] Grass W.S., Jenkins B.M., “*Biomass fuelled fluidized bed combustion: atmospheric emissions, emission control devices and environmental regulations*”, Biomass and bioenergy, Vol.6, No 4, pp243-260, 1994.
- [55] Rosenberg M., “*Environmental costs connected to emissions from biomass combustion*” Environmental impacts of Bioenergy, Enercon AS
- [56] Levy J., Longwell J., Sarofil, A., Corley T., Tyson T.: “*NOx abatement in fossil fuels combustion, chemical kinetic considerations.*” Proc 3<sup>rd</sup> stationary

source combustion symposium, Vol IV, EPA 600-79-050d, San Francisco, 3-44.

[57] Beer J.: *Advanced combustion methods for low grade coal utilization, Low grade fuels*, Vol 1, VTT Symposium 108, Espoo (SF) 1990,83-112

[58] Stieglitz L., Vogg H., Zwick G., Beck J., Bautz H., 1991: *On formation conditions of organohalogen compounds from particulate carbon of fly ash*, *Chemosphere* 23/8, 1255-1264

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:**

*Μελέτη Εφαρμογής Συστήματος Συμπαραγωγής με  
καύσιμο βιομάζα στην Κρήτη*



## 6.1 ΠΗΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Στο Κεφάλαιο αυτό καταγράφονται αρχικά οι πηγές βιομάζας στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Κρήτη) και στο Ν. Χανίων ειδικότερα. Γίνεται ανάλυση της επιλεγμένης καύσιμης ύλης και στη συνέχεια μελετάται η περίπτωση εφαρμογής καινοτόμου συστήματος ΣΗΘ στη Φοιτητική Εστία του ΠΚ. Γίνεται ανάλυση των ενεργειακών απαιτήσεων, επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας, στοιχεία χρηματοδότησης και εκτίμηση των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΕ).

### 6.1.1 Δυναμικό Γεωργικών Υπολειμμάτων στην Κρήτη.

Η Κρήτη είναι το νοτιότερο και μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας. Έχει έκταση 8.336 Km<sup>2</sup> και χαρακτηρίζεται από σημαντική αυτονομία και ιδιαίτερο χαρακτήρα. Η αγροτική δραστηριότητα και η κτηνοτροφία είναι από τις βασικές δραστηριότητες του νησιού, καθώς και ο τουρισμός. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης του νησιού.

**Πίνακας 6.1:** Κατηγορίες χρήσης γης στην Κρήτη [1]

Κατηγορία	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
Αγροτικές γαίες	3090,30	37,07
Βοσκότοποι	4427,27	53,11
Δάση	377,40	4,53
Άλλες χρήσεις (πόλεις δρόμοι κ.λ.π.)	441,20	5,29
Σύνολο	8335,90	100

Στη συνέχεια, στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται ο καταμερισμός των αγροτικών δραστηριοτήτων ανά καλλιέργεια. Το ποσοστό της επιφάνειας, η οποία χρησιμοποιείται για αγροτικές χρήσεις, κατανέμεται στα διάφορα γεωργικά προϊόντα σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2. Παρατηρείται ότι η καλλιέργεια ελιάς καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της αγροτικής εκμετάλλευσης.

**Πίνακας 6.2:** Αγροτικές καλλιέργειες στην Κρήτη [1]

<i>Καλλιέργειες</i>	<i>Επιφάνεια (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Ποσοστό (%)</i>
Ελιές	1543,80	50,00
Εσπεριδοειδή	60,47	1,87
Αμπέλια	408,36	13,23
Λαχανικά	81,67	2,65
Λοιπές καλλιέργειες	91,63	2,97
Ετήσιες καλλιέργειες (σιτηρά) & εκτάσεις αγροανάπαυσης	904,37	29,29
Σύνολο αγροτικών γαίων	3090.30	100

Οι κύριες πηγές βιομάζας της Κρήτης είναι τα γεωργικά παραπροϊόντα και η δασική βιομάζα, η οποία περιλαμβάνει τη δασική ξυλεία, τα υπολείμματα της υλοτόμησης των δασών και τα υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου.

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται οι παραγόμενες ποσότητες γεωργικών παραπροϊόντων της Κρήτης και ο μέσος ρυθμός μεταβολής τους.

Τα γεωργικά παραπροϊόντα προέρχονται ως επί το πλείστον από την καλλιέργεια και επεξεργασία της ελιάς, και από την παραγωγή του ελαιόλαδου. Σημαντικές ποσότητες γεωργικών υπολειμμάτων παράγονται επίσης από την καλλιέργεια των αμπελώνων και την επεξεργασία των σταφυλιών για την παραγωγή κρασιού, όπως επίσης από την καλλιέργεια των εσπεριδοειδών και την επεξεργασία τους για την παραγωγή χυμού [3].

Όσον αφορά στα παραπροϊόντα από την καλλιέργεια της ελιάς, συνιστώνται στο πυρηνόξυλο, τα λιοφύλλα, τα λιοζουμα και τα κλαδοδέματα των ελαιοδέντρων. Το πυρηνόξυλο χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ενέργειας στα πυρηνελαιουργεία και σε κατοικίες, τα ελαιόφυλλα κυρίως ως ζωτροφές και λίπασμα στις καλλιέργειες, τα κλαδοδέματα των ελαιοδέντρων κυρίως ως καυσόξυλα, ενώ τα ελαιόζουμα απορρίπτονται στο περιβάλλον.

Τα παραπροϊόντα από την καλλιέργεια αμπελιού είναι οι βόστρυχοι, οι φλοιοί, τα κουκούτσια και οι κληματίδες. Οι κληματίδες χρησιμοποιούνται για παραγωγή θερμικής ενέργειας (καυσόξυλα), ενώ οι βόστρυχοι, οι φλοιοί και τα κουκούτσια ως λίπασμα [2].

**Πίνακας 6.3:** Μέση ετήσια παραγωγή γεωργικών παραπροϊόντων στην Κρήτη [3]

<i>Είδος γεωργικών παραπροϊόντων</i>	<i>Παραγωγή (t)</i>	<i>Μέσος ρυθμός μεταβολής (t/έτος)</i>
Πυρηνόξυλο	103.695	+8.553
Λιόφυλλα	21.162	+1.746
Λιόζουμα	687.770	+56.729
Κλαδοδέματα ελαιοδέντρων	1.550.723	+57.670
Βόστρυχοι σταφυλιών	7.445	-454
Φλοιοί σταφυλιών	5.956	-363
Κουκούτσια σταφυλιών	1.489	-91
Κληματίδες	175.843	-6.468
Φλούδες πορτοκαλιών	33.129	-208
Φλούδες μανταρινιών	3.675	-71
Φλούδες λεμονιών	3.426	-76
Κλαδοδέματα δέντρων εσπεριδοειδών	31.534	-201

Από την καλλιέργεια εσπεριδοειδών προκύπτουν φλούδες των πορτοκαλιών, μανταρινιών και λεμονιών, καθώς και τα κλαδοδέματα των δέντρων. Οι φλούδες των εσπεριδοειδών χρησιμοποιούνται ως ζωτροφές και βελτιωτικό του εδάφους, ενώ τα κλαδοδέματα ως καυσόξυλα. Ο τομέας παραγωγής ενέργειας από παραπροϊόντα εσπεριδοειδών είναι επίσης ένας κλάδος εκμετάλλευσης βιομάζας που παρουσιάζει ενδιαφέρον, αν και στην Κρήτη δεν έχει ακόμα αξιοποιηθεί.

Σημαντική δυνατότητα αξιοποίησης έχει το πυρηνόξυλο και η υπολειμματική ξυλεία που προέρχεται από το σύνολο των γεωργικών δραστηριοτήτων. Στον επόμενο Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται η ΚΘΔ της βιομάζας, η παραγόμενη ποσότητα, ενώ έχει υπολογιστεί και η συνολική προσδιδόμενη ενέργεια η δυνατότητα παραγωγής θερμικής ενέργειας που θα απέδιδε η αποτελεσματική αξιοποίηση τους η οποία ανέρχεται σε  $7822,15 \times 10^9$  kcal ή **32696,59 kJ** ετησίως, η οποία ισοδυναμεί θεωρητικά με την ενέργεια που παράγεται από την καύση 782.215 τόνων πετρελαίου.

**Πίνακας 6.4:** Συνολική ετήσια προσδιδόμενη θερμική ενέργεια από τα κύρια γεωργικά παραπροϊόντα της Κρήτης [8]

Υποπροϊόν	Μέση Κ.Θ.Δ (cal/g)	Ετήσια παραγωγή (t)	Παραγωγή θερμικής ενέργειας (10 <sup>9</sup> kcal)
Πυρηνόξυλο	4.624,1	103.695	479,5
Ξύλα ελαιοδέντρων	4.244,67	1.550.723	6.582,3
Ξύλα δέντρων	4.075,1	31.534	128,5
Εσπεριδοειδών			
Κληματίδες	3.593,26	175.843	631,85

### 6.1.2. Προσεγγιστική και στοιχειακή ανάλυση πυρηνόξυλου

Στα πλαίσια μεταπτυχιακής διατριβής [2] που εκπονήθηκε στο ΠΚ από το Εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων, έγινε προσεγγιστική ανάλυση του πυρηνόξυλου, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5, ενώ τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης στον Πίνακα 6.6.

**Πίνακας 6.5:** Προσεγγιστική ανάλυση αρχικών δειγμάτων βιομάζας [2,7]

	Υγρασία (%)	Τέφρα ως έχει (%)	Τέφρα επί ξηρού (%)	Καύσιμη ύλη επί ξηρού (%)
Πυρηνόξυλο	5,6	4,1	4,4	95,7

**Πίνακας 6.6:** Στοιχειακή ανάλυση (επί ξηρού) αρχικών δειγμάτων βιομάζας [2,7]

Δείγμα	Τέφρα (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O <sup>1</sup> (%)	S (%)	A.Θ.Δ επί ξηρού (kcal/kg)	K.Θ.Δ ως έχει (kcal/kg)
Πυρηνόξυλο	4,4	49, 7	6,1	1,6	38,2	0,08 4	5063,1	4489,9

$$^1\%O = 100 - [\%C + \%H + \%N + \%S + \%Τέφρα]$$

Στον Πίνακα 6.6 με τη στοιχειακή ανάλυση παρατηρείται ότι το πυρηνόξυλο το οποίο έχει το μεγαλύτερο ποσοστό τέφρας, έχει και το μεγαλύτερο ποσοστό σε ολικό άνθρακα και θερμογόνο δύναμη. Η συμπεριφορά αυτή πιθανόν να οφείλεται σε ύπαρξη ανόργανου άνθρακα, ο οποίος διασπάται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και καίγεται αποδίδοντας θερμότητα [2].

## **6.2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΗΘ ΣΤΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

### **6.2.1. Περιγραφή έργου- δεδομένα εστίας**

Η Φοιτητική Εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη, στα Κουνουπιδιανά, σε απόσταση 7km ανατολικά από την πόλη των Χανίων. Φιλοξενεί 80 φοιτητές ετησίως και έχει εμβαδό 3.940 m<sup>2</sup>. Έχει 3 ορόφους, 80 δωμάτια και κοινόχρηστους χώρους. Η εστία εξυπηρετείται από το υπάρχον οδικό δίκτυο που συνδέει τα Χανιά με τον οικισμό των Κουνουπιδιανών, ενώ εντός της Πολυτεχνειούπολης υπάρχει τοπικός δρόμος που εξυπηρετεί τις ανάγκες του Ιδρύματος.

Το κλίμα στην περιοχή είναι τυπικό Μεσογειακό, με ήπιους και υγρούς χειμώνες και ξηρά και ζεστά καλοκαίρια. Η θερμοκρασία διακυμαίνεται σε περιορισμένο εύρος, με τις υψηλότερες τιμές τον Ιούλιο και τις χαμηλότερες τον Ιανουάριο. Οι χρήσεις γης της περιοχής είναι στην πλειοψηφία αγροτικές εκμεταλλεύσεις, που καλύπτουν περίπου το 70% των εκτάσεων, ενώ επικρατούν τα πολυετή φυτά, οι ελιές, τα εσπεριδοειδή, αμπέλια και δημητριακά [8].

### **Γενική περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης**

Η φοιτητική εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης χρησιμοποιεί ένα λέβητα πετρελαίου κεντρικής θέρμανσης (ΚΘ) και ένα λέβητα ζεστού νερού χρήσης (ΖΝΧ). Έχει εγκατάσταση καλοριφέρ και ηλιακούς θερμοσίφωνες.

#### *Θέρμανση νερού Ζεστού Νερού Χρήσης*

Όσον αφορά στη θέρμανση του νερού, η εστία διαθέτει ένα αισθητήριο θερμοκρασίας, ώστε να διατηρείται το νερό σε σταθερή θερμοκρασία. Το νερό θερμαίνεται αφ' ενός με ηλιακούς συσσωρευτές (κυρίως κατά τους θερινούς μήνες με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια), και συμπληρωματικά από καύση πετρελαίου σε ξεχωριστό λέβητα.

Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας του ιδρύματος, η χρήση του λέβητα για ZNX είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα και ελάχιστη το καλοκαίρι με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια. Κατά τους θερινούς μήνες απαιτείται η λειτουργία του σε περιπτώσεις συνεχόμενης νεφοκάλυψης για περισσότερο από 1 μέρα και για τυχόν συμπλήρωση του απαιτούμενου θερμού νερού τις βραδινές ώρες. Επίσης, έπειτα από μαζική κατανάλωση ZNX, ιδίως όταν η Φ.Ε. είναι πλήρης από φοιτητές προγραμμάτων ανταλλαγής τους μήνες αυτούς. Αντίστοιχα, μπορεί να υπάρχουν περίοδοι όπου ο λέβητας δεν λειτουργεί καθόλου.

### *Κεντρική Θέρμανση κτιρίου*

Το υπάρχον σύστημα θέρμανσης των δωματίων της εστίας και των κοινόχρηστων χώρων συνίσταται σε κεντρική εγκατάσταση καλοριφέρ. Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας, ο λέβητας πετρελαίου θέρμανσης λειτουργεί περίπου 6 ώρες ημερησίως σε 6μηνη βάση κατά τη χειμερινή περίοδο, η οποία για τα Χανιά υπολογίζεται περίπου στους έξι μήνες (τέλος Οκτώβρη έως τέλη Απρίλη). Το σύστημα θέρμανσης λειτουργεί με κεντρικό θερμοστάτη, ώστε να υπάρχει μια ρυθμιζόμενη και σταθερή θερμοκρασία στις εγκαταστάσεις.

Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται υπολογισμός των ενεργειακών και θερμικών απαιτήσεων της ΦΕ, ο υπολογισμός της διαθέσιμης ενεργειακής πηγής (βιομάζα) και στη συνέχεια η επιλογή της βέλτιστης καινοτόμου τεχνολογίας.

## **6.2.2. Υπολογισμοί**

### **6.2.2.1 Διαθέσιμη ενέργεια από βιομάζα στην περιοχή εφαρμογής**

Στον Πίνακα 6.7 φαίνονται οι διαθέσιμες ποσότητες πυρηνόξυλου στην υπό μελέτη περιοχή εφαρμογής καθώς και τα ενεργειακά του χαρακτηριστικά.

Με βάση αυτά, η Διαθέσιμη Θερμική Ενέργεια (ΔΘΕ) για την περίπτωση μελέτης είναι :

$$\Delta\Theta E = 38.81 \text{ 1t/year} \times 4512 \times 10^3 \text{ kcal/ t} \sim \\ \mathbf{175,2 \times 10^9 \text{ kcal/year}}$$

**Πίνακας 6.7:** Διαθέσιμες ποσότητες πυρηνόξυλου στην Κρήτη και στο Ν. Χανίων [2,8]

<i>Πυρηνόξυλο</i>	<i>Μέση Κ.Θ.Δ (cal/g)</i>	<i>Ετήσια παραγωγή (t)</i>	<i>Παραγωγή θερμικής ενέργειας (10<sup>9</sup> kcal)</i>
Κρήτης	4.512	103.695	479,5
Ν. Χανίων		38.811	175,2

Δεδομένου ότι:

$$1 \text{ W} = 0,859 \text{ kcal/h}$$

**η Διαθέσιμη Ισχύς (ΔΙ) Ν. Χανίων σε MW** είναι:

$$\Delta\Theta E = 175,2 \times 10^9 \text{ kcal/yr} = 175,2 \times 10^9 \text{ kcal/yr} : 8.760 \text{ h/yr} = 20 \times 10^6 \text{ kcal/h} = 20 \times 10^6 \text{ kcal/h} : 0,859 \text{ kcal/h/W} = 23.282.887 \text{ W} \text{ ή } 23.282 \text{ kW} \text{ ή}$$

$$\Delta I = 23,2 \text{ MW}$$

#### **6.2.2.2 Ώρες λειτουργίας του λέβητα θέρμανσης νερού**

Σύμφωνα με εκτίμηση του υπεύθυνου τεχνικού του Πολυτεχνείου, ο λέβητας ζεστού νερού καταναλώνει 20 l/h ενώ είναι ανοικτός επί 24ωρου βάσης. Ο λέβητας όμως δεν λειτουργεί συνεχώς όλο το 24ωρο, αφενός γιατί υπάρχει θερμοστάτης, αφετέρου γιατί λειτουργεί συμπληρωματικά με τους ηλιακούς θερμοσίφωνες. Κατά τη θερινή περίοδο, εκτιμάται ότι λειτουργεί κατά προσέγγιση 2 ώρες ημερησίως. Μια μέση τιμή για όλη την περίοδο Οκτώβρη-Μάιο (σύμφωνα με εκτιμήσεις των υπευθύνων τεχνικών) είναι 5 ώρες ημερησίως. Με αυτά τα δεδομένα, οι **ώρες πραγματικής λειτουργίας** του λέβητα για παροχή ζεστού νερού υπολογίζονται ως εξής:

**Ημερήσια λειτουργία: 5 h/day**

**Χρόνος λειτουργίας: 8 months/year**

**Ώρες λειτουργίας/ έτος T<sub>1</sub>:**

$$T = 8 \text{ months/yr} \times 5 \text{ h/day} = 240 \text{ days/yr} \times 5 \text{ h/day} =$$

$$T_1 = 1.200 \text{ h/yr}$$

#### **6.2.2.3 Θεωρητική κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση νερού της ΦΕ**

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του λέβητα, η κατανάλωση πετρελαίου  $C_{oil\ 1}$  για θέρμανση νερού προκύπτει:

**Κατανάλωση λέβητα: 20 l/h**

**Ώρες λειτουργίας/ έτος  $T_1$ : 1.200h/yr**

**Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου  $V_{oil\ 1}$ :**

$$V_{oil\ 1} = 20\text{l/h} \times 1.200\text{h /yr} =$$

$$\mathbf{V_{oil\ 1} = 24.000\text{l/yr}}$$

Η τιμή πώλησης του πετρελαίου στο ΠΚ το τρέχον έτος (2006), διακυμάνθηκε από 0,47-0,58 €/l. Η αύξηση αυτή είναι σημαντική, ενώ η συνεχώς αυξανόμενη τιμή υπογραμμίζει την αναγκαιότητα στροφής προς αυτόνομες, τοπικές ενεργειακές πηγές). Για τους οικονομικούς υπολογισμούς της εργασίας χρησιμοποιείται η μέση τιμή του 2006, που είναι 0,52 €/l.

Το **κόστος (C)** για την ποσότητα πετρελαίου για τη θέρμανση του νερού της εστίας είναι:

$$\mathbf{P = 0,52\ €/l}$$

$$\mathbf{V_{oil\ 1} = 24.000\text{l/yr}}$$

$$C = 24.000\text{l/yr} \times 0,52\ €/l =$$

$$\mathbf{C_1 = 12.480\ €/yr}$$

#### **6.2.2.4 Ώρες λειτουργίας του λέβητα θέρμανσης χώρων**

Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας, ο λέβητας πετρελαίου θέρμανσης λειτουργεί περίπου 6 ώρες ημερησίως κατά τη χειμερινή περίοδο, η οποία στα Χανιά υπολογίζεται περίπου στους έξι μήνες (τέλος Οκτώβρη έως τέλη Απρίλη). Σε αυτή την περίπτωση, οι ώρες λειτουργίας του λέβητα υπολογίζονται θεωρητικά ως εξής:

**Ημερήσια λειτουργία: 6 h/day**



**Χρόνος λειτουργίας: 6 months/year**

**Ώρες λειτουργίας/ έτος T:**

$$T=6 \text{ ms/year} \times 6 \text{ h/day} = 181\text{days/year} \times 6\text{h/day} =$$

$$\mathbf{T= 1.086h/year}$$

Ο πραγματικός χρόνος λειτουργίας όμως του λέβητα θέρμανσης είναι λιγότερος, καθώς ο λέβητας σταματά να λειτουργεί όταν η τιμή της θερμοκρασίας στους χώρους προς θέρμανση φτάσει το επιθυμητό επίπεδο. Έτσι, ο πραγματικός χρόνος λειτουργίας μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά σε 4 ώρες συνεχούς πραγματικής λειτουργίας ημερησίως. Σε αυτή την περίπτωση ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του λέβητα θέρμανσης υπολογίζεται σε:

**Ημερήσια λειτουργία: 4 h/day**

**Χρόνος λειτουργίας: 6 months/year**

**Ώρες λειτουργίας/ έτος T<sub>2</sub>:**

$$T_2=305\text{days/yr} \times 4\text{h/day} =$$

$$\mathbf{T_2=724h/yr}$$

Η απόκλιση είναι αρκετά σημαντική, της τάξεως του 33% περίπου (δηλαδή ο λέβητας δουλεύει κατά 33% λιγότερο από τον αρχικό υπολογισμό). Γενικά παρατηρείται, όπως προκύπτει και από την πορεία της εργασίας, ότι ο σχεδιασμός του συστήματος θέρμανσης της ΦΕ έχει σχεδιαστεί για ανάγκες κατά 30-33% μεγαλύτερες από τις πραγματικές.

#### **6.2.2.5 Θεωρητική κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση χώρων της ΦΕ**

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του λέβητα θέρμανσης χώρων, η κατανάλωση πετρελαίου είναι 30l/h. Με βάση το χρόνο λειτουργίας του λέβητα,  $V_{oil\ 2}$  για θέρμανση χώρων προκύπτει:

**Κατανάλωση λέβητα: 30l/h**

**Ώρες λειτουργίας/ έτος  $T_2$ : 724h/year**

**Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου  $V_{oil\ 2}$ :**

$$V_{oil\ 2} = 30l/h \times 724h / year =$$

$$V_{oil\ 2} = 21.720l/yr$$

Το θεωρητικό κόστος για την εκτιμώμενη ποσότητα πετρελαίου είναι:

$$P = 0,52 \text{ €/l}$$

$$V_{oil\ 2} = 21.720l/yr$$

$$C_2 = 21.720l / yr \times 0,52 \text{ €/l} =$$

$$C_2 = 11.295 \text{ €/yr}$$

#### **6.2.2.6 Θεωρητική συνολική κατανάλωση πετρελαίου της ΦΕ**

Η συνολική κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση νερού και χώρων της ΦΕ με βάση τα παραπάνω προκύπτει:

**Συνολική κατανάλωση πετρελαίου**

$$V_{oil\ 1} = 24.000l/yr$$

$$V_{oil\ 2} = 21.720l/yr$$

$$V_{oil} = V_{oil\ 1} + V_{oil\ 2} = 24.000l/yr + 21.720l/yr =$$

$$V_{oil} = 45.720l/yr$$

**Ειδικό Βάρος πετρελαίου= 0,85kg/l**

Άρα  $45.720 \text{ l/yr} \times 0,85 \text{ kg/l} = 38.862 \text{ kg/yr}$

Η δεξαμενή αποθήκευσης του πετρελαίου είναι όγκου 20 lt, και σύμφωνα με στατιστική προσέγγιση των υπευθύνων τεχνικών του Τμήματος Συντήρησης, γεμίζει 2-3 φορές ετησίως. Οπότε, η θεωρητική τιμή που προέκυψε από τους παραπάνω υπολογισμούς είναι εντός των αναμενόμενων ορίων. Το σύστημα θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού έχει σχεδιαστεί ώστε να υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της εστίας. Έχει τη δυνατότητα παροχής 30% επιπλέον ενέργειας από αυτή που χρειάζεται συνήθως.

Με αυτά τα στοιχεία, η θέρμανση της ΦΕ στοιχίζει στο Πολ. Κρήτης περίπου

**$C_1 = 12.480 \text{ €/yr}$**

**$C_2 = 11.295 \text{ €/yr}$**

**$C = C_1 + C_2 =$**

**$C = 23.775 \text{ €/yr.}$**

#### **6.2.2.7 Ενεργειακές απαιτήσεις εστίας για θέρμανση το 2006**

Σύμφωνα με στοιχεία της Τεχνικής Υπηρεσίας το έτος 2006, καταναλώθηκαν 35.000l πετρελαίου για τη θέρμανση της ΦΕ. Η ποσότητα αυτή είναι κατά 30% μικρότερη από αυτή που προέκυψε από τους θεωρητικούς υπολογισμούς, αν καταναλωθεί η μέγιστη χωρητικότητα του λέβητα. Παρατηρείται ότι κατά 30% μικρότερες βρέθηκαν και οι πραγματικές ώρες λειτουργίας του λέβητα σε σχέση με τις θεωρητικές [ο λέβητας είναι ανοικτός κάποιες ώρες την ημέρα, αλλά δεν λειτουργεί συνεχώς όλο το διάστημα. Από την Τεχνική Υπηρεσία δόθηκαν τα στοιχεία και έγιναν οι εκτιμήσεις για τους υπολογισμούς]. Οπότε, το σύστημα έχει σχεδιαστεί και λειτουργεί ώστε να έχει δυνατότητα κάλυψης κατά 30% επιπλέον απαιτήσεων από τις συνήθειες.

Ενδεικτικά υπολογίζεται το κόστος προμήθειας πετρελαίου με δεδομένα για το έτος 2006 ανέρχεται σε:

**$P = 0,52 \text{ €/l}$**

$$C_{oil \text{ real}} = 35.0001 \text{ /yr}$$

$$V = 35.0001 \text{ /year} \times 0,52 \text{ €/l} = 18.200 \text{ €/yr}$$

#### 6.2.2.8 Μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις εστίας

Στην 6.2.2.6 έχει υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση πετρελαίου στους 2 λέβητες σε l/yr. Υπολογίζουμε την θερμική ισχύ που παράγει η καύση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας πετρελαίου ακολουθώντας τα εξής βήματα:

##### Δεδομένα:

Κατανάλωση πετρελαίου σε l/yr  $V_{oil} = 45.7201 \text{ /yr}$

Ειδικό Βάρος πετρελαίου  $0,85 \text{ kg/l}$

Θερμική ικανότητα πετρελαίου:  $10^4 \text{ kcal/kg}$

##### Θερμική καταναλισκόμενη ενέργεια:

$$45.7201 \text{ /yr} \times 0,85 \text{ kg/l} \times 10^4 \text{ kcal/kg} = 38.862 \times 10^4 \text{ kcal/yr}$$

Η αποδιδόμενη ισχύς για κάθε λέβητα είναι:

$$P_{\Lambda 1} = 301 \text{ /h} = 301 \text{ /h} \times 0,85 \text{ kg/l} \times 10^4 \text{ kcal/kg} = 25,5 \times 10^4 \text{ kcal/h} : 0,859 \text{ kcal/h/W} = 296.856 \text{ W} \sim 297 \text{ kW}$$

$$P_{\Lambda 2} = 20 \text{ l/h} = 201 \text{ /h} \times 0,85 \text{ kg/l} \times 10^4 \text{ kcal/kg} = 17 \times 10^4 \text{ kcal/h} : 0,859 \text{ kcal/h/W} = 197.904 \text{ W} \sim 198 \text{ kW}$$

$$P_{\Lambda 1} + P_{\Lambda 2} = 495 \text{ kW}$$

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η φοιτητική εστία έχει  
θερμικές απαιτήσεις περίπου **495 kW**

Όπως προκύπτει και από το 6.2.2.1 αναλυτικά, η ΔΘΕ του Ν.Χανίων είναι

$$\Delta \Theta \text{E} = 23,2 \text{ MW}$$

Ποσό κατά πολύ μεγαλύτερο από τις ενεργειακές απαιτήσεις της εστίας.

Τα μεγέθη αυτά έχουν υπολογιστεί με βάση τους τωρινούς λέβητες της ΦΕ. Από την σύγκριση των φετινών τιμών (2006), προκύπτει ότι η φέρουσα θερμαντική ικανότητα των λεβήτων είναι κατά 33% περίπου μεγαλύτερη από την αναγκαία θερμαντική ικανότητα.

#### **6.2.2.9 Απαιτήσεις σε καύσιμο βιομάζας**

Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός της απαιτούμενης βιομάζας που για την παραγωγή της θερμικής ενέργειας ( $495\text{kW}$  ή  $38.862 \times 10^4 \text{ kcal}$ ) για την κάλυψη των αναγκών της φοιτητικής εστίας από καύση πυρηνόξυλου (με  $(\text{ΚΘΔ}) = 18,8 \text{ MJ /kg}$  [8]).

Αρχικά γίνεται η μετατροπή των μονάδων:

$$1 \text{ KJ} = 0,24 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ MJ} = 10^3 \text{ KJ}$$

$$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$$

Άρα,

$$\text{ΚΘΔ} = 18,8 \text{ MJ /kg} = 18,8 \times 10^3 \text{ MJ /t} = 18,8 \times 10^6 \text{ KJ /t} \times 0,24 \text{ kcal/ KJ} = 4.512 \times 10^6 \text{ kcal/ t} = \mathbf{4.512 \times 10^3 \text{ kcal/ t}}$$

Άρα για την παραγωγή  $38.862 \times 10^4 \text{ kcal}$ , χρειάζονται:

$$\text{Απαιτούμενη θερμική ενέργεια: } \mathbf{38.862 \times 10^4 \text{ kcal}}$$

$$\text{ΚΘΔ} = \mathbf{4.512 \times 10^3 \text{ kcal/ t}}$$

**Απαιτούμενη ποσότητα:**

$$38.862 \times 10^4 \text{ kcal} : 4.512 \times 10^3 \text{ kcal/ t} = \sim \mathbf{86 \text{ t το έτος}}$$

Σύμφωνα με έρευνα αγοράς που έγινε στο Ν. Χανίων, ο τόνος πυρηνόξυλο κοστίζει περίπου 50 ευρώ<sup>6</sup>. Άρα, η κάλυψη των θερμικών αναγκών της ΦΕ με καύση βιομάζας κοστίζει (ως προς την παροχή της)

$$\mathbf{P = 50 \text{ €/ t}}$$

$$\mathbf{Q = 86 \text{ t}}$$

$$\mathbf{V = 100 \text{ t} \times 50 \text{ €/ t} = 4.300 \text{ €} \ll 23.775 \text{ €/yr}}$$

<sup>6</sup> από ΑΒΕΑ: κατόπιν συνεννόησης μπορεί να γίνει και καλύτερη τιμή.

Από τους υπολογισμούς και σε σύγκριση με το κόστος του πετρελαίου προκύπτει ότι κάλυψη των θερμικών αναγκών της εστίας με καύσιμο βιομάζας έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος (4.300€ << 23.775 €/yr).

#### **6.2.2.10 Υπολογισμός κατανάλωσης ρεύματος**

Με βάση τις μέσες ανάγκες φωτισμού ενός δωματίου εστίας και των κοινόχρηστων χώρων, μπορεί να γίνει ένας υπολογισμός του ηλεκτρικού φορτίου που απαιτείται για τον φωτισμό της Φ.Ε., υπολογίζοντας σε κάθε δωμάτιο 2 φωτιστικά (=150W).

$$150\text{W}/\text{δωμάτιο} \times 80 \text{ δωμάτια} = 1200\text{W} = \mathbf{12kW}$$

Για τους κοινόχρηστους χώρους εκτιμάται κατανάλωση περίπου **20kW** (υπολογίζοντας και εκτιμώντας με βάση τα τετραγωνικά). Για λοιπές κοινόχρηστες χρήσεις (πλυντήρια, στεγνωτήρια και λοιπά) εκτιμάται κατανάλωση **40 kW**. Οι παραπάνω εκτιμήσεις έγιναν σε συνεργασία με μηχανολόγο μηχανικό και με τους υπεύθυνους συντήρησης της ΦΕ, καθώς στο ίδρυμα μετράται η ολική κατανάλωση ρεύματος όλης της Πολυτεχνειούπολης.

Άρα η ολική κατανάλωση ρεύματος της ΦΕ προκύπτει

$$12\text{kW} + 40 \text{ kW} + 20\text{kW} = \mathbf{72 \text{ kW}}$$

### 6.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Από την μελέτη που διεξάχθηκε για την περίπτωση εφαρμογής συστήματος ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα στο ΠΚ, προέκυψε κατ' αρχήν ότι είναι εφικτή μια τέτοια εφαρμογή, καθώς η διαθέσιμη βιομάζα του Ν. Χανίων επαρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις της ΦΕ (βλ σειρές 1 και 13 του Πίνακα 6.8).

Το ενεργειακό ποσό που προκύπτει για την κάλυψη των αναγκών της ΦΕ είναι σχετικά μεγάλο για τις διαστάσεις της εστίας. Το παρόν σύστημα θέρμανσης έχει διαστασιολογηθεί ώστε να έχει δυνατότητα επιπλέον κάλυψης περίπου κατά 30% από τις πραγματικές απαιτήσεις της εστίας. Αυτό φαίνεται και από μια πρώτη σύγκριση με τη φετινή ενεργειακή κατανάλωση (σειρές 8 και 10).

**Πίνακας 6.8:** Ενεργειακά Δεδομένα Φοιτητικής Εστίας

1	ΔΘΕ Ν. Χανίων	23,2 MW
2	Ώρες λειτουργίας του λέβητα ΖΝΧ	1.200h/yr
3	Κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση ΖΝΧ	24.000l/yr
4	Κόστος πετρελαίου για θέρμανση ΖΝΧ	12.480 €/yr
5	Ώρες λειτουργίας του λέβητα ΚΘ	724h/yr
6	Κατανάλωση πετρελαίου για ΚΘ	21.720l/yr
7	Κόστος πετρελαίου για ΚΘ	11.295 €/yr
8	Θεωρητική συνολική κατανάλωση πετρελαίου	45.720l/yr
9	Κόστος συνολικής κατανάλωσης πετρελαίου	23.775 €/yr
10	Κατανάλωση πετρελαίου το 2006	35.000 l/yr
11	Κόστος πετρελαίου το 2006	18.200 €/yr
12	Μέγιστες Θερμικές απαιτήσεις	38.862 kcal/yr
13	Απαιτούμενη θερμική ενέργεια	495 kW
14	Ποσότητα πυρηνόξυλου	86t
15	Κόστος κατανάλωσης πυρηνόξυλου	4.300 €/yr

Η κατανάλωση πυρηνόξυλου για θέρμανση ΖΝΧ και ΚΘ της ΦΕ έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος από ότι η κατανάλωση πετρελαίου, με βάση τιμές του 2006

(σειρές 9 και 15) . Τη χρονιά αυτή η τιμή πώλησης του πετρελαίου αυξήθηκε στο διάστημα μεταξύ των δυο παραγγελιών και αναμένεται να αυξηθεί κι άλλο. Το γεγονός αυτό ενισχύει την ανάγκη απεξάρτησης από εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους και την ενίσχυση τοπικών ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών.

Με βάση την έρευνα που έγινε στο Κεφάλαιο 4 για τα συστήματα ΣΗΘ σε χώρες της Ε.Ε. και τις ενεργειακές απαιτήσεις της ΦΕ, όπως υπολογίστηκαν παραπάνω, προτείνεται η εφαρμογή τεχνολογίας Stirling στο ΠΚ.

Η μηχανή Stirling είναι μια πολλά υποσχόμενη καινοτόμος τεχνολογία. Στον κύλινδρο της μηχανής μεταφέρεται θερμότητα, γεγονός που μειώνει τα προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση βιομάζας ως καύσιμο. Η μηχανή είναι αθόρυβη, ενώ έχει χαμηλές εκπομπές ρυπαντών. Η τεχνολογία έχει εξελιχθεί αρκετά ώστε να είναι εμπορικά διαθέσιμη, ενώ δεν χρειάζεται επιπλέον θάλαμο εγκατάστασης. Στον Πίνακα 6.9 που ακολουθεί αναγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των καινοτόμων τεχνολογιών συμπαραγωγής.

**Πίνακας 6.9.** Σύγκριση καινοτόμων τεχνολογιών ΣΗΘ

<b>ORC</b>
Δεν υπάρχει μαζική παραγωγή
Το κόστος επένδυσης είναι σχετικά ακριβό
Δεν υπάρχει μεγάλη εμπειρία
<b>Stirling</b>
Μεταφορά θερμότητας στον κύλινδρο
Μειωμένα προβλήματα καύσης βιομάζας
Αθόρυβη μηχανή
Χαμηλές εκπομπές ρυπαντών
Εμπορικά διαθέσιμη
Δεν χρειάζεται επιπλέον θάλαμο εγκατάστασης
<b>Κυψέλες καυσίμου</b>
Πολύ καλές προοπτικές
Ακόμα βρίσκεται σε εξελικτικό στάδιο
Χρειάζονται περίπου 5 χρόνια ακόμα πριν μαζική παραγωγή



Καθώς πρόκειται για εφαρμογή σε ένα Πολυτεχνικό Ίδρυμα, έχει ενδιαφέρον η εφαρμογή καινοτόμου τεχνολογίας, ώστε να υπάρξει δυνατότητα αφενός εφαρμογής περεταίρω καινοτομιών (από σχεδιαστικής και τεχνολογικής πλευράς), όσο και για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων. Στο ΠΚ μπορεί να γίνονται δοκιμές και έλεγχοι ώστε η τεχνολογία να βελτιωθεί, ενώ ταυτόχρονα με τη χρήση βιομάζας ως καύσιμο αξιοποιούνται οι τοπικές ενεργειακές (ανανεώσιμες) πηγές, συμβάλλοντας στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στην ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Για την κάλυψη των ενεργειακών θερμικών αναγκών της ΦΕ υπολογίστηκε ότι απαιτούνται περίπου 500 kWth, που αντιστοιχούν σε 86 t βιομάζας (και συγκεκριμένα πυρηνόξυλου).

Από την έρευνα που έγινε και σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4, για τέτοιες θερμικές απαιτήσεις με χρήση καύσιμου βιομάζας, προτείνεται η εφαρμογή μηχανής Stirling. Από την μελέτη της τεχνολογίας, προκύπτει ότι το σύστημα έχει τη δυνατότητα παραγωγής γύρω στα **75 kW<sub>e</sub>**.

Η μονάδα θα είναι καινοτόμος εφαρμογή της τεχνολογίας για τα ελληνικά δεδομένα και μπορεί να ζητηθεί επιχορήγηση από κρατικούς και ευρωπαϊκούς χρηματοδοτικούς μηχανισμούς. Εμπειρία και εξειδίκευση στον τομέα αυτό, σύμφωνα με την έρευνα, έχει η αυστριακή τεχνική και αναπτυξιακή εταιρεία BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH. Προτείνεται συνεργασία με την εταιρεία αυτή, στα θέματα της μηχανής Stirling.

Για το θέμα κατασκευής του λέβητα, μπορεί να γίνει σχεδιασμός από το Εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων του ΠΚ, που ειδικεύεται σε θέματα καύσης βιομάζας, συντελώντας έτσι στην βελτιστοποίηση των συστημάτων καύσης και στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάζονται.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται από την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων των ανόργανων στοιχείων της τέφρα της βιομάζας περιλαμβάνουν επικαθίσεις (fouling), επισκωρώσεις (slagging) και διαβρώσεις των επιφανειών εναλλαγής θερμότητας και των τοιχωμάτων του αντιδραστήρα [13].

Ως επισκωρίώσεις περιγράφονται τα φαινόμενα κατά τα οποία οι εναποθέσεις είναι σε μορφή τήγματος ή υψηλού ιξώδους, και παρουσιάζονται στα θερμότερα μέρη του καυστήρα [14].

Ως επικαθίσεις περιγράφονται οι εναποθέσεις που δημιουργούνται από άκαυστα κομμάτια, τα οποία αρχικά εξαερώθηκαν και εναποτέθηκαν σταδιακά στα ψυχρότερα τμήματα του καυστήρα (μεταφοράς) [14] .

Από έρευνα που έγινε στο Εργαστήριο Εξευγενισμού και Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων [2] για την μελέτη της συμπεριφοράς πυρηνόξυλου κατά την καύση, προέκυψε ότι η τέφρα πυρηνόξυλου, (ύστερα από καύση του στους 800°C), παρουσιάζει καλή συμπεριφορά ως προς τον σχηματισμό επικαθίσεων, και επισκωρίσεων, η οποία βελτιώνεται με την εκχύλιση της πρώτης ύλης με νερό ή τη χρήση των πρόσθετων υλικών.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η θερμοκρασία του κλιβάνου, για να έχει το σύστημα ικανοποιητική απόδοση, πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη (1.000-1.300 °C), οπότε πρέπει να γίνει ειδική μελέτη και έρευνα ώστε ο καυστήρας να έχει τον κατάλληλο σχεδιασμό και να αποφευχθούν τα προαναφερθέντα προβλήματα.

Γίνεται καύση της βιομάζας σε κατάλληλο λέβητα και τα θερμά καυσαέρια οδηγούνται στον θερμαντήρα. Εκεί μεταδίδεται η θερμότητα στο εργαζόμενο αέριο της μηχανής Stirling, το οποίο διαστέλλεται και εκτονώνεται στον κύλινδρο (βλ Σχήμα 6.1), αναγκάζοντας το έμβολο να κινηθεί. Ως εργαζόμενο αέριο χρησιμοποιείται το Ήλιο σε πίεση 4.5 MPa, όπως παρουσιάζεται και σε παρόμοιες εφαρμογές. Το Ήλιο κατά την εκτόνωσή του μετατρέπει μέρος της εισερχόμενης θερμότητας σε έργο και η μη ανακτώμενη θερμότητα μεταφέρεται στον ψύκτη. Το εργαζόμενο μέσο έχει κρυώσει και είναι έτοιμο να ξεκινήσει καινούργιο θερμοδυναμικό κύκλο.

Από τον ψύκτη γίνεται ανάκτηση θερμότητας μέσω του εναλλάκτη. Η θερμοκρασία ψύξης είναι σημαντική για την ικανοποιητική απόδοση του συστήματος: αν το Ήλιο δεν ψυχρανθεί αρκετά ώστε να αρχίσει τον

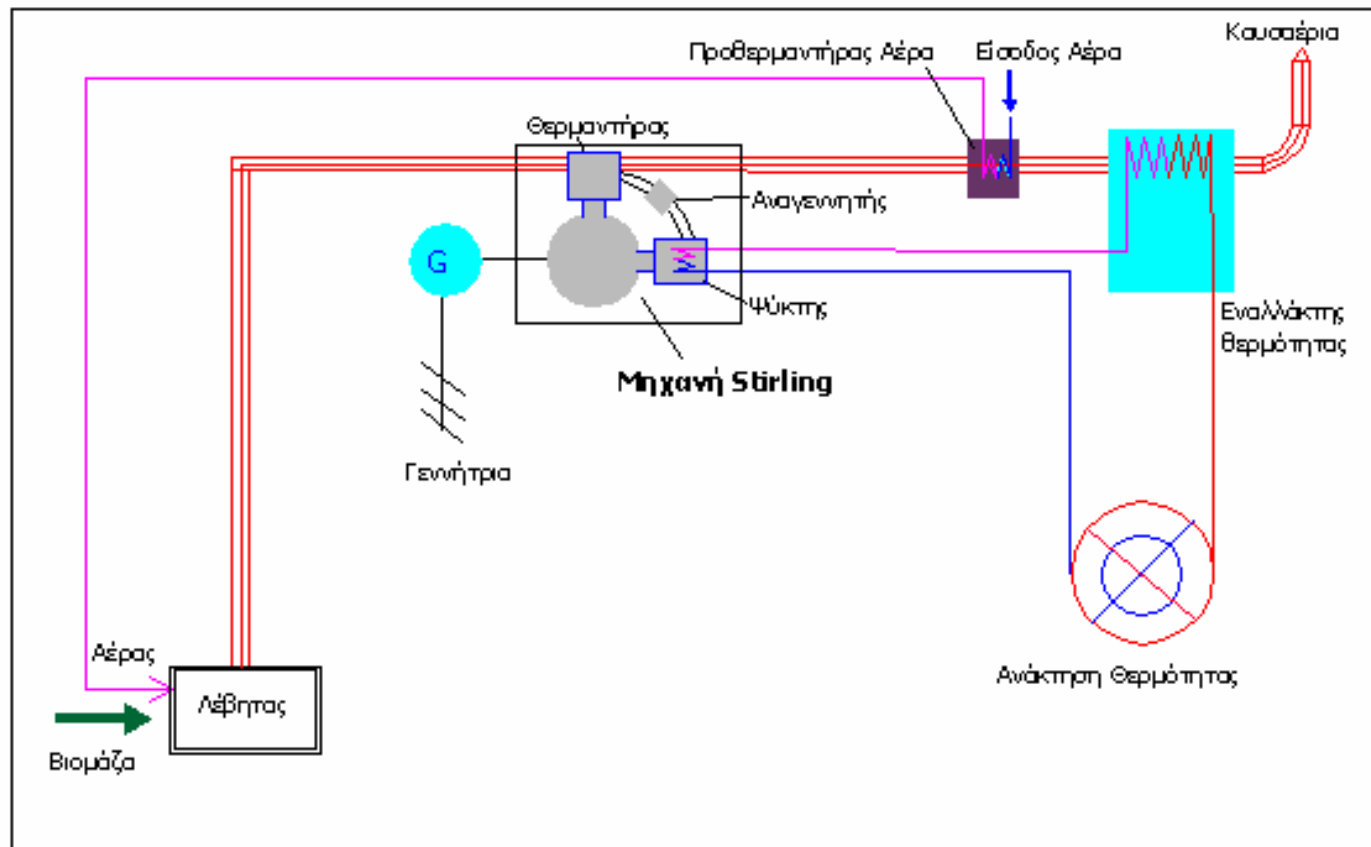
θερμοδυναμικό κύκλο με την ίδια αρχική θερμοκρασία, η απόδοση μετατροπής θερμότητας και η εξερχόμενη ενέργεια μειώνονται. Έτσι απαιτείται περισσότερη εισαγωγή θερμότητας για την παραγωγή ενέργειας.

Ο προθερμαντήρας αέρα τοποθετείται πάνω από το σύστημα, ώστε να γίνει εξοικονόμηση χώρου και καλύτερη λειτουργία του συστήματος. Για την απομάκρυνση των σωματιδίων της υπάμενης τέφρας προτείνεται ο σχεδιασμός αυτοματοποιημένου συστήματος καθαρισμού.

Με βάση τη μελέτη παρόμοιων εφαρμογών μηχανής Stirling, η μονάδα αναμένεται να έχει ηλεκτρική απόδοση περίπου 12% και ολική απόδοση περίπου 87%.

Στο Σχήμα 6.1 που ακολουθεί φαίνεται ένα ενδεικτικό σχεδιάγραμμα της μονάδας. Γίνεται καύση του πυρηνόξυλου στον λέβητα, και στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται στη μηχανή Stirling. Η γεννήτρια μετατρέπει το μηχανικό έργο του εμβάλου της μηχανής σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο ψύκτης που χρησιμεύει για την ψύξη του εργαζόμενου μέσου, το οποίο προκειμένου να ψυχθεί μεταφέρει τη θερμότητα σε νερό, το οποίο ζεσταίνεται. Εκεί έχουμε παραγωγή των 200kWth της θερμικής ενέργειας του συστήματος.

Τα καυσαέρια στη συνέχεια περνάνε μέσα από τον εναλλάκτη αέρα – αέρα όπου γίνεται εναλλαγή θερμότητας: μέρος της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων μεταφέρεται σε κρύο αέρα, τον προθερμαίνει και οδηγείται θερμός στο λέβητα καύσης. Στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται σε εναλλάκτη θερμότητας αέρα – νερού όπου λαμβάνεται η υπόλοιπη θερμική ενέργεια. Τα καυσαέρια απορρίπτονται σε χαμηλή θερμοκρασία.



**Σχήμα 6.1:** Σχεδιάγραμμα μονάδας ΣΗΘ με μηχανή Stirling

Στον Πίνακα 6.10 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανής Stirling 75 kW<sub>e</sub>, που είναι κατάλληλη για την παρούσα εφαρμογή.

**Πίνακας 6.10:** Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανής Stirling 75 kW<sub>e</sub> [4]

Ηλεκτρική ενέργεια	kW	75
Διάμετρος κυλίνδρου	mm	142
Πτερύγια	mm	76
Αριθμός κυλίνδρων		8
Ταχύτητα	rpm	1.000
Πίεση	MPa	4,5
Εργαζόμενο αέριο		Ήλιο

Τα προβλήματα που παρουσιάζονται στη χρήση βιομάζας ως καύσιμο, στη συγκεκριμένη εφαρμογή, αφορούν στη μεταφορά θερμότητας από τη καύση της πρώτης ύλης στο εργαζόμενο μέσο. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, ώστε να διασφαλίζεται η ικανοποιητική εισροή ενέργειας, ενώ ο σχεδιασμός του εναλλάκτη πρέπει να γίνει, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα επικαθίσεων.

Το σύστημα ΣΗΘ για να είναι οικονομικά βιώσιμο και να μειώνεται το κόστος λειτουργίας πρέπει να είναι πλήρως αυτοματοποιημένο. Η έναρξη και το κλείσιμο της μονάδας γίνεται αυτόματα (εκτός από την διαδικασία θέρμανσης). Αν παρουσιαστεί μηχανική βλάβη, το σύστημα καύσης κλείνει άμεσα χωρίς να απαιτείται παρέμβαση του χειριστή.

Στον Πίνακα 6.11 παρουσιάζονται τα αναμενόμενα χαρακτηριστικά του συστήματος ΣΗΘ και της μονάδας συνολικά.

Οι αναγραφόμενες τιμές προκύπτουν τόσο από τους υπολογισμούς που έγιναν κατά την διάρκεια της εργασίας και αφορούν αποκλειστικά τη ΦΕ, όσο και από τη έρευνα της τεχνολογίας Stirling για παρόμοιου μεγέθους εφαρμογές. Στην περίπτωση εύρεσης της κατάλληλης χρηματοδότησης, και απόφασης υλοποίησης της πρότασης, οι τιμές αυτές ενδεχομένως να αλλάξουν, μετά από συνεργασία και περαιτέρω μελέτη με τον κατασκευαστή.

**Πίνακας 6.11:** Χαρακτηριστικά μονάδας ΣΗΘ με μηχανή Stirling

		Στόχος
Θερμοκρασία θαλάμου καύσης	°C	1.300
Εξερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια	kW	75
Εξερχόμενη θερμική ενέργεια – μηχανή Stirling	kW	200
Εξερχόμενη θερμική ενέργεια – μονάδα ΣΗΘ	kW	500
Εισερχόμενη ενέργεια καυσίμου	kW	875
Κατανάλωση καυσίμου (ε.ξ.)	kg/h	145 <sup>7</sup>
Ηλεκτρική απόδοση – μηχανή Stirling	%	25.0
Συνολική ηλεκτρική απόδοση – Μονάδα ΣΗΘ	%	12.0
Συνολική απόδοση μονάδας ΣΗΘ	%	87

<sup>7</sup> Τα 760kW αντιστοιχούν σε 652.820 kcal/h. Από τη ΚΘΔ του πυρηνόξυλου προκύπτει ότι για αυτό το ποσό ενέργειας χρειάζεται τροφοδοσία 652.820 kcal/h : 4.512kcal/kg = 145kg/h

#### 6.4. ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

Στην Ελλάδα, το κόστος επένδυσης σε μονάδες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζας εκτιμάται σε 1.300-1.600 €/kWe [12]. Το κόστος αυτό εξαρτάται και από την επιλεγείσα τεχνολογία.

Οπότε, για την συγκεκριμένη εφαρμογή, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική εκτιμάται σε 75 kWe , μια κατά προσέγγιση τιμή είναι 112.500 €. Για πιο αναλυτική τιμή κόστους θα πρέπει να γίνει συγκεκριμένη μελέτη μηχανολογικού και τεχνολογικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων ώστε να γίνει ακριβής κοστολόγηση.

Για να γίνει εγκατάσταση ενός συστήματος συμπαραγωγής είναι απαραίτητη η χρηματοδότηση από εθνικό ή ευρωπαϊκό φορέα. Αναλυτικά οι χρηματοδοτήσεις και το θεσμικό πλαίσιο για τις εγκαταστάσεις ΣΗΘ παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4. Ανάλογα με την περίοδο εγκατάστασης του έργου, γίνεται έρευνα για τις τρέχοντες χρηματοδοτήσεις από τους κατά περίπτωση φορείς.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 3<sup>ο</sup> ΚΠΣ του Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα (2000-2006), στην περίπτωση εγκατάστασης ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζας, το ανώτατο επιλέξιμο όριο είναι 2.000 €/ εγκατεστημένο kW, αν η βιομάζα είναι αγροτικά υπολείμματα (βλ Κεφάλαιο 4). Στη φάση αυτή, οι επιλέξιμες δαπάνες κάλυπταν τον κύριο εξοπλισμό, τον προσδιορισμό του προς εκμετάλλευση ενεργειακού δυναμικού, την αμοιβή συμβούλων, επεμβάσεις σε οικόπεδα, κτίρια και έργα υποδομής, εκπαίδευση στη λειτουργία του εξοπλισμού και λογισμικού, μίσθωση βοηθητικού εξοπλισμού και μετρικών οργάνων και δίκτυα μεταφοράς.

## 6.5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Από μελέτη που έγινε στα πλαίσια μεταπτυχιακής εργασίας του Πολυτεχνείου Κρήτης [9], προέκυψε μοντέλο που υπολογίζει τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συγκρίνοντας τη χρήση πετρελαίου και βιομάζας ως καύσιμο. Στον Πίνακα 6.12 που ακολουθεί φαίνονται οι διαφορετικοί συντελεστές ανάλογα με τον τύπο καυσίμου.

Από την έρευνα και μελέτη που έγινε, προέκυψε ότι η αντικατάσταση συστήματος θέρμανσης πετρελαίου με σύστημα βιομάζας (με απόδοση καυσίμου 80%), έχει ως αποτέλεσμα ετήσια μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά **7,1 t CO<sub>2</sub>**.

**Πίνακας 6.12:** Προκαθορισμένες τιμές των συντελεστών εκπομπών για διάφορους τύπους καυσίμων [9]

ΤΥΠΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ 100%	ΒΙΟΜΑΖΑ
Συντελεστής εκπομπής CO <sub>2</sub> (kg/GJ)	74,1	0
Συντελεστής εκπομπής CH <sub>4</sub> (kg/GJ)	0,0020	0,0320
Συντελεστής εκπομπής N <sub>2</sub> O (kg/GJ)	0,0020	0,0040
Απόδοση μετατροπής καυσίμου	30%	80%
Συντελεστής εκπομπής GHG	0,384 tCO <sub>2</sub> /MWh	0,009 tCO <sub>2</sub> /MWh
Ετήσια εκπομπή GHG	7.296 tCO <sub>2</sub>	0,196 tCO <sub>2</sub>

Στην προκειμένη περίπτωση, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβώς το ποσοστό μείωσης, καθώς θα πρέπει να γίνει η εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας, και να ληφθούν οι ανάλογες μετρήσεις. Το σημείο αυτό θα έχει ενδιαφέρον για μετέπειτα έρευνα. Από τα αποτελέσματα όμως του μοντέλου, καθώς και από άλλες μετρήσεις που έχουν γίνει σε παρόμοιες εφαρμογές, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η



εγκατάσταση και λειτουργία της μονάδας ΣΗΘ στην Φοιτητική εστία θα έχει σημαντική μείωση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφονται αναλυτικά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση βιομάζας ως καύσιμο, από το στάδιο παραγωγής της ως την τελική καύση. Ανάλογες αναμένονται οι επιπτώσεις από την αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας των Χανίων για την κάλυψη των αναγκών σε θέρμανση της εστίας του ιδρύματος, ενώ αναμένεται σημαντική μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από την συμπαραγωγή στο συγκεκριμένο σύστημα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6<sup>ου</sup>

- [1] Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας, [www.esye.gr](http://www.esye.gr)
- [2] Ζωγράφος Δ. 2005, «Μείωση των επικαθίσεων, επισκωριάσεων και συσσωματώσεων κατά τη καύση αγροτικών υπολειμμάτων σε ρευστοποιημένη κλίνη», Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
- [3] Lyrintzis, G. (1995), “The use of wood for energy”, *PACTE (Programme d’ Action des Collectivites Territoriales) Wood – Energy Project meeting in Chania*, 8-10 November, 10 p
- [4] Koroneos, C., Boura A, Mousiopoulos N, Zambaniotou A and N. Fillipopoulos (2000). “*Technical, environmental, economical and energy analysis of alternative methods for the exploitation of agricultural wastes in Greece.*”, 1<sup>st</sup> World Conference on biomass for Energy and Industry, pp. 339-341
- [5] Χρήστου Μ., (2005): «Δυνατότητες του αγροτικού τομέα και των ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα», ΚΑΠΕ, Πρακτικά Ημερίδας ΑΠΕ, 18.04.2005, Χανιά
- [6] OPET Network and LDK, 2004:”*State of SSCHP Policy and Sector Situation in Greece*”, OPET CHP/DH CLUSTER, Workpackage 2: Micro and Small Scale CHP, European Commission (Directorate – General for Enargy and Transport)
- [7] D. Vamvuka\*, D. Zografos, G. Alevizos, «*Control Methods for Mitigating Biomass Ash-related Problems in Fluidized Beds*» In press
- [8] Σδρόλιας Θ., 1999, «Μελέτη για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας της Κρήτης» Διπλωματική Εργασία, Τμ. Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [9] Κουλουμπής Β, 2004, «Οικονομική και περιβαλλοντική αξιοποίηση των βιοκαυσίμων – Θέρμανση με βιομάζα» Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης, Τμ Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [10] European Comission D.G. for Transport& Energy, (2001) “*RENEWABLE ENERGY SOURCES STATISTICS IN THE EUROPEAN UNION 1989-1998 Part I & II*” EUROSTAT
- [11] EUBIONET 2003: “*Biomass survey in Europe: Country report of Greece*” European Bioenergy Network, Greece.
- [12] Ψωμάς Σ., 2003: «*Ενέργεια, Περιβάλλον και Επιχειρηματικότητα. Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο*», Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης.
- [13] Arvelakis, S., C. Sotiriou, A. Moutsatsou and E. G. Koukios 1999. “*Prediction of the behaviour of biomass ash in fluidized bed combustors and gasifiers*”, Journal of thermal analysis and calorimetry, pp. 1271-1278.

[14] Seggiani, M. 1999. "*Empirical correlations of the ash fusion temperatures and temperature of critical viscosity for coal and biomass ashes*", Fuel, pp. 1121-1125, July.

[15] Baxter, L. L., T. R. Miles, T. R. Miles Jr., B. M. Jenkins, T. Milne, D. Dayton, R. W. Bryers and L. L. Oden 1998. "*The behavior of inorganic material in biomass – fired power boilers: field and laboratory experiences*", Fuel Processing Technology, pp. 47-78, March.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:**  
*Συμπεράσματα*

Στην εργασία μελετήθηκαν τα συστήματα ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζα, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των καινοτόμων των τεχνολογιών ΣΗΘ, έρευνες σε σχέση με την κατάσταση της ΣΗΘ στην ΕΕ, μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από εφαρμογή τέτοιων συστημάτων και διερεύνηση του νομοθετικού και οικονομικού πλαισίου που σχετίζεται με τη δραστηριότητα, καθώς πρόκειται για σχετικά καινοτόμο κλάδο, όπου τα θεσμικά δεδομένα είναι ρευστά και μεταβαλλόμενα.

Από την διεξοδική μελέτη των παραπάνω προέκυψαν τα εξής **συμπεράσματα**:

- η *ενεργειακή κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα υστερεί* σε σχέση με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, και σε σχέση με τις δεσμεύσεις της χώρας ως προς το πρωτόκολλο του Κιότο. Αν και η ενεργειακή πολιτική έχει παρουσιάσει αλλαγές τα τελευταία χρόνια, δεν έχει γίνει ουσιαστική μετατροπή της κατάστασης. Αυτό δικαιολογεί την αναγκαιότητα μελετών και έργων σχετικών με ΑΠΕ και την ύπαρξη αυτής της εργασίας.

- Οι λόγοι που καθιστούν δύσκολη την αλλαγή είναι κυρίως *οικονομικοί*. Η στροφή της ενεργειακής κατάστασης απαιτεί σημαντικές αλλαγές (πχ τεχνολογικές και κατασκευαστικές) και επενδύσεις, ενώ χρειάζονται κίνητρα ως προς την τελική πώληση και αγορά ενέργειας από ΑΠΕ. Οικονομικά κίνητρα σχετίζονται συνήθως με την φορολογία και με προνομιακές τιμές αγοράς του παραγόμενου ηλεκτρισμού.

- *Η ΣΗΘ είναι μια πολύ καλή επιλογή σε θέματα παραγωγής ενέργειας*, γιατί γίνεται καλύτερη αξιοποίηση της ενεργειακής πηγής, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικά μεγαλύτερες αποδόσεις από τη επιμέρους παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Από την έρευνα σε χώρες της ΕΕ όμως πρόκυψε ότι η εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ, κυρίως σε μεγάλη κλίμακα, ευνοείται σε περιοχές που υπάρχει δίκτυο τηλεθέρμανσης.

- Για την εφαρμογή συστημάτων ΣΗΘ σε μεγάλη κλίμακα (πχ μεγάλες πόλεις) προτιμώνται και προτείνονται οι *παραδοσιακές τεχνολογίες*, γιατί έτσι ελαχιστοποιείται το ενδεχόμενο παρουσίασης ανώμαλων καταστάσεων και η άγνοια αντιμετώπισης προβλημάτων.

- Οι *καινοτόμες τεχνολογίες*, από την άλλη, έχουν συνήθως καλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και σχετικά καλύτερες αποδόσεις. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η προοπτική τυποποίησής τους για την εμπορική τους ανταγωνιστικότητα και κατ' επέκταση τη διείσδυσή τους στην ενεργειακή αγορά.

- Η *αξιοποίηση βιομάζας* για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα έχει σημαντικές δυνατότητες, στην Κρήτη ακόμα περισσότερες. Η Κρήτη γενικά θεωρείται από τις πιο ευνοημένες ενεργειακά περιοχές της Ελλάδας, όσον αφορά τον τομέα των ΑΠΕ. Έχουν γίνει σε γενικές γραμμές σημαντικά έργα, βασικά όσον αφορά την εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας κυρίως από ιδιωτικές πρωτοβουλίες (κατοικίες, ξενοδοχεία κλπ). Η αξιοποίηση βιομάζας για ΣΗΘ είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα προοπτική για πολλούς λόγους: α) η Κρήτη διαθέτει σημαντικές ποσότητες αγροτικών και γεωργικών υπολειμμάτων. Οι διαθέσιμες πηγές βιομάζας γενικά είναι σημαντικές. β) λόγω του κλίματος της, οι ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση είναι χαμηλές, γεγονός που διασφαλίζει την μακρόχρονη βιωσιμότητα ενεργειακών συστημάτων και αποθεμάτων βιομάζας γ) υπάρχει πρόσφορο έδαφος για πρωτοπόρες και καινοτόμες εφαρμογές και για γενικότερη αυτονομία.

- Το ερώτημα που διερευνήθηκε στην εργασία αυτή είναι κατά πόσο είναι εφικτή η εφαρμογή συστήματος ΣΗΘ στην φοιτητική εστία του Πολυτεχνείου Κρήτης (ΠΚ) και αν υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την εφαρμογή τέτοιου συστήματος με καύση βιομάζας. Από τη μελέτη καθ' όλη την εργασία, προτείνεται η εφαρμογή καινοτόμου συστήματος ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζας (πυρηνόξυλο) στην ΦΕ του ΠΚ. Η τεχνολογία που προτείνεται είναι μηχανή Stirling 500kWth και 75kWe. Η επιλογή της τεχνολογίας Stirling έγινε για τους εξής λόγους: είναι καινοτόμος τεχνολογία, με πολύ καλές εφαρμογές και προοπτικές τα τελευταία χρόνια. Η εφαρμογή της σε Πολυτεχνικό Ίδρυμα συντελεί στην τεχνολογική εξέλιξη της μηχανής, καθώς υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής καινοτομιών και συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας της μονάδας, από επιστήμονες και νέους ερευνητές. Το ΠΚ οπότε, αφενός συμβάλει στην αξιοποίηση των τοπικών ΑΠΕ, αφετέρου εκτελεί σημαντικό ερευνητικό έργο σε ένα καίριο τεχνολογικό τομέα. Η τεχνολογία Stirling έχει αποδείξει ότι έχει τις καλύτερες επιδόσεις σε τέτοιου μεγέθους μονάδες, σε σχέση με τις άλλες καινοτόμες τεχνολογίες (βλ Κεφ 4,6). Επιπλέον, έχει εφαρμοστεί παρόμοια μονάδα σε Πολυτεχνικό Ίδρυμα στη Δανία (βλ Κεφ 4), οπότε η συγκεκριμένη εφαρμογή στο ΠΚ είναι η εξέλιξη της. Το γεγονός αυτό διευκολύνει τον σχεδιασμό του συστήματος στη ΦΕ, ενώ μπορεί να συντελέσει σημαντικά στην περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας. Έχει γίνει η προεργασία και έχει αποδειχθεί ότι το σύστημα είναι αποδοτικό, ενώ τίθεται στο ΠΚ η πρόκληση βελτιστοποίησης και εξέλιξης.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του συστήματος είναι η επιδότηση ή χρηματική ενίσχυση από εθνικό ή ευρωπαϊκό οικονομικό πρόγραμμα.

- Για την περαιτέρω, πιο αναλυτική και τεκμηριωμένη προσέγγιση και θεώρηση απαιτείται η συνεργασία με μηχανολόγο και με εξειδικευμένη κατασκευαστική εταιρεία. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι καινοτόμος και πρωτοποριακή, οπότε θα λειτουργήσει υπό μορφή δοκιμαστικού και πειραματικού έργου.

## **ΕΝ ΚΑΤΑΚΛΕΙΔΙ: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ**

Προτείνεται η εφαρμογή συστήματος ΣΗΘ στην εστία με καύσιμο βιομάζα. Στην περίπτωση αυτή θα χρειαστεί μια πιο συγκεκριμένη τεχνολογική οικονομική και μηχανολογική μελέτη, που γίνεται σε συνεργασία με μηχανολόγο μηχανικό, με ειδίκευση σε θέματα συστημάτων ΣΗΘ.

Προτείνεται να γίνει σχεδιασμός καινοτόμου μονάδας με μηχανή Stirling, με συνεχή παρακολούθηση της, καθώς βρίσκεται σε πανεπιστημιακό και κατ' επέκταση ερευνητικό χώρο, οπότε θεωρείται ότι θα υπάρχει τουλάχιστον διαθέσιμο ερευνητικό προσωπικό αλλά και ο απαραίτητος εξοπλισμός για μετρήσεις. Επιπλέον, μπορεί να γίνει βελτίωση της καινοτόμου τεχνολογίας Stirling και του συστήματος συμπαραγωγής με καύσιμο πυρηνόξυλο.

Σαν περαιτέρω ερευνητικός στόχος μπορεί επίσης να μελετηθεί η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών στις διαθέσιμες εκτάσεις του ΠΚ ώστε, αφενός να ερευνούνται απευθείας τα ενεργειακά είδη, αφετέρου να επιτευχθεί η μέγιστη ενεργειακή αυτονομία του ιδρύματος.

Η εφαρμογή αναμένεται να είναι μια σημαντική συνεισφορά στα ευρωπαϊκά δεδομένα σε θέματα ΣΗΘ με καύσιμο βιομάζας, ενώ ταυτόχρονα η εφαρμογή της συνεισφέρει στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο ως προς την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Το αποτέλεσμα είναι μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και κατ επέκταση η τήρηση των δεσμεύσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Επιπλέον, η εφαρμογή συντελεί στην απεξάρτηση από το πετρέλαιο, στην αξιοποίηση των τοπικών ενεργειακών πόρων, στην βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, στην ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας. Πρόκειται για μια πρωτοπορία στον Ελληνικό ενεργειακό χώρο που συνεισφέρει και στην εξέλιξη των ευρωπαϊκών ενεργειακών πεπραγμένων.