

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



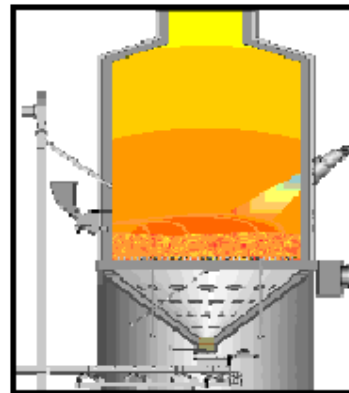
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Της σπουδάστριας:
Κυρίτση Αφροδίτης



ΘΕΜΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ



Εισηγητής
ΚΩΝ. ΠΙΚΙΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ 2002

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΒΙΟΜΑΖΑ

1.1	Βιομάζα.....	14
1.2	Βιοκαύσιμα	15
1.3	Σύνθεση βιομάζας	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΡΑ

2.1	Από το ξύλο στο κάρβουνο.....	18
2.2	Παρούσα συνεισφορά της βιομάζας	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ

3.1	Τι είναι τα καύσιμα	21
3.2	Η βιομάζα σαν αποθήκη ηλιακής ενέργειας.....	23
3.3	Αποδοτικότητες μετατροπής.....	24
3.4	Εκτιμώντας τους πόρους	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1	Με ποιους τρόπους γίνεται η εξαγωγή ενέργειας.....	29
4.2	Άμεση καύση	30
4.3	Αεριοποίηση	32

4.4	Πυρόλυση.....	34
4.5	Συνθέτοντας καύσιμα.....	35
4.6	Αναερόβια χώνευση.....	35
4.7	Βιοαέριο.....	36
4.8	Αέριο επιχωματωμένων απορριμμάτων	38
4.9	Ζύμωση	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΓΡΟΤΙΚΑ - ΔΑΣΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ

5.1	Αγροτικά υπόλοιπα.....	42
5.2	Δασικά υπόλοιπα.....	42
5.3	Προσωρινά υπόλοιπα καλλιεργειών	44
5.4	Ζωικά απόβλητα	46
5.5	Κατάλοιπα τροπικών καλλιεργειών	48
5.6	Κινητήρες τουρμπίνας αερίων	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΟΔΕΙΕΣ

6.1	Γενικά	53
6.2	Σοδειές ξύλου	54
6.3	Αιθανόλη από ζαχαροκάλαμο.....	56
6.4	Καλαμπόκι, ζαχαρόχορτο, μίσχανθος.....	57
6.5	Φυτικά έλαια	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ

7.1	Δημοτικά στερεά απόβλητα	61
7.2	Καύση Δημοτικών Στερεών Αποβλήτων	62
7.3	Καύσιμο προερχόμενο από απορρίμματα (RDF)	64
7.4	Αξιοποιήσεις του αερίου χώρων υγειονομικής ταφής	64
7.5	Αναερόβιοι χωνευτήρες για δημοτικά στερεά απόβλητα (MSW) ..	65
7.6	Εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ

Α.Π.Ε. ΤΟΥ 1988

8.1	..Απευθείας μικροβιακή μετατροπή προκατεργασμένου άχυρου σε αιθανόλη.....	69
8.1.1	Θεωρητικό μέρος.....	69
8.1.2	Πειραματικό μέρος.....	70
8.1.3	Αποτελέσματα	71
8.1.4	Συμπεράσματα	76
8.2	Ενεργειακή αξιοποίηση αποβλήτων χοιροστασίου στη Νάξο	78
8.2.1	Εισαγωγή.....	78
8.2.2	Περιγραφή του συστήματος.....	78
8.2.3	Αποτελέσματα	80
8.2.4	Συμπεράσματα	85
8.3	Παραγωγή βιομάζας από φυτείες ταχουαξών δασοπονικών ειδών..	86
8.3.1	Εισαγωγή.....	86
8.3.2	Είδη φυτειών και μέθοδοι.....	86
8.3.3	Αποτελέσματα πειραματικών φυτειών	88
8.3.4	Συμπεράσματα	92
8.4	Θερμοχημική συμπύκνωση της βιομάζας - Διερεύνηση του μηχανισμού για ανάπτυξη παραγωγικής διαδικασίας	93
8.4.1	Εισαγωγή.....	93
8.4.2	Θερμοχημική συμπύκνωση	93
8.4.3	Πειραματικό Μέρος.....	94
8.4.4	Αποτελέσματα	94
8.5	Διαχείριση ενεργειακών πόρων στην Απείρανθο Νάξου - Η περίπτωση της βιομάζας.....	98
8.5.1	Εισαγωγή.....	98
8.5.2	Αποτύπωση της ενεργειακής κατάστασης.....	98
8.5.3	Κατανομή της χρήσης της βιομάζας και το δυναμικό της.....	101

8.5.4	Δυνατότητες αξιοποίησης - Προβλήματα προς επίλυση	103
8.5.5	Ενεργειακός σχεδιασμός	105
8.6	Συμβολή στην μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγωγή βιομάζας σε ένα βελτιστοποιημένο σύστημα "HRAP" ...	107
8.6.1	Εισαγωγή.....	107
8.6.2	Αποτελέσματα	108
8.6.3	Συμπεράσματα	110
8.7 Κριτήρια εφαρμογής της αναερόβιας χώνευσης σαν μέθοδο παραγωγής ενέργειας -Το παράδειγμα των οιοπνευματοποιείων	111
8.7.1	Θεωρητικό μέρος.....	111
8.7.2	Περιγραφή της μεθόδου.....	112
8.7.3	Πλεονεκτήματα της μεθόδου.....	113
8.7.4	Παράμετροι που επιδρούν στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας της αναερόβιας χώνευσης.....	114
8.7.5	Εφαρμογή της μεθόδου στα απόβλητα των οιοπνευματοποιείων..	115
8.7.6	Συμπεράσματα	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

9.1	Γενικά	119
9.2	Συστήματα θέρμανσης τροφοδοτούμενα με καυσόξυλα	121
9.3	Συστήματα θέρμανσης με θρυμματισμένο ξύλο.....	122
9.4	Συστήματα θέρμανσης με σύμπηκτα ξύλου	124
9.5	Σύγχρονες κεραμικές θερμάστρες	125
9.6	Γιατί η θέρμανση με βιομάζα (ξύλο) είναι προτιμότερη	126
9.7	Οικονομική μελέτη θέρμανσης με βιομάζα στο Καρπενήσι.....	128
9.7.1	Εισαγωγή.....	128
9.7.2	Οικονομική μελέτη	128
9.7.3	Συμπεράσματα	132

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ - ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

10.1	Γενικά	134
10.2	Τηλεθέρμανση / Τηλεψύξη.....	134
10.3	Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.....	136
10.4	Πλεονεκτήματα συμπαραγωγής από δασική βιομάζα.....	139
10.5	Βιωσιμότητα επενδύσεων παραγωγής ενέργειας από δασική βιομάζα.....	140
10.6	Πιλοτικές εφαρμογές της τηλεθέρμανσης στην Ελλάδα	142

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

11.1	Τεχνολογία ρευστοποιημένης κλίνης	144
11.2	Αρχή αεριοποίησης.....	146
11.3	Εφαρμογή.....	150

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

12.1	Βιοαέριο από το θύννο του φραγκόσυκου	155
12.1.1	Εισαγωγή.....	155
12.1.2	Περίληψη	156
12.2	Εναλλακτικά καύσιμα από καλαμπόκι.....	158
12.3	Παραγωγή καθαρού υδρογόνου (H ₂) από φύκη ως καύσιμη ύλη..	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

Η ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

13.1	Εκτιμήσεις για τις αγροτικές πηγές βιομάζας	161
13.2	Αστικά υπόλοιπα ξύλου	162
13.3	Αρχικά υπόλοιπα μηχανικής κατεργασίας	162
13.4	Δασικά υπόλοιπα.....	163
13.5	Αγροτικά υπόλοιπα.....	163
13.6	Ενεργειακές σοδειές	164

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

14.1	Διοξείδιο του άνθρακα	166
14.2	Άλλα προϊόντα καύσης	167
14.3	Μεθάνιο	168
14.4	Χρήση του εδάφους	168
14.5	Ενεργειακά ισοζύγια	169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΔΑΣΙΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΛΗΨΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ

15.1	Διάκριση συστημάτων παραγωγής δασικής βιομάζας	172
15.2	Διαταραχές και βιομάζα	173
15.3	Συμπεράσματα	180

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

16.1	Εισαγωγικές έννοιες.....	182
16.2	Οικονομική διαχείριση της ενέργειας.....	185
16.3.1	Χρηματοπιστωτικοί μηχανισμοί για χρηματοδοτήσεις επενδύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	192
16.3.2	Χρηματοδότηση από τρίτους (Third Party Financing).....	194
16.3.3	Συνολικές επιχορηγήσεις (Global Grants) - Κοινοτικό πλαίσιο στήριξης - κοινοτικές πρωτοβουλίες	196
16.3.4	Επιδότηση επιτοκίου (Soft Loans)	197
16.3.5	Χρηματοδοτική μίσθωση (Leasing).....	197
16.3.6	BOT (Built, Operate, Transfer).....	198
16.4	Αναπτυξιακές (προγραμματικές) συμφωνίες	199
16.5	Συμπεράσματα	199

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17

Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

17.1	Ελληνική δασική βιομάζα.....	200
17.2	Προσέγγιση ποσοτήτων δασικής βιομάζας.....	202
17.3	Χρήση δασικής βιομάζας στο Νομό Ευρυτανίας.....	204
17.4	Τεχνητές φυτείες.....	206
17.5	Δασοπονικά είδη στην Ελλάδα.....	207
17.6	Συμπεράσματα.....	217

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 18

ΕΡΓΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ.....	219
--	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄.....	222
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄.....	228
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄.....	230
--------------------------	------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	233
--------------------------	------------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Σελίδα

Πίνακας 3.1	23
Πίνακας 3.2	28
Πίνακας 4.1	41
Πίνακας 6.1	53
Πίνακας 8.1-1	71
Πίνακας 8.1-2	72
Πίνακας 8.2-2	80
Πίνακας 8.2-2	81
Πίνακας 8.4-1	96
Πίνακας 8.4-2	97
Πίνακας 8.5-1	99
Πίνακας 8.5-2	101
Πίνακας 8.5-3	103
Πίνακας 8.6-1	108
Πίνακας 8.6-2	109
Πίνακας 8.7-1	112
Πίνακας 8.7-2	118
Πίνακας 9.1	133
Πίνακας 9.2	131
Πίνακας 11.1	153
Πίνακας 12.1	157
Πίνακας 17.1	203

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

	<u>Σελίδα</u>
Εικόνα 4.1	37
Εικόνα 4.2	39
Εικόνα 5.1	47
Εικόνα 6.1	58
Εικόνα 6.2	59
Εικόνα 6.3	59
Εικόνα 9.1	121
Εικόνα 9.2	123
Εικόνα 9.3	124
Εικόνα 9.4	126
Εικόνα 11.1	145

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σελίδα

Διάγραμμα 1.1.....	16
Διάγραμμα 2.1.....	20
Διάγραμμα 3.1.....	26
Διάγραμμα 4.1.....	33
Διάγραμμα 4.2.....	39
Διάγραμμα 5.1.....	45
Διάγραμμα 5.2.....	45
Διάγραμμα 5.3.....	50
Διάγραμμα 5.4.....	52
Διάγραμμα 5.5.....	52
Διάγραμμα 5.6.....	52
Διάγραμμα 6.1.....	55
Διάγραμμα 7.1.....	62
Διάγραμμα 7.2.....	63
Διάγραμμα 7.3.....	66
Διάγραμμα 7.4.....	68
Διάγραμμα 8.1-1.....	72
Διάγραμμα 8.1-2.....	73
Διάγραμμα 8.1-3.....	74
Διάγραμμα 8.1-4.....	75
Διάγραμμα 8.1-5.....	75
Διάγραμμα 8.1-6.....	77
Διάγραμμα 8.2-1.....	79
Διάγραμμα 8.2-2.....	82
Διάγραμμα 8.2-3.....	83
Διάγραμμα 8.7-1.....	112
Διάγραμμα 8.7-2.....	116
Διάγραμμα 9.1.....	129
Διάγραμμα 9.2.....	130
Διάγραμμα 9.3.....	130
Διάγραμμα 9.4.....	131

Διάγραμμα 11.1	154
Διάγραμμα 13.1	161
Διάγραμμα 15.1	174
Διάγραμμα 15.2.....	176
Διάγραμμα 15.3.....	177

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντιμετωπίζοντας κανείς την ενεργειακή κρίση δε φτάνει μόνο να μη σπαταλά την ενέργεια που ήδη διαθέτει αλλά επιπλέον να αξιοποιεί νέες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, που να προέρχονται περισσότερο ή λιγότερο απευθείας από την ηλιακή ενέργεια. Αυτή είναι η περίπτωση χρησιμοποίησης της βιομάζας, η οποία καλείται "**πράσινη ενέργεια**" και που φαίνεται να είναι μία από τις ελπίδες του μέλλοντος.

"**Πράσινη ενέργεια**" ή "**πράσινος χρυσός**" δεν είναι τίποτα άλλο από το αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης των φυτών, όπου η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται με μία σειρά διεργασιών σε οργανικές ενώσεις (βιομάζα) οι οποίες αποτελούν μία δυνητική πηγή ενέργειας.

Στις σελίδες αυτής της εργασίας γίνεται μία προσπάθεια να οριστεί ο όρος της βιομάζας, να προσδιοριστούν οι τρόποι εξαγωγής της ενέργειας, να γίνει μία σύντομη αναφορά του κάθε είδους βιομάζας, του τρόπου εκμετάλλευσής του, των νέων τεχνολογιών, καθώς επίσης και μία οικονομική ανάλυση του θέματος. Τέλος παρουσιάζεται η ελληνική προσέγγιση στο ζήτημα της βιομάζας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΒΙΟΜΑΖΑ

1.1 ΒΙΟΜΑΖΑ

Η φυτική ζωή του πλανήτη μας αποτελεί μια φυσική πηγή αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας και χημικών πόρων. Είτε καλλιεργείται από τον άνθρωπο, είτε αναπτύσσεται άγρια, ο φυτικός πλούτος αντιπροσωπεύει μία τεράστια ποσότητα ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που καλείται **βιομάζα**. Βρίσκεται στη λεπτή πάνω επιφάνεια της Γης που καλείται βιόσφαιρα, κατέχοντας μόνο ένα μικρό τμήμα της ολικής μάζας της, αλλά σε ανθρώπινους όρους αυτό είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας που εμπλουτίζεται συνεχώς. Η πηγή που προμηθεύει την ενέργεια είναι φυσικά ο ήλιος και παρόλο που μόνο ένα μικρό τμήμα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη Γη κάθε χρόνο συγκρατείται από οργανικά σώματα πάνω της, ωστόσο αυτό ισούται με οχτώ φορές περίπου την ολική μας κατανάλωση ενέργειας. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στα φυτά ανακυκλώνεται φυσικά μέσω μιας σειράς μετατροπών περιλαμβάνοντας χημικές και φυσικές διαδικασίες στα φυτά, στο χώμα, την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα και άλλους ζωντανούς οργανισμούς, μέχρι που τελικά ακτινοβολείται μακριά από τη Γη σαν χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητα, εκτός από ένα μικρό τμήμα το οποίο μπορεί να παραμείνει στην τύρφη (σαπισμένα χόρτα) και μία πολύ μικρή μερίδα η οποία μπορεί αργά να γίνει ενέργεια ορυκτών καυσίμων.

Η σημαντικότητα αυτής της κυκλικής διαδικασίας για εμάς είναι το ότι εάν μπορούμε να επέμβουμε και να "αιχμαλωτίσουμε" μερική από τη βιομάζα στο στάδιο όπου αυτή συμπεριφέρεται σαν μία αποθήκη χημικής ενέργειας, τότε έχουμε ένα καύσιμο. Επιπλέον, δύο γεγονότα μεγάλης περιβαλλοντικής σημασίας είναι ότι εξασφαλίζοντας την κατανάλωσή μας σε ενέργεια από βιομάζα δεν υπερβαίνουμε το φυσικό πεδίο της ανακύκλωσης, ενώ ταυτοχρόνως καίγοντας βιοκαύσιμα δεν παράγουμε περισσότερη θερμότητα και δεν δημιουργείται περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι θα είχε παραχθεί σε κάθε περίπτωση από φυσική διαδικασία. Έτσι φαίνεται ότι έχουμε μία ενεργειακή πηγή της οποίας η χρήση δεν πρέπει να έχει σχεδόν καθόλου επιβλαβές περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

1.2 ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

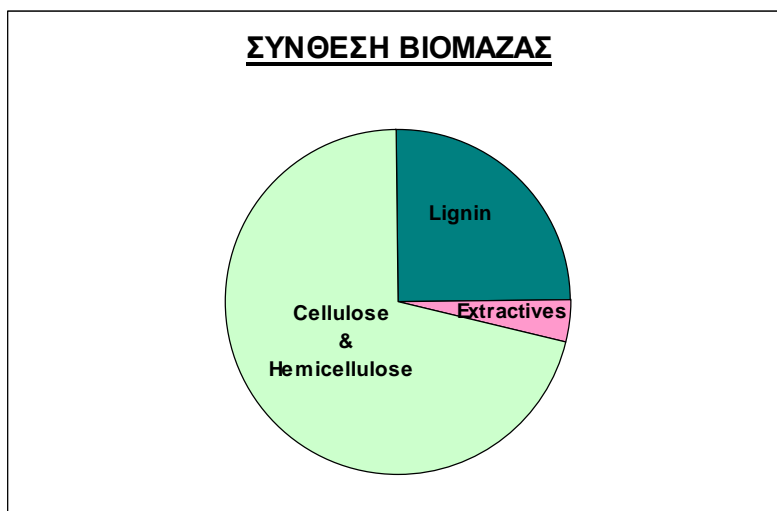
Ο όρος "**βιοκαύσιμα**" καλύπτει ένα ευρύ φάσμα πηγών ενέργειας, από μία απλή φωτιά ξύλων μέχρι χιλιάδες τόνους αστικών αποβλήτων που τροφοδοτούν ένα σταθμό ισχύος πολλών μεγαβάτ (MW). Για ένα πιο ακριβή ορισμό, μπορούμε να αναφέρουμε μία πρόσφατη σχετικά έκδοση της Ενεργειακής Τεχνολογικής Μονάδας Στήριξης της Μεγάλης Βρετανίας (Energy Technology Support Unit) του 1991:

Τα "βιοκαύσιμα" είναι οποιοδήποτε στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο που παράγεται από οργανικά υλικά, είτε άμεσα από τα φυτά είτε έμμεσα από βιομηχανικά, εμπορικά, οικιακά ή αγροτικά απόβλητα. Αυτά μπορούν να εξαχθούν από ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών και να παραχθούν με ποικίλους τρόπους.

Η συμπερίληψη όλων των διαδικασιών της παραγωγής ενέργειας από απόβλητα κάτω από αυτόν τον τίτλο ίσως φαίνεται λίγο παράξενη, μέχρι να σημειώσουμε ότι τα περισσότερα σημερινά συστήματα για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι στην πραγματικότητα χρησιμοποιημένα απόβλητα - κατάλοιπα (υπολείμματα) σχετιζόμενα με φυτικά ή ζωικά προϊόντα που καλλιεργούνται για άλλους σκοπούς. Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα δεν είναι τόσο προφανώς βιομάζα (πλαστικές σακουλές και μεταλλικά κουτιά έρχονται αρχικά στο μυαλό), αλλά ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος από το περιεχόμενο των σκουπιδιών ενός μέσου νοικοκυριού έχει βιολογική προέλευση.

1.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η χημική σύνθεση της βιομάζας ποικίλει ανάμεσα στα είδη, αλλά η βιομάζα αποτελείται περίπου από 25% λιγνίνη και 75% υδρογονάνθρακες ή σάκχαρα. Στην πραγματικότητα, ανάμεσα σε αυτό το ποσοστό των δύο βασικών συστατικών, τα περισσότερα είδη περιέχουν επίσης γύρω στο 5% μία μερίδα μικρότερων μοριακών τεμαχίων που καλούνται *extractives*.



Διάγραμμα 1.1: Σύνθεση βιομάζας.

Το μέρος των υδρογονανθράκων αποτελείται από πολλά μόρια σακχάρων ενωμένα μαζί σε μακριές αλυσίδες ή πολυμερή. Δύο μεγάλες κατηγορίες υδρογονανθράκων που έχουν σημαντική αξία είναι η κυτταρίνη και η ημι-κυτταρίνη. Το μέρος της λιγνίνης αποτελείται από μόρια μη σακχαρώδη τύπου ενωμένα μαζί σε μεγάλα ελάσματα δύο διαστάσεων, σαν δομές που φαίνονται σαν "σύρμα περίφραξης".

Η φύση χρησιμοποιεί τα μακριά πολυμερή κυτταρίνης για να χτίσει τις ίνες που δίνουν τη δύναμη ενός φυτού. Το μέρος της λιγνίνης δρα σαν "κόλλα" συγκρατώντας ίνες κυτταρίνης ενωμένες. Είναι αυτός ο συνδυασμός που δίνει στα φυτά την ελαστικότητά τους ώστε να λυγίζουν και να ταλαντεύονται όπως τα χόρτα και την συμπαγή δομική δύναμη για να υψώνονται αρκετά μέτρα.

Η αξία της βιομάζας σχετίζεται με τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των μεγαλομορίων από τα οποία αποτελείται. Εκατομμύρια άνθρωποι εκμεταλλεύτηκαν την αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια στους χημικούς δεσμούς καίγοντας βιομάζα σαν καύσιμο και τρώγοντας φυτά για την θρεπτική ενέργεια του σακχάρου και του αμύλου που περιείχαν. Πιο πρόσφατα, τους τελευταίους αιώνες, οι άνθρωποι εκμεταλλεύτηκαν απολιθωματοποιημένη βιομάζα με τη μορφή του κάρβουνου. Αυτό το ορυκτό καύσιμο είναι το αποτέλεσμα πολύ αργών χημικών μετασχηματισμών που μετατρέπει τα πολυμερή σάκχαρα σε μία χημική σύνθεση η οποία μοιάζει στην λιγνίνη. Έτσι,

οι συμπληρωματικοί χημικοί δεσμοί στο κάρβουνο αντιπροσωπεύουν μια πιο συγκεντρωμένη πηγή ενέργειας σαν καύσιμο. Εφόσον χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να μετατραπεί η βιομάζα σε κάρβουνο, τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμα στο χρονικό διάστημα που τα χρησιμοποιούμε.

Οι άνθρωποι εκμεταλλεύονται επίσης χημικά ωφέλιμα συστατικά της βιομάζας. Διαλύοντας τη λιγνίνη των φυτών και αποβάλλοντας το "κολλώδες" μέρος, οι ίνες κυτταρίνης ανακτώνται για να φτιάξουν χαρτί και υφάσματα. Επίσης, άλλα ωφέλιμα χημικά με τη μορφή φυσικών φαρμακευτικών προϊόντων μπορεί να ανακτηθούν.

2. Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ ΚΑΙ ΣΗΜΕΡΑ

2.1 ΑΠΟ ΤΟ ΞΥΛΟ ΣΤΟ ΚΑΡΒΟΥΝΟ

Μέχρι προσφάτως, η ιστορία των καυσίμων ήταν βασικά η ιστορία των βιοκαυσίμων. Εκτός από της θερμές πηγές και λίγο κάρβουνο που βρέθηκε στις θαλάσσιες ακτές ή που βγήκε στην επιφάνεια, η βιομάζα ήταν μέχρι τον 17^ο αιώνα η μόνη σημαντική πηγή για ενέργεια θερμότητας, πιο πολύ και από τον ήλιο. Το ίδιο μπορεί να λεχθεί και για το φωτισμό, με κεριά από ζωικό λίπος και λάμπες που χρησιμοποιούσαν ζωικά ή φυτικά λάδια. Η βασική τεχνολογία βιοκαυσίμου - μεγάλης σημασίας γιατί αυτή μας έφερε στο σημείο να φτάσουμε σε υψηλές θερμοκρασίες απαραίτητες για την εξαγωγή των μετάλλων από τα ορυκτά - ήταν η διαδικασία παραγωγής κάρβουνου από ξύλο.

Η αντικατάσταση του ξύλου από κάρβουνο κατά τη διάρκεια της πρώιμης Βιομηχανικής Επανάστασης εξασφαλίζει μια ενδιαφέρουσα θέση μελέτης στην τεχνολογική αλλαγή. Γενικά συμφωνούν όλοι ότι η σοβαρή έλλειψη ξύλου έπαιξε σημαντικό ρόλο, αλλά οι απόψεις διαχωρίζονται. Βασικά, υπήρχαν τρεις αντικρουόμενες απόψεις γύρω από την πρώιμη βιομηχανοποίηση και οι αιτίες τους συνοψίζονται παρακάτω:

- Η αυξανόμενη ευημερία έφερε συνθήκες που ευνοούσαν την τεχνική καινοτομία. Αυτό οδήγησε στην αύξηση της χρήσης των μηχανών, για την οποία το κάρβουνο ήταν ένα πιο κατάλληλο καύσιμο από ότι το ξύλο.
- Η επιστημονική εφευρετικότητα οδήγησε σε ευρεία τεχνολογική αλλαγή, με την ενέργεια από το κάρβουνο να αντικαθιστά το ξύλο, τον αέρα και το νερό. Η αυξανόμενη ευημερία ήταν μία συνέπεια αυτής της άνθισης της βιομηχανοποίησης.
- Η αύξηση του πληθυσμού, η φτώχεια και η συνεχής αύξηση της τιμής του ξύλου εξώθησε τη χρήση του κάρβουνου, που ήταν αντιληπτό ως ένα λιγότερο επιθυμητό καύσιμο. Το επιφανειακό κάρβουνο εξαντλήθηκε σύντομα, βαθιά ορυχεία έγιναν απαραίτητα, και δημιουργήθηκε η ανάγκη να αντληθούν πλημμυρισμένα νερά από μεγάλα βάθη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τις πρώτες μηχανές της Βιομηχανικής Επανάστασης.

Αρχικώς αυτό φαίνεται να έχει μόνο ιστορικό ενδιαφέρον, αλλά αν σκεφτούμε ότι το ξύλο είναι ακόμα το βασικό καύσιμο για τα 3/4 του παγκόσμιου πληθυσμού και ότι σε αρκετά μέρη υποφέρουν από την έλλειψη του, τότε θα κατανοήσουμε τη σχέση του με το σήμερα.

2.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η εκτίμηση της ολικής παγκόσμιας ενεργειακής συνεισφοράς της βιομάζας είναι πολύ δύσκολη, γιατί δεν υπάρχει ένας οργανισμός μεγάλης κλίμακας σαν τον **OPEC** για να παρακολουθεί την κατανάλωση βιοκαυσίμων. Στην πραγματικότητα, πολλές μελέτες της "παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης" αγνοούν την πηγή αυτή. Έτσι υπάρχει η λανθασμένη εντύπωση ότι η συνεισφορά της είναι σχετικώς ασήμαντη.

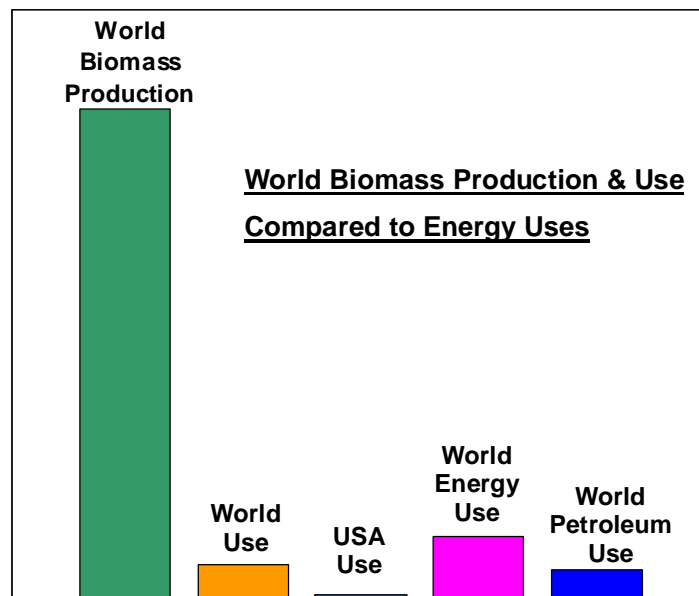
Ωστόσο, η βιομάζα αποτελεί ένα τεράστιο ενεργειακό προμηθευτή στον περισσότερο κόσμο. Το Νεπάλ και η Αιθιοπία, για παράδειγμα, παράγουν σχεδόν όλη τους την ενέργεια από τη βιομάζα, ενώ οι αντίστοιχες αναλογίες για την Κένυα, την Ινδία και τη Βραζιλία είναι περίπου 75%, 50% και 25%. Σύμφωνα με μία παλαιότερη μελέτη, η κατά κεφαλήν ετήσια κατανάλωση βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς σε περιοχές αναπτυσσόμενων χωρών κυμαίνεται από μισό (1/2) έως δύο (2) τόνους ξηρής μάζας. Με ένα σύνολο πληθυσμού τέσσερα δισεκατομμύρια περίπου, οι αναπτυσσόμενες χώρες εκτιμάται ότι καταναλώνουν συνολικά πάνω από **3 GT** (γιγατόνους ξηρής μάζας) βιομάζας ετησίως ($1\text{GT}=10^9\text{T}$). Υποθέτοντας ένα μέσο ενεργειακό περιεχόμενο της τάξης των **15 GJ** ανά τόνο έχουμε μία ετήσια ενέργεια των **45-50 EJ** ($1\text{EJ}=10^{18}\text{J}$), πάνω από το ένα τρίτο της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης αυτών των περιοχών του κόσμου.

Ακόμα και στα βιομηχανοποιημένα κράτη η κατανάλωση των βιοκαυσίμων δεν είναι ασήμαντη: η κατά κεφαλήν μέση ετήσια κατανάλωση είναι περίπου 1/3 ενός ξηρού τόνου, εκπροσωπώντας γύρω στο 3% της αρχικής. Σε χώρες όπως η Αυστρία, η Σουηδία, η Ελβετία και οι Η.Π.Α., όπου η χρήση του ξύλου ως καύσιμο είναι ευρεία και οι τεχνολογίες για διαδικαστικά υπολείμματα και απόβλητα είναι προοδευμένες, το ποσοστό της συνεισφοράς μπορεί να είναι υψηλότερο. Υπολογίζεται ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες

χρησιμοποιούν συνολικά περίπου **8 EJ** τον χρόνο της ενέργειας της βιομάζας, ανεβάζοντας το παγκόσμιο σύνολο λίγο πάνω από **55 EJ**, ή γύρω στο 14% της αρχικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Από μία άλλη μελέτη λαμβάνουμε τα παρακάτω τρία βασικά συμπεράσματα:

- Ενώ υπάρχουν πολλές χρήσεις για τη βιομάζα εκτός από τη χρήση της ως καύσιμο, είναι χρήσιμο να προσπαθήσουμε να εκτιμήσουμε πόση βιομάζα είναι διαθέσιμη σε όρους ενεργειακού περιεχομένου. Η συνολική παγκόσμια παραγωγή βιομάζας υπολογίζεται στα **2.740 Quads** (1Quad= 10^{16} Btus).
- Η παραγωγή βιομάζας είναι περίπου οχτώ φορές η συνολική ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση από όλες τις πηγές (περίπου **340 Quads**). Έτσι η βιομάζα αντιπροσωπεύει μία πολύ μεγάλη ενεργειακή πηγή.
- Σήμερα ο παγκόσμιος πληθυσμός χρησιμοποιεί μόνο γύρω στο 7% της ετήσιας παραγωγής βιομάζας. Έτσι, εκμεταλλευόμαστε μόνο μερικά αυτή την άφθονη ανανεώσιμη πηγή της φύσης.



Διάγραμμα 2.1: Παγκόσμια παραγωγή και χρήση βιομάζας συγκρινόμενη με τις χρήσεις της ενέργειας.

3. Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ

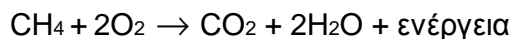
3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Είναι γνωστό ότι μερικά υλικά καίγονται (ξύλο, χαρτί, άχυρο, κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ενώ κάποια άλλα όχι (άμμος, επιτραπέζιο αλάτι, νερό). Αναζητώντας αυτό που κάνει ένα υλικό καύσιμο ή όχι, θυμόμαστε μερικούς γνωστούς παράγοντες της καύσης:

1. Χρειάζεται αέρα ή, για να είμαστε πιο ακριβείς, χρειάζεται οξυγόνο.
2. Το καύσιμο εξαφανίζεται ή τουλάχιστον υπόκειται σε τεράστια αλλαγή.
3. Παράγεται θερμότητα και εκλύεται ενέργεια.

Έτσι φαίνεται ότι καύσιμο είναι μια ουσία που αντιδρά με οξυγόνο και αλλάζει χημικά ελευθερώνοντας ενέργεια. Η απελευθέρωση ενέργειας σημαίνει ότι το καύσιμο και το οξυγόνο περιέχουν μεγαλύτερη ενέργεια από τα προϊόντα που σχηματίζονται κατά την καύση.

Γνωρίζοντας τη σύνθεση των πιο κοινών καυσίμων, μπορούμε να προβλέψουμε ποία θα είναι τα προϊόντα. Για παράδειγμα το μόριο του μεθανίου, που είναι ένα βιοκαύσιμο και ο βασικός αντίπαλος του φυσικού αερίου, αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου: CH_4 . Το αέριο οξυγόνο αποτελείται από μόρια με δύο άτομα (O_2) το καθένα, και στην καύση κάθε μόριο μεθανίου αντιδρά με δύο οξυγόνου:



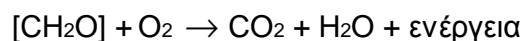
Από πού προέρχεται αυτή η θερμική ενέργεια; Μια απάντηση είναι ότι η αναδιάταξη των ατόμων C, H και O είναι ένα είδος διαδικασίας συνεισφοράς "setting-down": η ενέργεια του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού είναι αρκετά χαμηλότερη από αυτή του αρχικού καυσίμου και του οξυγόνου και η διαφορά τους εμφανίζεται σαν θερμότητα. Καθώς τα μόρια συγκρατούνται μαζί βασικά με ηλεκτρικές δυνάμεις, κατά μία έννοια μπορούμε να πούμε ότι η καύση είναι μία διαδικασία στην οποία η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα.

Η αντίδραση που φαίνεται παραπάνω αναπαριστά την καύση του μεθανίου, αλλά ωστόσο περιέχει τις απαραίτητες αρχές της καύσης οποιουδήποτε κοινού καυσίμου: ένα σύνθετο που περιέχει άνθρακα και υδρογόνο αντιδρά με οξυγόνο από τον αέρα για να παραχθεί διοξείδιο του

άνθρακα και το νερό. Το νερό συνήθως παρουσιάζεται με τη μορφή ατμού. Γνωρίζοντας τις σχετικές μάζες των στοιχείων μπορούμε να προβλέψουμε τις ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και νερού που θα παραχθούν καίγοντας μία συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου.

Το πετρέλαιο και το κάρβουνο, τα άλλα βασικά μας καύσιμα, είναι πιο περίπλοκα από το μεθάνιο, αλλά η καύση τους είναι μία παρόμοια διαδικασία. Η παραγόμενη θερμότητα ανά τόνο είναι μάλλον μικρότερη, ωστόσο, όσο αυξάνει το ποσοστό των ατόμων άνθρακα προς υδρογόνου παράγεται περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μονάδα εξερχόμενης ενέργειας. Αυτά τα ορυκτά καύσιμα, αποτέλεσμα εκατοντάδων εκατομμυρίων χρόνων αργών γεωλογικών αλλαγών που ενεργούν σε φυτικά ή ζωικά υλικά, είναι παραδείγματα υδρογονάνθρακων και αποτελούνται σχεδόν ολοκληρωτικά από άνθρακα και υδρογόνο.

Τα περισσότερα από τα καύσιμα προέρχονται από ζωντανή ή πρόσφατα νεκρή βιομάζα, περιέχοντας επίσης οξυγόνο. Τα μόρια των βιολογικών υλικών είναι επίσης μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα από του μεθανίου, αλλά μπορούμε να αναπαραστήσουμε την καύση τους με ένα πιο απλοποιημένο τρόπο θεωρώντας τους υδρογονάνθρακες σαν ένα παράδειγμα. Σ' αυτά το ποσοστό των συμμετεχόντων ατόμων είναι περίπου ένα οξυγόνο και δύο υδρογόνα σε κάθε άνθρακα, έτσι $[CH_2O]$ μπορεί να συμβολίζει μία τυπική υπό-μονάδα ενός μορίου υδρογονάνθρακα. Η διαδικασία καύσης τότε είναι:



Οι λεπτομέρειες θα προσδιοριστούν σε κάθε τύπο βιομάζας, αλλά αυτό δίνει τη γενική ιδέα, και ο πίνακας παρακάτω περιέχει μερικά παραδείγματα της ενέργειας που μπορεί να αποκτηθεί καίγοντας ένα τόνο ή ένα κυβικό από ποικίλα βιολογικά υλικά, με τα κυριότερα φυσικά καύσιμα για σύγκριση.

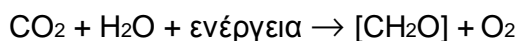
ΚΑΥΣΙΜΟ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GJ/t)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GJ/m ³)
Ξύλο (20% υγρασία)	15	10
Χαρτί (εφημερίδας)	17	9
Κοπριά (στεγνή)	15	4
Άχυρο (δεματιασμένο)	14	1,4
Ζαχαροκάλαμο (στεγνοί μίσχοι)	14	10
Οικιακά απορρίμματα (όπως συλλέγονται)	9	1,5
Εμπορικά απόβλητα	16	--
Γρασίδι (φρεσκοκομμένο)	4	3
Πετρέλαιο	42	34
Κάρβουνο	28	50
Φυσικό αέριο (πίεση προμήθειας)	55	0,04

Πίνακας 3.1: Ενέργεια που μπορεί να αποκτηθεί από την καύση κάποιων βιολογικών υλικών.

3.2 Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΑΝ ΑΠΟΘΗΚΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο άνθρακας, το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι τα κύρια στοιχεία όλων των συμβατικών καυσίμων. Το ότι άνθρακας, υδρογόνο και οξυγόνο είναι επίσης τα κύρια στοιχεία των ζώντων οργανισμών δεν είναι τυχαίο. Όπως είδαμε, ο συνδυασμός καύσιμο-οξυγόνο είναι μια αποθήκη ενέργειας, και η ενέργεια εκλύεται σαν θερμότητα όταν το καύσιμο καίγεται. Η φυσική αποσύνθεση είναι μία παρόμοια οξειδωτική διαδικασία, η οποία επίσης οδηγεί σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αλλά η διαδικασία δεν σταματά εκεί. Η φύση συμπληρώνει τον κύκλο περικλείοντας ενέργεια σε αυτά τα τελικά προϊόντα για να δημιουργήσουν περισσότερο καύσιμο και οξυγόνο. Ο μηχανισμός αυτός είναι η **φωτοσύνθεση**, και είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά παίρνουν διοξείδιο του άνθρακα και νερό από το περιβάλλον τους και χρησιμοποιούν το ηλιακό φως για να τα μετατρέψουν σε σάκχαρα, άμυλα, κутταρίνη και άλλα συστατικά τα οποία δημιουργούν το "φυτικό περιεχόμενο" ("vegetable matter").

Οι βασικές μορφές της διαδικασίας παρουσιάζονται ως εξής:



Παρατηρούμε ότι το πρώτο στοιχείο στα δεξιά, το $[\text{CH}_2\text{O}]$, προσδιορίζει πάλι μία υπό-μονάδα ενός μορίου υδρογονάνθρακα. Αυτό δεν αποτελεί απαραίτητα το τελικό "φυτικό περιεχόμενο", αλλά όπως και πριν εξυπηρετεί για το απλό παράδειγμα. Το δεύτερο στοιχείο είναι φυσικά το οξυγόνο, και έτσι γίνεται φανερό ότι αυτή η διαδικασία είναι ακριβώς η αντίστροφη της **αποσύνθεσης/καύσης** που προαναφέραμε. Το φυτό μεγαλώνει χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια για να μετατρέψει διοξείδιο του άνθρακα και νερό σε υδρογονάνθρακες ή παρόμοιο υλικό με ταυτόχρονη απελευθέρωση οξυγόνου. Όταν αυτό αποσυντίθεται ή το καίμε, χρησιμοποιείται οξυγόνο και ενέργεια ελευθερώνεται σαν θερμότητα.

Είναι σημαντικό να εκτιμήσουμε το ρόλο των ζώντων οργανισμών, της βιομάζας, στη διατήρηση της γήινης ατμόσφαιρας. Εάν ένας κοσμικός τυφώνας σάρωνε όλη τη φυτική ζωή στη Γη, το αποτέλεσμα της απώλειας της μάζας δεν θα ήταν περισσότερο από ένα μικρό μέρος στο δισεκατομμύριο, σαν να φυσάς τη σκόνη πάνω από μία σχολική υδρόγειο σφαίρα. Ωστόσο οι φυσικές συνέπειες αυτής της απειροελάχιστης αλλαγής θα ήταν τεράστιες. Δεν θα υπήρχε πια προμήθεια οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, και είναι η σύνθεση της ατμόσφαιρας - το συγκεκριμένο μίγμα αζώτου, οξυγόνου και ιχνών άλλων αερίων όπως το CO_2 - που διατηρεί τις επιφανειακές συνθήκες της Γης. Όταν σκεφτόμαστε τα πιθανά αποτελέσματα των ανθρώπινων πράξεων στο περιβάλλον είναι απαραίτητο να έχουμε στο μυαλό μας το σημαντικό γεγονός ότι η βιομάζα και η ατμόσφαιρα δεν είναι δύο ξεχωριστά πράγματα των επιφανειακών επιπέδων της Γης: η αλληλεξάρτησή τους είναι τόσο δυνατή που είναι απαραίτητο να τους συμπεριφερόμαστε σαν ένα ενιαίο σύστημα.

3.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

Πληροφορίες όπως αυτές του παραπάνω πίνακα είναι χρήσιμες όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε μερικά υπάρχοντα φυτικά υπολείμματα ή άλλα βιολογικά υλικά σαν καύσιμο και γνωρίζουμε πόσοι τόνοι ή κυβικά μέτρα είναι

διαθέσιμα. Στην περίπτωση που επιθυμούμε να καλλιεργήσουμε μια σοδειά ειδικά για καύση, αυτό που χρειαζόμαστε είναι να μάθουμε το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποκτηθεί από μία συγκεκριμένη περιοχή της γης. Εάν ο στόχος είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης πρέπει να γνωρίζουμε λεπτομερώς τι καθορίζει το ενεργειακό περιεχόμενο. Πρακτικά, η ποσότητα της βιομάζας και το ενεργειακό περιεχόμενο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: την τοποθεσία, το κλίμα και τον καιρό, τη φύση του εδάφους, την τροφοδοσία του νερού, τα ιχνοστοιχεία κ.τ.λ., καθώς επίσης και η επιλογή του φυτού. Οι αποδόσεις ποικίλουν και κινούνται σε μία εξαιρετικά ευρεία κλίμακα. Αν περιοριστούμε σε καταστάσεις όπου οι καλλιέργειες θεωρήθηκαν αποκλειστικά για παραγωγή ενέργειας, βρίσκουμε ότι η στεγνωμένη από τον αέρα μάζα του φυτού που παράγεται σε ετήσια βάση σε μία περιοχή ενός εκταρίου μπορεί να είναι τόσο λίγη όσο ένας (1) τόνος ή, σε εξαιρετικά καλές συνθήκες, τόσο πολύ όσο τριάντα (30) τόνοι. Σε ενεργειακούς όρους αυτό θα μπορούσε να σημαίνει λιγότερο από 15 GJ ή σχεδόν 500 GJ ανά εκτάριο (1.000 στρέμματα) το χρόνο.

Τα παραπάνω σκιαγραφούν την εξαιρετικά χαμηλή απόδοση της ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας. Στη Βόρεια Ευρώπη, όπου η ετήσια μέση ηλιακή ενέργεια που φτάνει σε ένα εκτάριο είναι περίπου 35.000 GJ, μία καλή απόδοση μπορεί να είναι γύρω στα 200 GJ ανά εκτάριο: μία αποδοτικότητα λίγο πάνω από μισό τοις εκατό (0,5%). Για να κατανοήσουμε γιατί η απόδοση της μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε βιομάζα είναι σπανίως μεγαλύτερη από αυτό, θα πρέπει να μελετήσουμε τη διαδικασία πιο λεπτομερώς. Θα ακολουθήσουμε τις διαδοχικές μειώσεις της διαθέσιμης ενέργειας, από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μέχρι το τελικό φυτικό υλικό.

Αρχικά, υπάρχουν φορές κατά τη διάρκεια του χρόνου όπου η αποδοτικότητα της μετατροπής είναι ουσιαστικά μηδέν γιατί καμία ανάπτυξη δεν συμβαίνει. Επιπλέον, ακόμα και κατά την περίοδο της ανάπτυξης δεν αναχαιτίζεται από τα φύλλα όλο το ηλιακό φως.

Μόλις έχουμε μία εκτίμηση για την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια του φύλλου, μία πιο ποσοτική μελέτη γίνεται δυνατή. Τα φύλλα δεν απορροφούν όλη την ενέργεια του φωτός που φτάνει σε αυτά, γιατί αν το έκαναν θα ήταν μαύρα. Το ότι είναι πράσινα δηλώνει ότι αντανακλούν το

πράσινο φως, κάτι που φαίνεται και από το διάγραμμα της απορρόφησης σε σχέση με το μήκος κύματος του φωτός, καθώς στην περιοχή της απορρόφησης παρουσιάζεται μία κοιλιά (Διάγραμμα 3.1). Το φωτο-θεριστικό (light-harvesting) σύστημα που είναι υπεύθυνο για αυτήν την επιλεκτική απορρόφηση αποτελείται από μία συνάθροιση χρωστικών μορίων, από τα οποία η πιο σημαντική και πιο οικεία είναι η χλωροφύλλη. Όταν είναι ενεργά, απορροφούν περίπου το 80% από την ηλιακή ενέργεια που πέφτει σε ένα φύλλο.

~

Διάγραμμα 3.1: Σχετική απορρόφηση των διάφορων μερών του ηλιακού φάσματος από ένα φύλλο.

Η επόμενη απώλεια είναι πάλι αποτέλεσμα επιλογής, σε αυτήν την περίπτωση γιατί οι φωτοχημικές αντιδράσεις που περιγράφηκαν παραπάνω απαιτούν φως μόνο από ένα στενό φάσμα μηκών κυμάτων. Τα ατομικά φωτόνια, που είναι οι παλμοί της ενέργειας του φωτός, μεταφέρουν περισσότερη ενέργεια όταν είναι μικρότερο το μήκος κύματος με αποτέλεσμα τα φωτόνια των υπέρυθρων κυμάτων με μεγάλα μήκη να μην έχουν αρκετή ενέργεια για να επιτρέψουν τη φωτοσύνθεση. (Κάτι παρόμοιο συμβαίνει με τα φωτοβολταϊκά κελιά). Το όλο αποτέλεσμα αυτής της άποψης της επιλεκτικότητας είναι ότι μόνο το 50% της απορροφούμενης από τα φύλλα ενέργειας είναι αποτελεσματική στις θεμελιώδεις χημικές αντιδράσεις.

Τα τελικά προϊόντα αυτών των αντιδράσεων είναι το "φυτικό περιεχόμενο" και το οξυγόνο που ελευθερώνεται από το φυτό. Οι λεπτομέρειες ποικίλουν από φυτό σε φυτό, αλλά η αποθηκευμένη χημική ενέργεια στο φυτό θα είναι πάντα μόνο ένα τμήμα από αυτή που παίρνει μέρος στις αντιδράσεις, κάτω από το 1/3 κατά μέσο όρο, ενώ γύρω στο 40% από αυτό καταναλώνεται από το φυτό για να διατηρήσει το μεταβολισμό του. Αυτή, καθώς και όλη η "χαμένη" ενέργεια, απελευθερώνεται από το φυτό στο περιβάλλον του μέσω της διαδικασίας της αναπνοής ή άμεσα σαν χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητα. Από τη ηλιακή ενέργεια που πραγματικά φτάνει τα πράσινα φύλλα, λιγότερο από το ένα δέκατο (1/10) γίνεται διαθέσιμη στο τελικό βιοκαύσιμο. Έτσι τελικά, λαμβάνοντας υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες, καταλήγουμε σε παρατηρημένη απόδοση μετατροπής λιγότερο από 1%.

3.4 ΕΚΤΙΜΩΝΤΑΣ ΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ

Η φυσική ανανέωση της βιομάζας της Γης αντιπροσωπεύει μία προμήθεια μερικών 3.000 EJ το χρόνο, από την οποία χρησιμοποιούμε λίγο κάτω από 2% σαν καύσιμο. Δεν υπάρχει φυσικά κανένας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ολόκληρη την ετήσια παραγωγή βιομάζας ακόμα και αν το ευχόμασταν. Φαγητό, ζωοτροφή και ίνες μοιράζονται τον πόρο (φαγητό για τους ανθρώπους, ζωοτροφή για τα άγρια και τα οικιακά ζώα, και ίνες για κατασκευή, χαρτί, υφάσματα, κ.τ.λ.).

Έχοντας ως δεδομένα την εξαιρετικά ποικίλη φύση των βιοκαυσίμων, και το πλήθος των ποικιλιών σε τοπικές καταστάσεις, είναι φανερό ότι οποιαδήποτε συσχέτιση της παγκόσμιας δυναμικότητας/ισχύος πρέπει να σταθεί σε λεπτομερείς αναλύσεις των ξεχωριστών συνεισφορών ανάμεσα σε συγκεκριμένες περιοχές ή χώρες. Όπως με κάθε εκτίμηση πόρων, αυτές πρέπει να λάβουν υπόψη περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς παράγοντες καθώς και τεχνικές και οικονομικές θεωρήσεις.

Σε παγκόσμια κλίμακα, ένα σενάριο βασισμένο σε λεπτομερείς αναλύσεις που διεξάχθηκε για το Συνέδριο των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη το 1992 προτείνει ότι η ετήσια ενεργειακή

προμήθεια βιομάζας γύρω στο 2050 θα μπορούσε να φτάσει στο μισό της ενεργειακής κατανάλωσης ολόκληρου του κόσμου εκείνης της χρονιάς.

ΠΗΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΙΣΧΥΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΠΡΟΜΗΘΕΙΩΝ ΣΕ ΕJ
Ενεργειακές Σοδειές	128
Κοπριές Ζώων	25
Δασικά Υπόλοιπα	14
Υπόλοιπα Δημητριακών	13
Υπόλοιπα Ζαχαροκάλαμων	12
Υπάρχοντα Δάση	10
Αστικά Απορρίματα	3
ΣΥΝΟΛΟ	205

Πίνακας 3.2: Εκτιμημένη παγκόσμια δυναμικότητα για ενεργειακή προμήθεια βιομάζας το έτος 2050.

4. ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1 ΜΕ ΠΟΙΟΥΣ ΤΡΟΠΟΥΣ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για να ανταγωνιστούν τα βιοκαύσιμα με τα τωρινά μας καύσιμα, πρέπει να είναι ικανά να αντεπεξέλθουν στη ζήτηση για κατάλληλες μορφές ενέργειας σε ανταγωνιστικές τιμές. Δύο σημαντικά κριτήρια είναι η **διαθεσιμότητα** και η **μεταφορά** της προμήθειας. Τα πρώιμα καύσιμα (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) είναι πολύτιμα επειδή η ενέργειά τους μπορεί να αποθηκευτεί με λίγες απώλειες και να είναι διαθέσιμα όταν τα χρειαστούμε. Και αυτά τα καύσιμα, μαζί με την ηλεκτρική ισχύ, προσφέρουν επιπλέον το πλεονέκτημα της ενέργειας που εύκολα μεταφέρεται από μέρος σε μέρος.

Η πηγή της βιομάζας παρουσιάζεται με μία ποικιλία τύπων: ξύλο, πριονίδι, καλάμι, κουκούτσια ελαιοκράμβης, κοπριά ζώων, άχρηστο χαρτί, οικιακά απορρίμματα, βοθρολύματα, και πολλοί άλλοι. Σχεδόν όλοι οι τύποι της ακατέργαστης βιομάζας αποσυνθέτεται μάλλον γρήγορα, έτσι μόνο λίγοι είναι πολύ καλές μακροχρόνιες αποθήκες ενέργειας. Επίσης, εξαιτίας των σχετικά χαμηλών ενεργειακών πυκνοτήτων πιθανολογείται ότι είναι ακριβή η μεταφορά τους πάνω από εκτιμητές αποστάσεις. Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε σημαντική προσπάθεια στην έρευνα γύρω από τους καλύτερους τρόπους χρήσης αυτών των πολύτιμων πηγών ενέργειας.

Σκεφτόμενοι τις μεθόδους για εξαγωγή της ενέργειας μπορούμε να τις κατατάξουμε βάσει της πολυπλοκότητας της εμπλεκόμενης διαδικασίας:

- ◆ Άμεση καύση της ακατέργαστης βιομάζας.
- ◆ Καύση μετά από σχετικά απλή **φυσική** διαδικασία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει βράχυνση, κοπή σε μικρά κομματάκια, συμπίεση και/ή στέγνωμα.
- ◆ **Θερμοχημική** μετατροπή για αναβάθμιση του βιοκαυσίμου. Οι διαδικασίες σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνουν πυρόλυση, αεριοποίηση και υγροποίηση.
- ◆ **Βιολογική** μετατροπή. Φυσικές μετατροπές όπως αναερόβια χώνευση και ζύμωση, ενθαρρυνόμενες από την εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών, πάλι οδηγούν σε αέριο ή υγρό καύσιμο.

Το άμεσο "προϊόν" μερικών από αυτών των διαδικασιών είναι θερμότητα (κανονικά χρησιμοποιείται στην θέση ή σε όχι και τόσο μεγάλη απόσταση) για χημική διαδικασία ή περιφερειακή θέρμανση, ή για να παράγει ατμό για παραγωγή ισχύος. Για άλλες διαδικασίες το προϊόν είναι ένα στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο: κάρβουνο, υγρό καύσιμο σαν υποκατάστατο του πετρελαίου ή πρόσθετο, αέριο για πούλημα ή για γέννηση ισχύος χρησιμοποιώντας είτε ατμό είτε αέριο-τουρμπίνες. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε κάθε μία από τις διαδικασίες χωριστά.

4.2 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ

Βράζοντας ένα δοχείο με νερό πάνω από μία ξυλοφωτιά είναι μία απλή διαδικασία. Δυστυχώς, είναι επίσης πολύ ανεπαρκής, όπως μας αποκαλύπτει ένας αρχικός υπολογισμός.

Το ενεργειακό περιεχόμενο ενός κυβικού μέτρου αποξηραμένων ξύλων είναι 10GJ, που είναι 10 εκατομμύρια KJ. Για να ανυψώσουμε τη θερμοκρασία ενός λίτρου νερού κατά 1°C απαιτεί 42 KJ θερμότητας. Για να φέρουμε ένα λίτρο νερού σε βρασμό απαιτούνται μάλλον λιγότερο από 400 KJ , ισοδύναμο με 40 κυβικά εκατοστά ξύλου, ένα μικρό κομμάτι. Πρακτικά με μία απλή ανοιχτή φωτιά θα χρειαστούμε περίπου πενήντα (50) φορές αυτό το ποσό: μία απόδοση μετατροπής όχι καλύτερη από 2%.

Ο σχεδιασμός ενός φούρνου ή βραστήρα που θα κάνει μάλλον καλύτερη χρήση του πολύτιμου καυσίμου απαιτεί κατανόηση της σειράς των διαδικασιών που εμπλέκονται στην καύση ενός στερεού καυσίμου. Το πρώτο είναι η κατανάλωση παρά η παραγωγή ενέργειας: η εξάτμιση του νερού που περιέχει το ίδιο το καύσιμο. Ωστόσο, ένα στεγνό καύσιμο χρησιμοποιεί μόνο λίγο επί τοις εκατό της ολικής ενέργειας.

Στη διαδικασία της καύσης υπάρχουν δύο στάδια, επειδή οποιοδήποτε στερεό καύσιμο περιέχει δύο συνιστώσες που καίγονται. Το πτητικό μέρος ελευθερώνεται σαν ένα μίγμα ατμών ή εξατμιζόμενων πηκτών και ελαίων από το καύσιμο καθώς η θερμοκρασία του ανεβαίνει. Η καύση αυτών παράγει τις μικρές αναπηδήσεις της φωτιάς που βλέπουμε γύρω από καιγόμενο ξύλο ή κάρβουνο. Το στερεό που παραμένει αποτελείται από απανθρακωμένο

κάρβουνο (**char**) μαζί με όποια πρόσμιξη. Το απανθρακωμένο κάρβουνο (**char**) είναι κυρίως άνθρακας και καίγεται για να παράγει CO₂ , ενώ η πρόσμιξη γίνεται παραψημένο τούβλο (**clinker**), τεμάχιο υπόλοιπου καύσης (**slag**), ή τέφρα.

Ένα χαρακτηριστικό των βιοκαυσίμων είναι ότι 3/4 ή περισσότερο από την ενέργειά τους βρίσκεται στο πτητικό μέρος ενώ στο κάρβουνο ανομοίως λιγότερο από το μισό. Είναι σημαντικό επομένως κατά το σχεδιασμό οποιουδήποτε φούρνου, κλίβανου ή λέβητα να βεβαιωνόμαστε ότι αυτοί οι ατμοί καίγονται και δεν εξαφανίζονται απλώς μόνο στη καμινάδα. Για πλήρη καύση ο αέρας πρέπει να φτάνει όλα τα απανθρακωμένα κάρβουνα (**char**), κάτι που επιτυγχάνεται καλύτερα όταν καίγεται το καύσιμο υλικό σε μικρά τμήματα. Αυτό μπορεί να θέσει ένα πρόβλημα, γιατί ένα πολυδιαιρεμένο καύσιμο σημαίνει πολυδιαιρεμένα στοιχεία στάχτης που πρέπει να μετακινηθούν από τις καπνοδόχους των αερίων. Η ροή του αέρα πρέπει επίσης να ελέγχεται: πολύ λίγο οξυγόνο σημαίνει ατελής καύση και οδηγεί στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, που είναι δηλητήριο. Πολύς αέρας είναι άχρηστος γιατί παίρνει μακριά θερμότητα από τις καπνοδόχους των αερίων.

Τα σύγχρονα συστήματα για την καύση βιοκαυσίμων ποικίλουν όσο και τα καύσιμα μόνα τους, διαφέροντας στο μέγεθος από μικρούς φούρνους μαγειρέματος σχεδιασμένους να εξοικονομούν καύσιμο στις χώρες του Τρίτου Κόσμου μέχρι μεγάλους λέβητες με εξόδους θερμότητας μεγατόνων.

Η άμεση καύση είναι βέβαια ένας τρόπος για να εξαχθεί η ενέργεια που περιέχεται στα οικιακά απορρίμματα, αλλά από την άποψη της συλλογής είναι δύσκολα ένα ιδανικό καύσιμο. Τα περιεχόμενά τους ποικίλουν, το περιεχόμενό τους σε υγρασία τείνει να είναι υψηλό (20% ή και περισσότερο) και η ενεργειακή του πυκνότητα είναι χαμηλή, κάθε κυβικό μέτρο περιέχει λιγότερο από 13% της ενέργειας του ίδιου όγκου κάρβουνου. Έτσι είναι ακριβό στη μεταφορά, και η καύση του απαιτεί εργοστάσιο σχεδιασμένο ειδικά για αυτόν τον τύπο καυσίμου.

Ενώ η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων έλαβε έντονη προσοχή σε ένα αριθμό Ευρωπαϊκών χωρών, στην Αγγλία το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε σε μεθόδους μετατροπής των σκουπιδιών σε ένα καύσιμο κατάλληλο για καύση σε μετατρέψιμο εργοστάσιο. Ο όρος "καύσιμο αντλημένο από απορρίμματα"

(**refuse-derived fuel =RDF**) αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων αποτέλεσμα διαχωρισμού από ανεπιθύμητα συστατικά, τεμαχισμού, στεγνώματος και άλλων διεργασιών στο ακατέργαστο υλικό για να βελτιώσουν την καύση τους. Μία σχετικά απλή διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει διαχωρισμό πολύ μεγάλων αντικειμένων, μαγνητική εξαγωγή σιδηρούχων μετάλλων και ίσως πρόχειρο τεμαχισμό. Το προϊόν της πιο ολοκληρωμένης διαδικασίας, γνωστό ως "καύσιμο αντλημένο από απορρίμματα αυξημένης πυκνότητας" (**densified refuse-derived fuel =d-RDF**), είναι το αποτέλεσμα του διαχωρισμού του καύσιμου τμήματος που μετά κονιορτοποιείται, συμπιέζεται και στεγνώνει για να παράγει στερεό καύσιμο σε μπαλίτσες με περίπου 60% της ενεργειακής πυκνότητας του κάρβουνου.

4.3 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

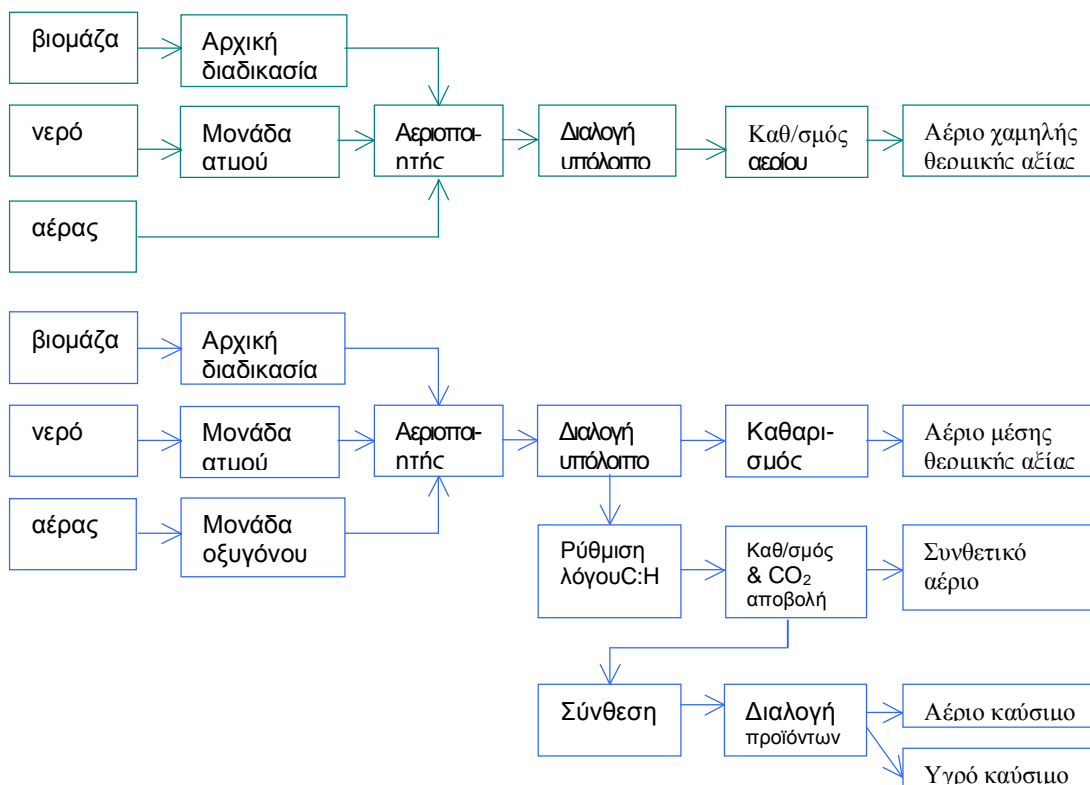
Ο όρος αεριοποίηση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα διαδικασιών όπου ένα στερεό καύσιμο αντιδρά με ζεστό ατμό και αέρα ή οξυγόνο για να παραχθεί ένα αέριο καύσιμο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αεριοποιητών (**gasifiers**), με θερμοκρασίες λειτουργίας που ποικίλουν από λίγες εκατοντάδες μέχρι πάνω από **1.000** βαθμούς Κελσίου, και πιέσεις από κοντά στην ατμοσφαιρική μέχρι τόσο ψηλές όσο 30 atm . Το παραγόμενο αέριο είναι μίγμα του οποίου τα κύρια συστατικά είναι μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μεθάνιο, μαζί με διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο, σε αναλογίες που εξαρτώνται από τις συνθήκες της διαδικασίας και από το αν χρησιμοποιείται αέρας ή οξυγόνο.

Η αεριοποίηση δεν είναι μια καινούργια διαδικασία. Το αέριο της "πόλης", προϊόν της αεριοποίησης του κάρβουνου, χρησιμοποιώταν ευρέως για αρκετές δεκαετίες πριν από την αντικατάστασή του από το φυσικό αέριο, και πολλά οχήματα που ρυμουλκούσαν αεριοποιητές ξύλου για την προμήθεια καυσίμου τους παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου Πολέμου. Υπάρχουν αρκετές αιτίες για την αναγέννηση του ενδιαφέροντος στην αεριοποίηση της βιομάζας στα πρόσφατα χρόνια. Αρχικά, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ένα καύσιμο πολύ καθαρότερο από την αρχική βιομάζα, καθώς ανεπιθύμητα χημικά μολυντικά στοιχεία μπορούν να απομακρυνθούν κατά τη διαδικασία, μαζί με το αδρανές περιεχόμενο που παράγει καπνό με

ξεχωριστά σωματίδια όταν το καύσιμο καίγεται. Δεύτερον, ένα αέριο είναι πιο ευπροσάρμοστο καύσιμο. Η άμεση καύση είναι μία εκδοχή, αλλά το αέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή σε τουρμπίνες αερίου. Τέλος, η αεριοποίηση κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να παράγει συνθετικό αέριο, ένα μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνθεση σχεδόν κάθε υδρογονάνθρακα.

Η πιο απλή διαδικασία καταλήγει σε αέριο μέχρι και 50% κατ' όγκο σε άζωτο και CO₂, και καθώς αυτά δεν έχουν καμία αξία ως καύσιμο, η ενέργειά του μπορεί να είναι μόνο μερικά MJ ανά κυβικό μέτρο - περίπου ένα δέκατο (1/10) αυτής του μεθανίου. Αλλά θα είναι ένα καθαρό καύσιμο, και παρόλο που η μεταφορά μίας τόσο εξασθετισμένης ενέργειας ίσως να μην αξίζει τον κόπο, οι βελτιωμένες ποιότητές του μπορεί να αξίζουν την παραγωγή για χρήση στην αρχική του θέση.

ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1: ΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ



4.4 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Η πυρόλυση είναι η πιο απλή και σχεδόν σίγουρα η παλαιότερη μέθοδος της κατεργασίας ενός καυσίμου ώστε να παραχθεί ένα καλύτερο. Η **συμβατική πυρόλυση** περιλαμβάνει θέρμανση του αρχικού υλικού απουσία αέρος, τυπικά σε **300-500 °C**, μέχρι να εκβάλει το πτητικό περιεχόμενο. Το υπόλοιπο είναι τότε το απανθρακωμένο κάρβουνο -πιο κοινά γνωστό σαν ξυλοκάρβουνο- ένα καύσιμο με διπλάσια περίπου ενεργειακή πυκνότητα από το αρχικό που καίγεται σε πιο υψηλή θερμοκρασία. Για αρκετούς αιώνες, και στον πιο πολύ κόσμο ακόμα και σήμερα, το ξυλοκάρβουνο παράγεται με πυρόλυση του ξύλου. Εξαρτώμενη από την περιεχόμενη υγρασία και την απόδοση της διαδικασίας, 4-10 τόνοι ξύλου απαιτούνται για να παραχθεί ένας τόνος ξυλοκάρβουνου, και εάν καμία προσπάθεια δεν γίνεται για συλλογή του πτητικού υλικού, το ξυλοκάρβουνο αποκτιέται σε ένα κόστος γύρω στα 2/3 του αρχικού ενεργειακού περιεχομένου. Η χρήση ξύλου στις αναπτυσσόμενες χώρες για παραγωγή υψηλής ποιότητας "κάρβουνου ψησίματος" για εξαγωγή αποφέρει πολύτιμο ξένο συνάλλαγμα αλλά δεν είναι ο καλύτερος τρόπος για να μεταχειριζόμαστε ένα φυσικό πλούτο που μειώνεται.

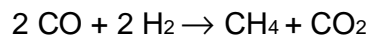
Με πιο εξειδικευμένες τεχνικές πυρόλυσης, οι πτητικές ουσίες μπορούν να συλλεχθούν, ενώ η προσεχτική επιλογή της θερμοκρασίας στην οποία λαμβάνει χώρα η διαδικασία επιτρέπει έλεγχο της σύνθεσής τους. Το υγρό προϊόν έχει αποδοτικότητα ως καύσιμο, αλλά είναι μολυσμένο με οξέα και χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία πριν τη χρήση. **Γρήγορη πυρόλυση** φυτικού υλικού, όπως ξύλο ή κελύφη φιστικιού, σε θερμοκρασίες **800-900 °C** αφήνει μόνο **10%** του υλικού σαν στερεά απανθρακωμένη ουσία και μετατρέπει το **60%** σε ένα αέριο πλούσιο σε υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα. Αυτό κάνει τη γρήγορη πυρόλυση έναν ανταγωνιστή των μεθόδων αεριοποίησης, αλλά ωστόσο δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα σαν μία επεξεργασία της βιομάζας σε εμπορική κλίμακα.

Προς το παρόν, η συμβατική πυρόλυση θεωρείται η πιο ελκυστική τεχνολογία. Οι σχετικώς χαμηλά θερμοκρασίες σημαίνουν ότι εκπέμπονται λιγότερο βλαβερές μολυσματικές ουσίες εν συγκρίσει με την πλήρη καύση, δίνοντας στην πυρόλυση ένα περιβαλλοντικό πλεονέκτημα όσον αφορά

ορισμένα απόβλητα. Υπήρξαν τέλος αρκετές δοκιμές με μικρής κλίμακας μονάδες πυρόλυσης για επεξεργασία αποβλήτων από τη βιομηχανία πλαστικών, όπως επίσης χρησιμοποιήθηκαν και λάστιχα - ένα πρόβλημα διάθεσης με αυξανόμενα επείγουσα ανησυχία.

4.5 ΣΥΝΘΕΤΟΝΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΑ

Ένας αεριοποιητής που χρησιμοποιεί οξυγόνο αντί για αέρα μπορεί να παράγει αέριο αποτελούμενο κυρίως από H₂, CO και CO₂, και το ενδιαφέρον στοιχείο σε αυτό βρίσκεται στο γεγονός ότι με αφαίρεση του CO₂ παίρνουμε το μίγμα που καλείται συνθετικό αέριο (**synthesis gas**), από το οποίο μπορεί να συνθεθεί σχεδόν οποιοσδήποτε μείγμα υδρογονανθράκων. Αντιδρώντας το H₂ με το CO είναι ένας τρόπος για να παραχθεί αγνό μεθάνιο, για παράδειγμα:



Ένα άλλο πιθανό προϊόν είναι η μεθανόλη (CH₃OH), ένας υγρός υδρογονάνθρακας με ενεργειακή πυκνότητα 23 GJ ανά τόνο. Η παραγωγή μεθανόλης με αυτό τον τρόπο εμπεριέχει μια σειρά εξειδικευμένων χημικών διαδικασιών με υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις και ακριβή εργοστασιακή μονάδα, για αυτό τίθεται η ερώτηση αν αξίζει. Η απάντηση βρίσκεται στο ίδιο το προϊόν: η μεθανόλη είναι πολύτιμο αγαθό, ένα υγρό καύσιμο άμεσο υποκατάστατο της βενζίνης. Προς το παρόν η παραγωγή μεθανόλης χρησιμοποιώντας συνθετικό αέριο από βιομάζα δεν αποτελεί εμπορική πρόταση, αλλά η τεχνολογία υπάρχει ήδη, αφού έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας κάρβουνο ως πρώτη ύλη από τις πλούσιες χώρες σε περιόδους όπου οι προμήθειες πετρελαίου τους απειλούνταν.

4.6 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η αναερόβια χώνευση, όπως προτείνει και το όνομά της, λαμβάνει χώρα απουσία αέρος. Σε αυτήν την περίπτωση η αποσύνθεση προκαλείται από βακτηριακή δράση και όχι από υψηλές θερμοκρασίες. Είναι μία διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε σχεδόν κάθε βιολογικό υλικό, αλλά

ωφελείται από θερμές, υγρές και αναερόβιες συνθήκες. Συμβαίνει φυσικά στην αποσύνθεση βλάστησης στο βυθό των λιμνών, παράγοντας μεθάνιο (**marsh gas**) που βγαίνει σε φυσαλίδες στην επιφάνεια και μπορεί να πιάσει φωτιά.

Η αναερόβια χώνευση συμβαίνει και σε καταστάσεις δημιουργημένες από ανθρώπινες δραστηριότητες, και σε δύο μεγάλες περιπτώσεις αυτές αναπτύχθηκαν ως ενεργειακές πηγές. Μία είναι το **βιοαέριο (biogas)** που παράγεται σε συγκεντρώσεις βοθρολυμάτων ή ζωικής κοπριάς, και η άλλη το **αέριο επιχωματωμένων σκουπιδιών (landfill gas)** που παράγεται από οικιακά σκουπίδια θαμμένα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Και στις δύο περιπτώσεις το παραγόμενο αέριο είναι ένα μίγμα αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Όμως, μεγάλες διαφορές στη φύση του εισαγομένου υλικού, την κλίμακα του εργοστασίου και τη χρονική κλίμακα για παραγωγή αερίου οδηγούν σε πολύ διαφορετικές τεχνολογίες για διαπραγμάτευση των δύο πόρων.

Η λεπτομερής χημική διαδικασία της παραγωγής του βιοαερίου και του landfill αερίου είναι περίπλοκη, αλλά φαίνεται ότι ένας μικτός πληθυσμός βακτηρίων διασπά το οργανικό υλικό σε σάκχαρα και μετά σε ποικίλα οξέα που αποσυνθέτονται για να παράγουν το τελικό αέριο, αφήνοντας ένα αδρανές υπόλειμμα του οποίου η σύνθεση εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος και την αρχική πηγή τροφοδοσίας.

4.7 ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Η ζωική κοπριά ή τα βοθρολύματα που αποτελούν την πηγή τροφοδοσίας για παραγωγή βιοαερίου τοποθετείται σε ένα ειδικά χτισμένο **χωνευτήρα (digester)** σαν διάλυμα πυλού με μέχρι και 95% νερό. Το μέγεθος των χωνευτήρων κυμαίνεται ίσως από ένα κυβικό μέτρο για μία μικρή μονάδα ενός νοικοκυριού μέχρι και μερικές δεκάδες φορές αυτό για μία τυπική μονάδα μίας φάρμας, αλλά και τόσο πολύ όσο **2.000 m³** για μία εμπορική εγκατάσταση. Η εισαγωγή υλικού μπορεί να είναι συνεχής ή σε παρτίδες, ενώ η χώνευση αφήνεται να συνεχιστεί για μία περίοδο δέκα ημερών έως λίγων εβδομάδων. Η βακτηριδιακή δράση από μόνη της παράγει θερμότητα, αλλά

στα ψυχρά κλίματα κανονικά απαιτείται πρόσθετη θερμότητα για να διατηρηθεί η ιδανική θερμοκρασία της διαδικασίας σε τουλάχιστον 35 °C, και αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται από το βιοαέριο. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις όλο το παραγόμενο αέριο ίσως χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό, αλλά παρόλο που το ενεργειακό δίκτυο στην έξοδο είναι τότε μηδέν, το εργοστάσιο επεξεργασίας ίσως πληρώνει για τον εαυτό του μέσω της εξοικονόμησης συμβατικού καυσίμου που θα ήταν απαραίτητο για να συνεχιστεί η διαδικασία επεξεργασίας των αποβλήτων.

Ένας καλά διαχειριζόμενος χωνευτήρας θα παράγει 200-400 m³ βιοαερίου με περιεκτικότητα σε μεθάνιο από 50% έως 75% για κάθε ξηρό τόνο υλικού που εισάγεται, στην καλύτερη περίπτωση 11 GJ χρήσιμης ενέργειας. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί περίπου στα 2/3 της ενέργειας της αρχικής κοπριάς και πιθανώς εκπροσωπεί το βέλτιστο που μπορεί να επιτευχθεί. Ωστόσο, ακόμα και με μικρότερη απόδοση μετατροπής, η διαδικασία ίσως αξίζει γιατί αποκτιέται ένα καθαρό καύσιμο και συγχρόνως λύνεται το πρόβλημα διάθεσης ανεπιθύμητων αποβλήτων. Το εκρέον υλικό που παραμένει μετά την ολοκλήρωση της χώνευσης μπορεί επίσης να είναι αξιοσημείωτης σημασίας σαν λίπασμα.

~

Εικόνα 4.1: Χωνευτήρας βιοαερίου φάρμας.

4.8 ΑΕΡΙΟ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Ένα μεγάλο μέρος των συνηθισμένων οικιακών απορριμμάτων, "**δημοτικά στερεά απόβλητα**" (municipal solid wastes), είναι βιολογικό υλικό, και η διάθεσή τους σε βαθείς χώρους υγειονομικής ταφής προσφέρει κατάλληλες συνθήκες για αναερόβια χώνευση. Ότι οι χώροι υγειονομικής ταφής παράγουν μεθάνιο ήταν γνωστό για δεκαετίες, και η αναγνώριση της αποδοτικότητας αυτής της πηγής κινδύνου οδήγησε στην προσαρμογή των συστημάτων για την καύση του. Ωστόσο, ήταν τη δεκαετία του 1970 που δόθηκε σοβαρή προσοχή στην ιδέα του να χρησιμοποιήσουν αυτό το "ανεπιθύμητο" προϊόν.

Το άχρηστο υλικό είναι πιο ετερογενές σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής από ότι σε ένα χωνευτήρα βιοαερίου, καθώς και οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, έτσι η διαδικασία είναι σημαντικά πιο αργή, λαμβάνοντας χώρα για χρόνια αντί για εβδομάδες. Το τελικό προϊόν, γνωστό σαν αέριο επιχωματωμένων απορριμμάτων (**landfill gas**), είναι πάλι ένα μίγμα αποτελούμενο κυρίως από CH_4 και CO_2 . Θεωρητικά, η διαβίωση απόδοση ενός καλού μέρους πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 150-300 m^3 αερίου ανά τόνο απορριμμάτων (όπως συλλέγονται), με 50% έως 60% κατ' όγκο μεθάνιο. Αυτό προτείνει συνολική ενέργεια 5-6 GJ ανά τόνο αποβλήτων, αλλά στην πράξη οι αποδόσεις είναι αρκετά μικρότερες.

Αναπτύσσοντας ένα τέτοιο χώρο, κάθε επίπεδο καλύπτεται με ένα στρώμα αδιαπέραστου πυλού ή παρόμοιου υλικού αφού έχει γεμιστεί, δημιουργώντας ένα περιβάλλον που ενθαρρύνει την αναερόβια χώνευση. Το αέριο συλλέγεται μέσω μίας παράταξης αλληλοσυνδεδεμένων διάτρητων σωλήνων θαμμένων σε βάθη μέχρι και 20 μέτρων μέσα στα απορρίμματα. Σε καινούριους χώρους υγειονομικής ταφής αυτό το σύστημα των σωλήνων κατασκευάζεται πριν τοποθετηθούν μέσα τα σκουπίδια, και μέσα σε ένα καλά εγκατεστημένο χώρο ταφής μπορούν να υπάρξουν αρκετά μίλια σωλήνων με την ποσότητα του αντλούμενου αερίου να φτάνει μέχρι και 1.000 m^3 την ώρα.

Το αέριο από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων χρησιμοποιείται σε γεννήτριες ισχύος με αυξανόμενο ρυθμό. Προς το παρόν οι περισσότερες βιομηχανικές μονάδες βασίζονται σε μεγάλες μηχανές

εσωτερικής καύσης, όπως οι μηχανές πλοίων. Χρησιμοποιώντας μηχανές 500 kW, ταιριάζουν με τυπικούς ρυθμούς προμήθειας αερίου της τάξης των 10 GJ ανά ώρα, αλλά βεβαίως οι σύγχρονες τουρμπίνες αερίου δίνουν καλύτερες αποδόσεις.

Διάγραμμα 4.2: Η αλλαγή της σύνθεσης του αερίου σε ένα χώρο επιχωμάτωσης απορριμμάτων.

Εικόνα 4.2: Δίκτυο σωληνώσεων εξαγωγής landfill gas.

4.9 ΖΥΜΩΣΗ

Σκεφτόμενοι τη χρήση του συνθετικού αερίου, είδαμε πως μία αλκοόλη (μεθανόλη) μπορεί να παραχθεί από βιομάζα με μία σειρά εξειδικευμένων χημικών διαδικασιών. Υπάρχουν φυσικά και άλλοι τρόποι για να παραχθούν αλκοόλες από βιομάζα, όπως η οينوποίηση και η μαγιά που είναι γνωστοί εδώ και αιώνες. Η ζύμωση είναι μία **αναερόβια βιολογική** διαδικασία κατά την οποία σάκχαρα μετατρέπονται σε αλκοόλη με τη δράση μικροοργανισμών, συνήθως μαγιά. Η παραγόμενη αλκοόλη είναι αιθανόλη (C_2H_5OH) παρά μεθανόλη (CH_3OH), αλλά και αυτή επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης, είτε άμεσα σε κατάλληλα τροποποιημένες μηχανές ή σαν μία επαυξάνουσα ουσία της βενζίνης στο **gasohol**: βενζίνη που περιέχει μέχρι και 20% αιθανόλη.

Η αξία οποιουδήποτε συγκεκριμένου είδους βιομάζας σαν πηγή τροφοδοσίας για τη διαδικασία της ζύμωσης εξαρτάται από την ευκολία με την οποία αυτό μπορεί να μετατραπεί σε σάκχαρο. Η πιο γνωστή πηγή της αιθανόλης είναι το σακχαροκάλαμο και πιο συγκεκριμένα αυτό που παραμένει αφού εξαχθεί ο χυμός του καλαμιού που καλείται μολάσσεσ (**molasses**). Τα φυτά που έχουν ως βασικό υδρογονάνθρακα το άμυλο (πατάτες, καλαμπόκι και άλλα δημητριακά) απαιτούν κάποια διαδικασία για να μετατραπεί το άμυλο σε σάκχαρο. Αυτό συνήθως γίνεται από ένζυμα σε βύνη, όπως στην παραγωγή μερικών αλκοολούχων ποτών. Ακόμα και το ξύλο μπορεί να δράσει σαν πηγή τροφοδοσίας, αλλά οι υδρογονάνθρακες του, η κυτταρίνη, αντιστέκεται στη διάσπασή της σε σάκχαρο από οξύ ή ένζυμα (ακόμα και σε τελικές διαιρεμένες μορφές όπως το πριονίδι), προσθέτοντας επιπλέον περιπλοκή στην όλη διαδικασία.

Το υγρό που παράγεται από τη ζύμωση περιέχει περίπου 10% αιθανόλη μόνο, η οποία πρέπει να αποστακτεί πριν τη χρήση της ως καύσιμο. Το ενεργειακό περιεχόμενο του τελικού προϊόντος είναι περίπου 30 GJ/t, ή 24GJ/m³. Η όλη διαδικασία απαιτεί ένα αξιοσημείωτο ποσό θερμότητας, που συνήθως προμηθεύεται από υπολείμματα σοδειών (π.χ. κοτσάνια και κώνοι καλαμποκιού ή baggase σακχαροκάλαμου). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αποδόσεις αποκτούμενης αλκοόλης ανά τόνο ακατέργαστου υλικού και ανά

εκτάριο (1.000 στρέμματα) γης για διάφορες σοδειές. Η χαμένη ενέργεια στη ζύμωση είναι σημαντική, αλλά αυτό ίσως αντισταθμίζεται από την ευκολία και μεταφερισιμότητα του υγρού καυσίμου, καθώς και από το συγκριτικά χαμηλό κόστος και την οικειότητα της τεχνολογίας.

ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟ ΥΛΙΚΟ	ΛΙΤΡΑ ΑΝΑ ΤΟΝΟ	ΛΙΤΡΑ ΑΝΑ ΕΚΤΑΡΙΟ ΕΤΗΣΙΩΣ
Σακχαροκάλαμο (μίσχοι μετά την συγκομιδή)	70	400-12000
Καλαμπόκι	360	250-2000
Cassava (ρίζες)	180	500-4000
Γλυκοπατάτες (ρίζες)	120	1000-4500
Ξύλο	160	160-4000

Πίνακας 4.1: Αποδόσεις αποκτούμενης αλκοόλης ανά τόνο ακατέργαστου υλικού και ανά εκτάριο γης για διάφορες σοδειές.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ

1. Οι τιμές λίτρων ανά τόνο εξαρτώνται από την αναλογία του ακατέργαστου υλικού που μπορεί να ζυμωθεί.
2. Το εύρος των ετήσιων αποδόσεων αντιπροσωπεύει τις διαφορετικές αποδόσεις παγκοσμίως.
3. Η μεγαλύτερη απόδοση αντιπροσωπεύει το θεωρητικό μέγιστο.

5. ΑΓΡΟΤΙΚΑ - ΔΑΣΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ

5.1 ΑΓΡΟΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ

Υπολείμματα καλλιεργειών και ζώων εφοδιάζουν πολλές χώρες με σημαντικά ποσά ενέργειας, καταλαμβάνοντας τη δεύτερη θέση μόνο ως προς το ξύλο που είναι το επικρατέστερο καύσιμο βιομάζας σε όλο τον κόσμο. Για παράδειγμα εκτιμήθηκε ότι **110 Mt** ($1\text{Mt}=10^6\text{t}$) ζωικής κόπρου και υπολοίπων καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκαν σαν καύσιμο στην Ινδία το 1985 σε σύγκριση με **133 Mt** ξύλου, και στην Κίνα η μάζα των διαθέσιμων αγροτικών υπολοίπων εκτιμήθηκε σε **2.2** φορές τη μάζα του καύσιμου ξύλου. Στην Αγγλία και όπου αλλού στην Ευρώπη ισχύουν περιορισμοί στην ανοιχτή καύση του άχυρου στα χωράφια, τονίστηκε η σπουδαιότητα των υπολειμμάτων καλλιέργειας και η ωφέλεια για να τα χρησιμοποιούμε καθαρά και αποδοτικά. Η Βρετανία μόνη της παράγει γύρω στους **20 Mt** αγροτικών και δασικών υπολοίπων κάθε χρόνο, παρόλο που μόνο ένα μέρος από αυτά είναι οικονομικά ανακτήσιμα.

5.2 ΔΑΣΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ

Εργασίες όπως η αραίωση των φυτειών και ο τεμαχισμός και η απομάκρυνση πεσμένων δέντρων δημιουργούν μεγάλους όγκους **δασικών υπολοίπων**. Προς το παρόν αυτά συχνά αφήνονται να παραμένουν στην δασική περιοχή ακόμα και σε χώρες που παρουσιάζεται έλλειψη ξύλου. Αυτά μπορούν να συλλεχθούν, να στεγνωθούν και να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμο από παρακείμενες αγροτικές βιομηχανίες και οικιακούς καταναλωτές, αλλά ο όγκος τους και το υψηλό περιεχόμενο σε νερό κάνουν τη μεταφορά τους για πιο ευρεία χρήση αντιοικονομική. Στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου το ξυλοκάρβουνο είναι ένα σημαντικό καύσιμο, επιτόπια καμίνια μπορούν να μειώσουν τα κόστη μεταφοράς. Μηχανικοί θεριστήρες και θρυμματιστήρες αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική πριν από δύο δεκαετίες για να παράγουν φορμαρισμένα πελεκούδια ξύλου 30-40 mm που μπορούν να στεγνωθούν και να καούν εύκολα σε ατμολέβητες που καίουν πελεκούδια.

Η χρήση των δασικών υπολοίπων για παραγωγή ατμού για θέρμανση και/ή γέννηση ισχύος αναπτύσσεται συνεχώς σε πολλές χώρες. Αμερικάνικες

επιχειρήσεις δημόσιας ωφέλειας ηλεκτρισμού έχουν πάνω από 9 GW βιομηχανικών μονάδων σε παραγωγή που λειτουργούν καίγοντας βιομάζα, οι περισσότερες εκ των οποίων κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1980. Η Αυστρία έχει πάνω από **1250 MW** θερμαντική ικανότητα από φωτιές ξύλου με τη μορφή οικιακών φούρνων και επαρχιακής βιομηχανικής εγκατάστασης θέρμανσης, που καίνε άχρηστα ξύλα, φλοιό και πελεκούδια ξύλου. Τα περισσότερα από αυτά τα επαρχιακά συστήματα θέρμανσης είναι ικανότητας των **1-2 MW**, με λίγες μεγαλύτερες μονάδες (**15 MW**) και ένα αριθμό μικρής κλίμακας συστημάτων κεντρικής θέρμανσης (**CHP**).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο παράγονται περίπου **2.3 Mt** αερό-στεγνής μάζας δασικών υπολειμμάτων ετησίως, αντιπροσωπεύοντας περίπου 40 PJ ($1\text{PJ}=10^{15}\text{J}$) ενέργειας. Προς το παρόν αυτή τροφοδοτεί μία μέτρια αγορά καύσιμου ξύλου μόνο **0,25 Mt** ανά έτος, αλλά εκτιμάται ότι επιπλέον ένα 25% του συνολικού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προμηθεύσει μισή ντουζίνα σταθμούς ισχύος με ολική δυνατότητα **50 MW**. Το ευπρόσιτο κέρδος για το έτος 2005, για ηλεκτρισμό παραγόμενο το λιγότερο από 10 pκWh/h (10×10^{-12} pκWh/h), εκτιμήθηκε γύρω στα 14 PJ, ή απλά κάτω των 4 TWh (4×10^{12} Wh). Ωστόσο η απόμακρη τοποθεσία αρκετών δασών κάνουν απίθανο το ότι πάνω από το 1/3 αυτού μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο. Τελικά, η επένδυση που απαιτείται για νέο θεριστικό και διαδικαστικό εξοπλισμό σημαίνει ότι το αγαθό είναι πιθανόν να γίνει οικονομικά πολύτιμο μόνο όταν μία αγορά για το ξύλο είναι πλήρως οργανωμένη.

Η επεξεργασία της ξυλείας (timber processing) είναι μία περαιτέρω πηγή υπολειμμάτων ξύλου. Στεγνό πριονίδι και κομματάκια παραγόμενα κατά την διαδικασία της κοπής της ξυλείας αποτελούν πολύ καλό καύσιμο υλικό. Η Βρετανική βιομηχανία επίπλων εκτιμάται ότι χρησιμοποιεί 35.000 τόνους τέτοιων υπολοίπων το χρόνο, ένα τρίτο της παραγωγής, εξασφαλίζοντας 0,5 PJ θέρμανσης χώρου και νερού καθώς και θερμότητα επεξεργασίας. Στη Σουηδία, όπου η βιομάζα ήδη εξασφάλιζε σχεδόν 15% της αρχικής ενέργειας (στα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας), τα δασικά υπολείμματα και βιομηχανίες ξύλου συνεισφέρουν πάνω από 200 PJ ετησίως, κυρίως για καύσιμη ύλη σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις θέρμανσης (**CHP**).

5.3 ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Κάθε χρόνο, 14 εκατομμύρια τόνοι άχυρου παράγονται μόνο στην Αγγλία, μισό από το οποίο είναι πλεόνασμα αφού δεν χρειάζεται. Μέχρι προσφάτως, αυτό καιγόταν στα χωράφια ή οργώνονταν πίσω στο έδαφος, αλλά η περιβαλλοντική νομοθεσία απαγόρευσε την καύση στα χωράφια από το τέλος του 1992 και έτσι οδήγησε την προσοχή στην ωφελιμότητα του σαν ενεργειακό αγαθό, ισοδύναμο με 100 PJ το χρόνο, ή 1% της αρχικής χρήσης ενέργειας της χώρας, ένα σχέδιο που μπορεί να φτάσει σε 300 PJ εάν όλα τα άλλα αγροτικά υπολείμματα ληφθούν υπόψη. Η αγορά της Αγγλίας γύρω από τα συστήματα καύσης άχυρου για οικιακή, φυτοκομική και αγροτική βιομηχανική θέρμανση χώρου άργησε να αναπτυχθεί την προηγούμενη δεκαετία εξαιτίας του ανταγωνισμού με το πετρέλαιο, που παρέμενε ως ένα βολικό και σχετικά φτηνό εναλλακτικό καύσιμο. Παρόλα αυτά, περίπου 200.000 τόνοι άχυρου χρησιμοποιούνταν ετησίως με αυτό τον τρόπο στην Βρετανία το 1994, ενώ προβλεπόταν να αυξηθεί σε 800.000 τόνους μέχρι το 2000. Άλλες Ευρωπαϊκές χώρες έχουν μεγαλύτερη εμπειρία πάνω στην καύση του άχυρου, όπως για παράδειγμα η Δανία που το 1994 είχε ήδη εγκαταστήσει 54 μονάδες επαρχιακής θέρμανσης καίγοντας άχυρο σε αγροτικές περιοχές, με απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ των **3-5 MW**.

Άλλα υπόλοιπα καλλιιεργειών που αναπτύσσονται στη Βρετανία κάθε χρόνο συμπεριλαμβάνουν περίπου **1.6 Mt** (ζυγισμένα φρέσκα, περιλαμβάνοντας 60-80% περιεχόμενο υγρασίας) υπόλοιπα πατάτας και άνθη τεύτλου ζάχαρης, και **5 Mt** φυτώρια και υπολείμματα κήπων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση στο σύνολό της παράγει **8.5 Mt** (ζυγισμένα φρέσκα) πατάτας που απορρίπτεται ετησίως, και **2.3 Mt** κατεστραμμένων φρούτων, όπως επίσης και "περισσεύματα" άλλων φαγώσιμων εμπορεύσιμων αγαθών υπολογισμένα σε 10 εκατομμύρια τόνους. Αυτά τα "υγρά" απόβλητα μπορεί να είναι πιο κατάλληλα για ζύμωση ή αναερόβια χώνευση παρά για άμεση καύση, αλλά αυτά τα περισσεύματα, ή η γη όπου αυτά μεγαλώνουν, είναι δυνητικά διαθέσιμα για καύσιμο βιομάζας.

Παρακάτω φαίνεται το σύστημα καύσης άχυρου στο Woburn Abbey στο Bedfordshire στο Ηνωμένο Βασίλειο.

~

Διάγραμμα 5.1: Το σύστημα διανομής της θερμότητας του Woburn Abbey.

~

Διάγραμμα 5.2: Οι μπάλες του άχυρου μπαίνουν στον τεμαχιστήρα.

Το Woburn Abbey, ένα αβαείο με εξοχική ιδιοκτησία στο Bedfordshire στην Αγγλία, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 χρησιμοποιεί για τη θέρμανση του χώρου και τις ανάγκες ζεστού οικιακού νερού τα περισσεύματα άχυρου των δικών του και των γειτονικών κτημάτων.

Οι μεγάλες μπάλες από άχυρο τοποθετούνται σε μία μεταφορική ταινία που τις μεταφέρει σε ένα τεμαχιστήρα (Διάγραμμα 5.2), ο οποίος ξαίνει τις μπάλες και κόβει το άχυρο σε **5-15** cm μήκος, πριν αυτό τροφοδοτηθεί αυτόματα στο λέβητα. Η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με ζεστό νερό υπό πίεση μέσω υπόγειων σωλήνων και μεταβιβάζεται από εναλλάκτες θερμότητας στο σύστημα θέρμανσης κάθε κτηρίου (Διάγραμμα 5.1). Το σύστημα, που έχει μέγιστη θερμαντική ικανότητα **800 kW**, αντικαθιστά τους προηγούμενους λέβητες πετρελαίου, εξοικονομώντας πάνω από 20.000 λίρες ετησίως από το κόστος του καυσίμου και με χρόνο αποπληρωμής επτά (7) έτη για το συνολικό του κεφαλαιοποιημένο κόστος των 146.000 λιρών.

5.4 ΖΩΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Ο συνδυασμός της εντατικής ανατροφής των ζώων και αυστηρότερων περιβαλλοντικών ελέγχων για την οσμή και τη μόλυνση του νερού από λιπάσματα οδηγεί τους αγρότες να επενδύσουν στην **αναερόβια χώνευση** σαν ένα μέσο διαχείρισης αποβλήτων. Το βιοαέριο που παράγεται από ένα χωνευτήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί θερμότητα ή ηλεκτρική ισχύς όπως απαιτείται, ή σε πολλές περιπτώσεις και τα δύο. Ένα σύστημα χρησιμοποιεί το αέριο για να λειτουργήσουν μεγάλες μηχανές εσωτερικής καύσης που οδηγούν ηλεκτρικές γεννήτριες, ενώ το νερό ψύξης και τα εξερχόμενα αέρια (της καύσης) χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν θερμότητα στον χωνευτήρα.

Στην Εικόνα 5.1 φαίνεται μία μονάδα παραγωγής ισχύος από αναερόβια χώνευση κοπριάς χοίρων. Αυτή η εγκατάσταση έχει έκταση 750 m³ και βρίσκεται στο Piddlehinton του Dorset. Ήταν μία από τα σχέδια που αποδέχτηκαν στον πρώτο γύρο του **NFFO** ("Non-Fossil Fuel Obligation"-οργανισμός παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση βιομάζας) το 1990. Μπορεί να διαχειριστεί πάνω από 20.000 γαλόνια κοπριάς ημερησίως, και οι γεννήτριες

που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το παραγόμενο βιοαέριο τροφοδοτούν με 750.000 kWh ηλεκτρισμό το χρόνο στο Εθνικό Δίκτυο.

..

~

Εικόνα 5.1: Ισχύς από αναερόβιο χωνευτήρα κοπριάς χοίρων.

Κοπριές από βοοειδή, κοτόπουλα και χοίρους είναι τα πιο κοινά υγρά απόβλητα στην Ευρώπη, ειδικά στην Ολλανδία και στη Δανία, όπου υπάρχει ανεπαρκής γη διαθέσιμη για την μετάθεση της κοπριάς των χοίρων. Στην Αγγλία παράγονται ετησίως περίπου 7 Mt ζωικών αποβλήτων με ενεργειακό περιεχόμενο 110 PJ. Παρόλο που μόνο ένα τμήμα αυτής της πηγής μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμο βάσει του ενεργειακού του περιεχομένου, το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί σαν ένα πολύτιμο υπό-προϊόν της διαχείρισης των αποβλήτων με αναερόβια χώνευση.

Ακάθαρτη λάσπη διαχειριζόταν με αναερόβια χώνευση στην Αγγλία από τότε που οι πρώτες μεγάλες "φάρμες αποβλήτων" χτίστηκαν στην αρχή του προηγούμενου αιώνα, αλλά πολύ από το βιοαέριο απλά φλεγόταν στις δεκαετίες του 1950 και 1960. Πιο πρόσφατα, με το 70% του συνόλου των αποβλήτων να διαχειρίζεται, μία αυξανόμενη μερίδα του βιοαερίου χρησιμοποιήθηκε για ηλεκτρισμό και παραγωγή θερμότητας επί τόπου. Μέχρι τα μέσα του 1994, 26 μονάδες με συνολική ικανότητα παραγωγής των 33 MW ήταν σε λειτουργία με το NFFO σχέδιο.

Μικρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις βιοαερίου για ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα χρησιμοποιούνται διάσπαρτα στην Κίνα και στην Ινδία, όπου μία ποικιλία από χαμηλού κόστους σχέδια προάχθηκαν από κυβερνητικές και μη κυβερνητικές εταιρείες. Η γρήγορη εξάπλωση του κινεζικού προγράμματος βιοαερίου στις δεκαετίες 1960 και 1970 είχε ως αποτέλεσμα περισσότερους από 7 εκατομμύρια χωνευτήρες, αλλά περίπου οι μισοί από αυτούς αργότερα κατέληξαν σε αχρηστία οφειλόμενες σε ποικίλες δυσκολίες όπως φτωχή κατασκευή και συντήρηση, καθώς και έλλειψη τοπικής ανάμιξης. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις βιοαερίου τώρα γίνονται πάλι πιο κοινές ειδικά στα νότια και δυτικά της Κίνας. Ωστόσο, σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες το πρωτεύον κόστος ενός χωνευτήρα είναι απλησίαστο για τον τυπικό αγρότη, και οι προσπάθειες για εισαγωγή κοινοτικών βιομηχανικών εγκαταστάσεων βιοαερίου αντιμετωπίστηκαν ποικιλοτρόπως, οφειλόμενες κυρίως σε δυσκολίες με την ισορροπία της ιδιοκτησίας των ζωικών αποβλήτων έναντι της πίστωσης με τη μορφή της κατανάλωσης βιοαερίου. Σαν αποτέλεσμα, αρκετές από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ινδία επικεντρώθηκαν σε φάρμες με μεγάλο αριθμό βοοειδών.

Μία άλλη επιλογή για εξαγωγή ενέργειας από ζωικά απόβλητα, εάν το περιεχόμενο σε νερό είναι αρκετά χαμηλό, είναι η **άμεση καύση**. Η κοπριά των πουλερικών, μία σχετικά ξηρή μορφή αποβλήτων, είναι η ενεργειακή πηγή για μία βιομηχανική εγκατάσταση ισχύος 12,5 MW στο Eye του Suffolk στο Ηνωμένο Βασίλειο από το 1992. Δηλώθηκε ότι "**ένα κοτόπουλο ισοδυναμεί με ένα watt**", και οι φάρμες πουλερικών που το περιστοιχίζουν εξασφαλίζουν 180.000 τόνους αποβλήτων το χρόνο σαν καύσιμο, περίπου το 1/10 της ολικής παραγωγής της χώρας.

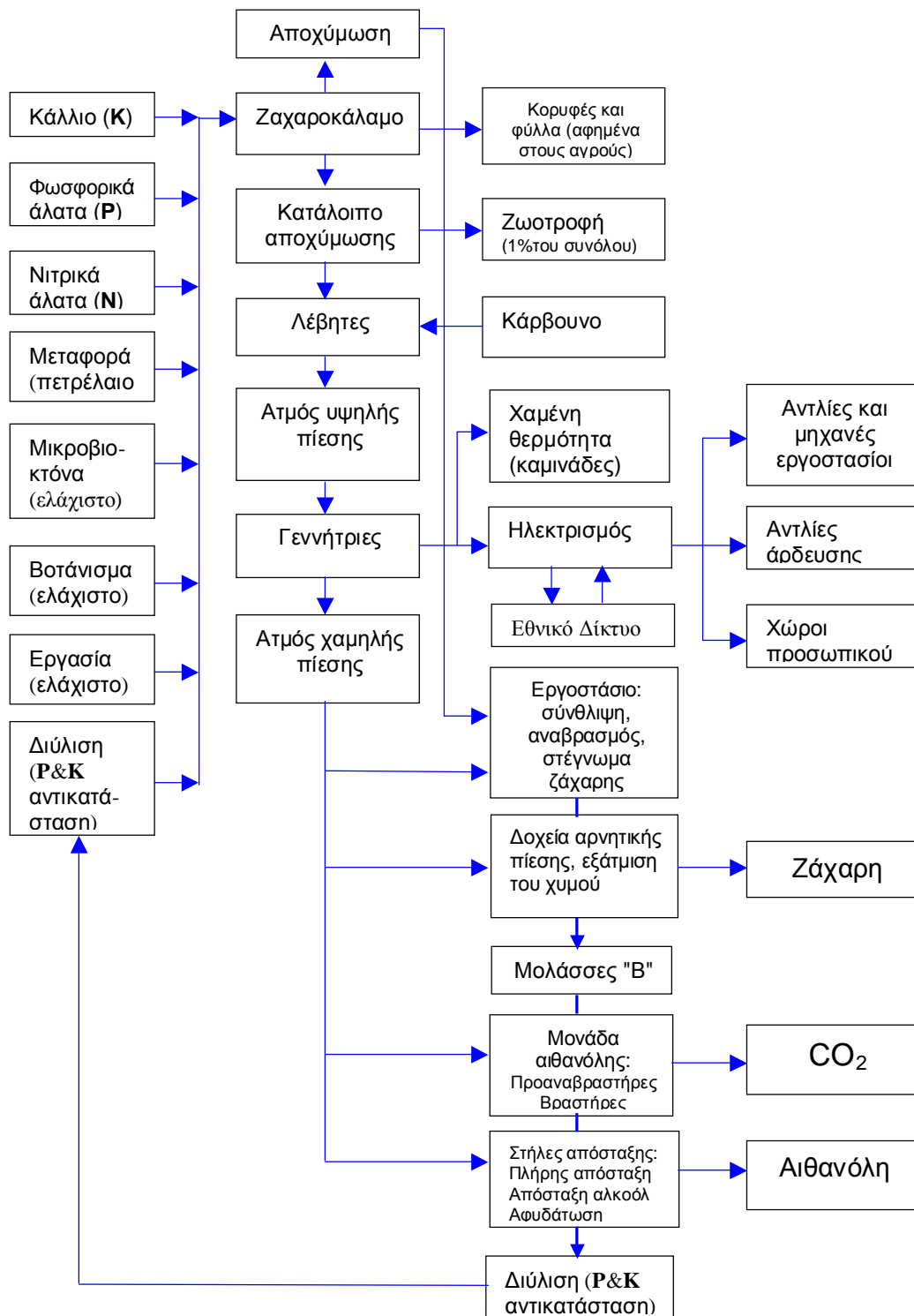
5.5 ΚΑΤΑΛΟΙΠΑ ΤΡΟΠΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Το κατάλοιπο αποχύμωσης - **ίνα ζαχαροκάλαμου (bagasse)** έχει σπουδαία ωφελιμότητα ως καύσιμο βιομάζας αφού αυτό βρίσκεται κυρίως σε εργοστάσια ζαχάρως όπου οι ροές των υλικών και της ενέργειας είναι ήδη καλά οργανωμένα (Διάγραμμα 5.3). Τα περισσότερα εργοστάσια ζάχαρης χρησιμοποιούν το αποχυμωμένο ζαχαροκάλαμο σαν πηγή θερμότητας για την

ανύψωση ατμού, αλλά σκόπιμα το καίνε αναποτελεσματικά έτσι ώστε να μην συσσωρεύονται περισσευούμενα απόβλητα. Πολλά εργοστάσια ζάχαρης επίσης παράγουν ηλεκτρισμό για τις δικές τους ανάγκες, αλλά μόνο λίγα προς το παρόν εξάγουν ηλεκτρισμό εξαιτίας λειτουργικών και συμβατικών δυσκολιών με την πώληση ισχύος μόνο κατά την περίοδο της εποχής της ανάπτυξης του καλαμιού. Μελέτες που διεξάχθηκαν στη Βραζιλία, στην Ταϊλάνδη, στην Τζαμάικα και στη Ζιμπάμπουε δείχνουν ότι η βελτιστοποίηση της καύσης του αποχυμωμένου ζαχαροκάλαμου για ενέργεια, και η χρησιμοποίηση του σκυβάλου του καλαμιού ("**barbojo**"), δηλαδή των κορυφών του καλαμιού και των φύλλων του, θα μπορούσαν να αποφέρουν σημαντικά ποσά ηλεκτρισμού και θερμότητας. Εάν η αυξανόμενη ανάγκη των υλικών βιομάζας συνδυαζόταν με βελτιωμένη ικανότητα μετατροπής σε ηλεκτρισμό, θα μπορούσε να εγκατασταθεί μία μονάδα μέχρι και 50 GW παραγωγικής δυνατότητας σε συνδυασμό με τη βιομηχανία ζαχάρως παγκοσμίως.

Οι φλούδες ρυζιού βρίσκονται ανάμεσα στα πιο κοινά αγροτικά υπόλοιπα στον κόσμο, αντιστοιχώντας σε περίπου το 1/5 του βάρους του μη αλεσμένου στεγνού ρυζιού. Η Ινδονησία για παράδειγμα παράγαγε 6.5 Mt φλούδες σιτηρών το 1986. Παρόλο που έχουν υψηλό περιεχόμενο σε διοξείδιο του πυριτίου (στάχτη) συγκρινόμενα με άλλα καύσιμα βιομάζας, η μορφή της βασικής δομής των φλουδών του ρυζιού τις οδηγεί σε τεχνολογίες όπως η αεριοποίηση. Αεριοποιητές φλούδας ρυζιού λειτούργησαν επιτυχώς στην Ινδονησία, την Κίνα και το Μάλι.

Σε πολλές χώρες, η βιομηχανία της επεξεργασίας της **καρύδας** οδηγεί σε μεγάλες ποσότητες ακατέργαστων και κατεργασμένων αχρήστων. Η αεριοποίηση της ίνας της καρύδας δοκιμάστηκε στην Ταϊλάνδη με περιορισμένη επιτυχία που οφείλεται στην πολύ χαμηλή πυκνότητα του υλικού του υποστρώματος. Εξαιρετικά διαιρεμένη ίνα καρύδας ("**coir dust**" = σκληρή σκόνη) είναι πιο πολλά υποσχόμενη σαν βιοκαύσιμο, παρόλο που εναλλακτικές αγορές για αυτό βρέθηκαν στη Σρι Λάνκα μέσω της παραγωγής "**cocopeat**" (φοινικο-ποάνθρακα).



Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα ροής των υλικών και της ενέργειας στην επεξεργασία του ζαχαροκάλαμου

5.6 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΟΥΡΜΠΙΝΑΣ ΑΕΡΙΩΝ

Μία δυναμική χρήση για το καθαρό αέριο καύσιμο από τους αεριοποιητές βιομάζας είναι η λειτουργία **κινήτων με τουρμπίνες αερίων** για τοπική παραγωγή ισχύος. Ένας σταθμός ισχύος με αεριοστροβίλους είναι όμοιος με μία συμβατική μονάδα ατμού εκτός από το ότι αντί να χρησιμοποιεί θερμότητα από το καιγόμενο καύσιμο για την παραγωγή ατμού για την κίνηση της τουρμπίνας, αυτή κινείται άμεσα από τα ζεστά αέρια της καύσης (Βλέπε Διαγράμματα 5.4, 5.5, 5.6). Αυξάνοντας τη θερμοκρασία με αυτό τον τρόπο βελτιώνουμε τη θερμοδυναμική αποδοτικότητα, αλλά για να μην διαβρωθούν ή βουλώσουν τα πτερύγια του στροβίλου τα αέρια πρέπει να είναι πολύ καθαρά, κάτι που αποτελεί αιτία για την τωρινή καύση φυσικού αερίου σχεδόν σε όλες τις βιομηχανικές μονάδες με αεριοστροβίλους.

Η αντικατάσταση με αέριο από αεριοποιητές βιομάζας θα εξυπηρετούσε ένα διπλό σκοπό, εξοικονομώντας ένα εξαιρετικής ποιότητας καύσιμο και μειώνοντας την εκπομπή επιβλαβών αερίων, αφού ο κύκλος της βιομάζας είναι CO₂. Αυτή η διαδικασία, αεριοποίηση ακολουθούμενη από αεριοστροβίλους, μελετάται σαν μία δυναμική αποδοτική χρήση του ξύλου από μικρούς θάμνους.

Σε περιπτώσεις όπου η είσοδος είναι απόβλητα από την επεξεργασία φυτικού υλικού, η απαίτηση συχνά είναι τόσο για θερμότητα επεξεργασίας (ζεστό ατμό) όσο και για ηλεκτρική ισχύ, με την απαιτούμενη θερμότητα συχνά να έχει προτεραιότητα. Για αυτήν την περίπτωση πιο κατάλληλος είναι ο **αεριοστρόβιλος ψεκασμού ατμού** (steam-injected gas turbine) [**STIG**]. Όπως προτείνει και το όνομά του, ο στρόβιλος κινείται από ένα συνδυασμό καύσης αερίων και ατμού υψηλής πίεσης, δηλαδή η βιομηχανική μονάδα ενσωματώνει γεννήτριες ατμού και μπορεί να λειτουργήσει πολύ πιο ευέλικτα ανταποκρινόμενη σε ποικίλες απαιτήσεις για ενέργεια. Συνεπώς το σύστημα είναι ένας **αεριοποιητής ενοποιημένης βιομάζας/ αεριοστρόβιλος ψεκασμού ατμού** (biomass integrated gasifier/ steam-injected gas turbine) [**BIG/STIG**].

...

Διάγραμμα 5.4: Συμβατικός στρόβιλος ατμού.

...

...

Διάγραμμα 5.5: Απλός στρόβιλος αερίου.

...

...

Διάγραμμα 5.6: Αεριοστρόβιλος ψεκασμού ατμού.

6. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΟΔΕΙΕΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι "ενεργειακές καλλιέργειες", φυτά καλλιεργημένα ειδικά για πηγές ενέργειας, προσελκύουν όλο και περισσότερο την προσοχή τα τελευταία χρόνια. Η μείωση των εκπομπών καθαρού CO₂ είναι ένας επαρκής λόγος για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από την βιομάζα, αλλά σε πολλές χώρες τα πιο άμεσα κίνητρα για την αλλαγή αυτή ήταν το πρόβλημα της πληθώρας αγροτικής γης και η αναζήτηση για εγχώρια καύσιμα εναλλακτικά του εισαγόμενου πετρελαίου. Οι καλλιέργειες που προτιμούνται εξαρτώνται από τη σχετική σημασία αυτών των παραγόντων καθώς και από τις τοπικές συνθήκες, και περιλαμβάνουν ξύλο για καύση, φυτά για ζύμωση σε αιθανόλη και καλλιέργειες των οποίων οι σπόροι είναι ιδιαιτέρως πλούσιοι σε έλαια. Ο Πίνακας 6.1 αναφέρει τις ετήσιες αποδόσεις κάποιων καλλιεργειών.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΜΕΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ
Ζαχαροκάλαμο	35	90
Καλαμπόκι	10	40
Σιτάρι	5	20
Ρύζι	4	16
Ζαχαρότευτλο	8	18
Cassava (ρίζες)	8	35
Ξύλο (εύκρατων περιοχών)	10	20
Ξύλο (τροπικών περιοχών)	20	35

Πίνακας 6.1: Ετήσιες αποδόσεις ποικίλων καλλιεργειών.

- ♦ Όλες οι αποδόσεις σε τόνους ξηρής (από κλίβανο) μάζας ανά εκτάριο ετησίως.

6.2 ΣΟΔΕΙΕΣ ΞΥΛΟΥ

Το ξύλο παραμένει ως μία τεράστια ενεργειακή πηγή σε ένα μεγάλο μέρος της Ασίας, στο μεγαλύτερο τμήμα της Αφρικής και σε διάφορες χώρες της Νότιας Αμερικής. Το ξύλο (ή το ξυλοκάρβουνο) είναι συχνά το κύριο οικιακό καύσιμο, και μπορεί επίσης να συνεισφέρει κατά ένα εκτιμητέο ποσοστό στη βιομηχανική ενεργειακή κατανάλωση, όπως για παράδειγμα στη Βραζιλία, όπου η βιομηχανία χάλυβα χρησιμοποιεί πάνω από 2 εκατομμύρια τόνους ξυλοκάρβουνο το χρόνο. Επομένως το αγαθό του ξύλου είναι μεγάλης σημασίας. Όπου υπάρχει μία βιομηχανία ξύλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπολείμματα ξύλου, αλλά η αποδάσωση οδηγεί πολλές περιοχές σε τοπικές ελλείψεις. Μία πιθανή λύση, που θα μπορούσε να εξυπηρετήσει το διπλό σκοπό της ενίσχυσης της αναδάσωσης και την εξασφάλιση σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα της απόδοσης, είναι το φύτεμα δέντρων ταχείας ανάπτυξης κατάλληλα για **κλάδεμα (coppicing)**. Αυτή η παλιά τεχνική, που περιλαμβάνει κόψιμο του τμήματος που μεγαλώνει κάθε λίγα χρόνια και επιτρέπει στο δέντρο να βλαστήσει πάλι, αποτέλεσε το θέμα δοκιμών σε αρκετές αναπτυσσόμενες χώρες.

Κοντοί θάμνοι (short rotation coppice) προσελκύουν επίσης το ενδιαφέρον στο πολύ διαφορετικό περιβάλλον των βιομηχανοποιημένων χωρών όπου τα αγροτικά πλεονάσματα οδήγησαν στην απόσυρση της γης από την παραγωγή τροφίμων. Η **λεύκα** και η **ιτιά** είναι τα δέντρα που προτιμούνται. Φυτεμένα σε μία πυκνότητα των 5.000-20.000 δέντρων ανά εκτάριο (σε χώρους από 0,5*1 μέτρο μέχρι 1*2 μέτρα) και κλαδεύοντας τα σε ένα κύκλο 2-5 χρόνων, μπορούν να παραμείνουν παραγωγικά για 30 χρόνια, με μέγιστες ετήσιες αποδόσεις 10 τόνους ανά εκτάριο.

Εναλλακτικό στους κοντούς θάμνους είναι η **τροποποιημένη συμβατική δασοκομία**, βασισμένη σε ενοποιημένες τεχνικές θερίσματος που αναπτύχθηκαν στη Σουηδία. Κωνοφόρα δέντρα φυτεύονται σε σχετικά υψηλές πυκνότητες (5.000 ανά εκτάριο) και αραιώνονται σθεναρά αργότερα, αποφέροντας έτσι μία πρώιμη συγκομιδή ξύλου σε κομμάτια. Η Σουηδία στόχευε να αυξήσει την προμήθεια ενέργειας από βιομάζα φυτεύοντας 10.000 εκταρίων θάμνους και κοντό δάσος κάθε χρόνο κατά τη διάρκεια της δεκαετίας

του 1990. Η Σουηδική κυβέρνηση ξόδεψε US\$179 εκατομμύρια σε περισσότερα από πέντε χρόνια για να προωθήσει τη χρήση της βιομάζας και μία αποτίμηση του 1994 έδειχνε ότι η ετήσια συνεισφορά των βιοκαυσίμων θα αυξανόταν από 250 PJ σε 700 PJ μέχρι το τέλος του 2000, με τα δασικά καύσιμα να υπολογίζονται σε 50% του συνολικού.

Εκτιμήσεις του 1992 προτείνουν μία μακροπρόθεσμη ωφελιμότητα στην Ευρώπη πάνω από 10.000 PJ το χρόνο από ενεργειακές σοδειές μέχρι και 5% της ολικής έκτασης γης (50 Mha ή 50×10^6 ha), παράγοντας το ισοδύναμο της ολικής τωρινής κατανάλωσης ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Οι θάμνοι θεωρούνται η πιο πολλά υποσχόμενη ενεργειακή σοδειά για την Αγγλία και δοκιμές έλαβαν κυβερνητική υποστήριξη για αρκετά χρόνια. Φυτευτήρες, θεριστήρες και θρυμματιστήρες αναπτύχθηκαν, αλλά μελετάται και η δυνατότητα της αεριοποίησης ως εναλλακτικό της τυπικής καύσης.

~

~

Διάγραμμα 6.1: Μία μεγάλης κλίμακας βιομηχανική εγκατάσταση για παραγωγή θερμότητας διαδικασίας από κομματάκια ξύλου.

6.3 ΑΙΘΑΝΟΛΗ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟ

Η αιθανόλη από ζαχαροκάλαμο ή καλαμπόκι είναι ίσως η πιο γνωστή από όλες τις ενεργειακές σοδειές, με πολλά παραδείγματα από τη χρήση του σε όλο τον κόσμο. Στη Βραζιλία μέσα σε 20 χρόνια παράχθηκαν πάνω από 100 δισεκατομμύρια λίτρα από την έναρξη του προγράμματος "Proalcool" το 1975, βασισμένο στην υπάρχουσα βιομηχανία ζαχάρεως. Έτσι έγινε τεράστια οικονομία από τις εισαγωγές συμβατικών καυσίμων και μειώθηκε το χρέος της χώρας προς τα άλλα κράτη. Στα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας, περισσότερα από 4 εκατομμύρια βραζιλιάνικα οχήματα λειτουργούσαν με αιθανόλη, ενώ τα υπόλοιπα 9 εκατομμύρια χρησιμοποιούσαν μία μίξη 20% αιθανόλης στη βενζίνη. Πολλά από τα τεχνικά προβλήματα μίας τέτοιας μεγάλης κλίμακας παραγωγής (12 δισεκατομμύρια λίτρα το χρόνο) ξεπεράστηκαν, αλλά διαφωνίες για τις αναλογίες και τις τιμές συμβολαίου ανάμεσα στους καλλιεργητές και τους αποστάκτες, την κυβέρνηση και την εθνική εταιρεία πετρελαίου περιόρισε σημαντικά την ανάπτυξη της παραγωγής αιθανόλης την προηγούμενη δεκαετία.

Σε μία μικρότερη κλίμακα, η Ζιμπάμπουε έχει ένα υψηλά επιτυχημένο πρόγραμμα (40 εκατομμύρια λίτρα το χρόνο) βασισμένο σε μία και μόνο ενοποιημένη ιδιοκτησία ζαχάρεως που παράγει ζάχαρη, αιθανόλη, διοξείδιο του άνθρακα, τροφή βοοειδών και ηλεκτρισμό προς πώληση, καθώς επίσης ανακυκλώνει όλο το **εκρέον** υλικό (**stillage**) μετά τη διύλιση του φυτού της αιθανόλης σαν υποκατάστατο λιπάσματος στα χωράφια με τα ζαχαροκάλαμα. Παρόμοιες μικρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις αιθανόλης υπάρχουν στην Κένυα και στο Malawi.

Η παρακμή της βιομηχανίας ζαχάρεως στην Καραϊβική και αλλού μπορεί να εμποδιστεί με την εισαγωγή νέων ποικιλιών ζαχαροκάλαμου υψηλής βιομάζας, που είναι ήδη ένα από τα πιο γνωστά παραγωγικά είδη φυτών. Αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με την πλήρη χρήση των **ινωδών υπολειμμάτων** του **καλαμιού (bagasse)**, δημιουργώντας ένα εισόδημα από την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας όπως επίσης και ζαχάρεως. Συγκρινόμενες με τις τυπικές ετήσιες σοδειές του κοινού ζαχαροκάλαμου των 30-40 ξηρών τόνων ανά

εκτάριο, το "ενεργειακό καλάμι" μπορεί να παράγει **60-70** τόνους ανά εκτάριο ετησίως, το περισσότερο με τη μορφή του αυξημένου ινώδους περιεχομένου. Παρόλο που η πραγματική παραγωγή ζάχαρης μπορεί να μειωθεί και η καταπόνηση των μηχανημάτων σύνθλιψης να αυξηθεί, αυτοί οι παράγοντες θα αντισταθμίζονται από την επιπρόσθετη διαθέσιμη ενέργεια στα ινώδη υπόλοιπα.

6.4 ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ, ΖΑΧΑΡΟΧΟΡΤΟ, ΜΙΣΧΑΝΘΟΣ

Η παραγωγή **βίο-αιθανόλης** στις Η.Π.Α. αναπτύχθηκε γύρω από τη μετατροπή περισσευμάτων **καλαμποκιού** (maize) σε αλκοόλη για μίξη της με βενζίνη, μέχρι 10% κατ' όγκο. Το 1990, **3.4** δισεκατομμύρια λίτρα παράχθηκαν και βιομηχανικές εγκαταστάσεις διύλισης έδρευαν σε 22 πολιτείες. Η δυναμικότητα αυτή μεγαλώνει συνεχώς με τη βοήθεια των επιχορηγήσεων από την πολιτεία και ομοσπονδιακών. Παρόλο που στην Βρετανία δεν παραγόταν βίο-αιθανόλη την προηγούμενη δεκαετία, μία μελέτη του Υπουργείου Ενέργειας συμπέρανε ότι 5% της πετρελαϊκής κατανάλωσης τους θα μπορούσε να προμηθευτεί από αγροτικά μέσα χωρίς να επηρεαστούν σημαντικά οι αγροτικές αγορές. Μία κατευθυντήρια εντολή της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιτρέπει **μέχρι 7% αιθανόλη στη βενζίνη** σε όλη την **Ευρώπη**, και προτάθηκαν υποκινητικοί φόροι για υγρά βιοκαύσιμα.

Ποικιλίες κόκκων γλυκού μίσχου σαν γρασίδι, **ζαχαρόχορτο** (sorghum), καλλιεργούνται ήδη στις Η.Π.Α. και στη Βραζιλία. Η ζάχαρη ζυμώνεται σε αιθανόλη για χρήση σαν καύσιμο, χρησιμοποιώντας τον ίδιο εξοπλισμό όπως για το ζαχαροκάλαμο. Ο χρόνος της συγκομιδής είναι κρίσιμος, μία περίοδο μόνο λίγων εβδομάδων όταν οι μίσχοι έχουν μέγιστο περιεχόμενο σε ζάχαρη. Ωστόσο, είναι πιθανόν να έχουμε δύο σοδειές ετησίως, και το ζαχαρόχορτο έχει πολύ χαμηλότερη απαίτηση για νερό από ότι το ζαχαροκάλαμο. Υπάρχει σημαντική γενετική δυνατότητα για περαιτέρω αύξηση των σοδειών, και οι ανατροφείς φυτών στην Ευρώπη αναπτύσσουν υβρίδια (διασταυρώσεις) που μεγαλώνουν καλύτερα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Μίσχανθος (miscanthus) είναι ένα χόρτο εύκρατου κλίματος προσαρμοσμένο σε υγρά εδάφη, το οποίο έχει μερικά από τα φωτοσυνθετικά χαρακτηριστικά του ζαχαροκάλαμου. Μπορεί να είναι ικανό για υψηλές αποδόσεις (30 τόνους ανά εκτάριο ετησίως) υπό Ευρωπαϊκές συνθήκες, ειδικά εάν λασπώδη βοθρολύματα ή άλλα απόβλητα χρησιμοποιούνται σαν λίπασμα. Τα χοντρά ξύλινα κοτσάνια είναι κατάλληλα για άμεση καύση αφού έχουν πολύ χαμηλό περιεχόμενο νερού (20-30%) κατά τον θερισμό.

~

~

Εικόνα 6.1: Φυτείες μίσχανθων και γλυκού ζαχαρόχορτου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Εικόνα 6.2: Μίσχανθος (αριστερά).

Εικόνα 6.3: Γλυκό ζαχαρόχορτο (δεξιά).

6.5 ΦΥΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ

Οι σπόροι αρκετών φυτών μπορούν να συνθλιβούν "on the farm" (επί τόπου στις φάρμες) για να παράγουν μία σειρά φυτικών ελαίων, περισσότερα από τα οποία είναι μείγματα υδρογονανθράκων, όπως λιπαρά οξέα και γλυκερόλη. Τα φυτικά έλαια έχουν ενεργειακό περιεχόμενο γύρω στα 37-39 GJ ανά τόνο, παρόμοιο με αυτό του πετρελαίου ντίζελ (**diesel**) και ανώτερο της αιθανόλης από αυτήν την άποψη (περίπου 42 GJ και 30 GJ ανά τόνο αντίστοιχα). Πολλά φυτικά έλαια μπορούν να καούν απευθείας σε μηχανές diesel, είτε καθαρά είτε αναμεμιγμένα με diesel καύσιμο. Ωστόσο, μίγματα

που περιέχουν υψηλό ποσοστό φυτικού ελαίου τείνουν να φράζουν τα μπεκ (ψεκαστήρες) των ντιζελομηχανών και δημιουργούν εναποθέσεις σε άλλα τμήματα της μηχανής. Απλή χημική κατεργασία του φυτικού ελαίου, μέσω "εστεροποίησης", π.χ. να συνδυαστεί με αιθανόλη ή μεθανόλη, μας παρέχει ένα ανώτερο υποκατάστατο diesel που δεν βουλώνει τις μηχανές. Όπου χρησιμοποιείται σπόρος **ελαιοκράμβης**, το παραγόμενο προϊόν καλείται μεθυλοεστέρας ελαιοκράμβης, ή σε αγγλική συντομογραφία **RME** (Rape Methyl Ester).

Μίγματα με ποσοστό μέχρι **30%** φυτικού ελαίου με diesel αποτελούν τις κύριες εφαρμογές προς το παρόν. **Έλαιο καρύδας** (coconut-oil) χρησιμοποιείται σε τρακτέρ και φορτηγά στις Φιλιππίνες, **φοινικέλαιο** (palm-oil) και **ρετσινόλαδο** (castor-oil) στη Βραζιλία, **ηλιέλαιο** (sunflower-oil) στη Νότια Αφρική όπου η ετήσια παραγωγή ήλιων από ένα χωράφι μπορεί να παράγει αρκετό έλαιο για να εφοδιάσει με καύσιμη ύλη ένα τρακτέρ που δουλεύει σε έκταση δεκαπλάσιου μεγέθους. Οι τρέχουσες παραγωγές και τα διαδικαστικά κόστη περιορίζουν την εφαρμογή του φυτικού ελαίου σε μέρη όπου το diesel καύσιμο είναι δαπανηρό και σε μικρές προμήθειες, οι αγορές φαγητού και καλλυντικών μπορούν συνήθως να πληρώσουν μία καλύτερη τιμή.

Στην Ευρώπη, η δυνατότητα του **RME** από ελαιοκράμβη καλλιεργημένη σε γη που "ξεκουραζόταν" δημιούργησε ενδιαφέρον, και από το 1993 χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχαν τη δυνατότητα να παραχωρήσουν μειώσεις φόρων σε τέτοια βιοκαύσιμα οχημάτων που αναπτύχθηκαν σε πιλοτικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η γαλλική κυβέρνηση συγκεκριμένα το εφάρμοσε με 4 πιλοτικά σχέδια σε λειτουργία και πλάνα για μία βιομηχανική εγκατάσταση πλήρους κλίμακας για να παράγει 100.000 τόνους το χρόνο (1994). Ωστόσο, η αγγλική κυβέρνηση το 1994 είδε την εκκίνηση μίας διεθνούς εταιρικής συνεργασίας πάνω στο **bio-diesel** (βιο-πετρέλαιο), παράγοντας αρχικά 18.000 λίτρα **RME** για δοκιμές σε οχήματα του δρόμου και αγροτικά.

7. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ

7.1 ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

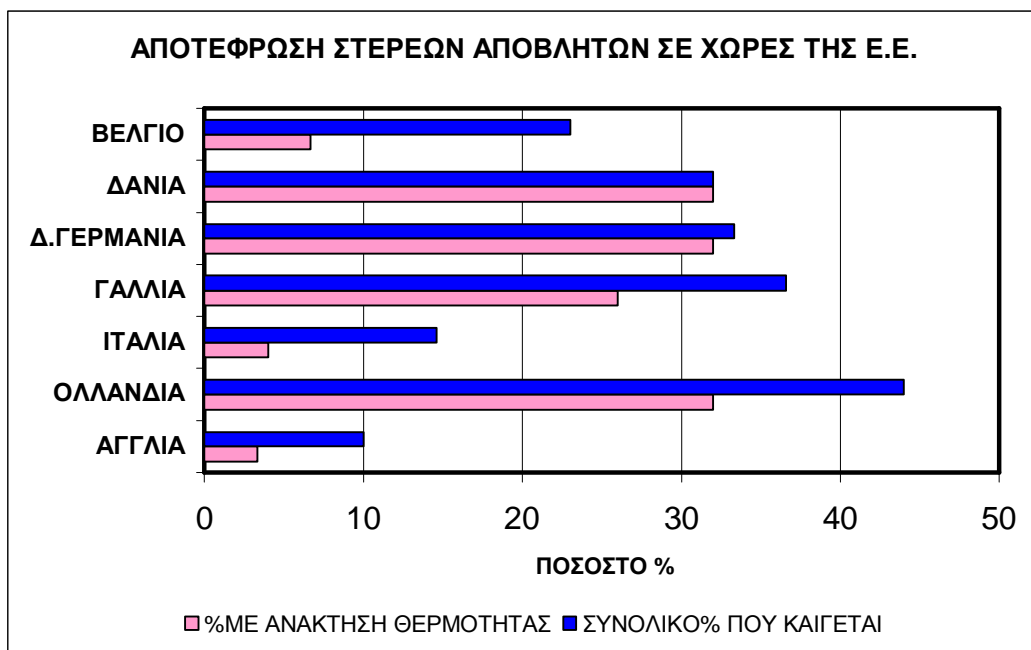
Το Ηνωμένο Βασίλειο παράγει 25 εκατομμύρια τόνους οικιακών αποβλήτων ετησίως και σχεδόν ίση ποσότητα αποβλήτων εμπορικής καύσης και βιομηχανικά, τα οποία πολλές φορές συμπεριλαμβάνονται στον όρο δημοτικά στερεά απόβλητα (municipal solid waste ή **MSW**). Πάνω από το **90%** των οικιακών αποβλήτων συχνά θάβονται, ενώ τα υπόλοιπα αποτεφρώνονται. Η παρουσία μολυσματικών πλαστικών, μετάλλων και τοξινών μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα, αλλά οι χώροι υγειονομικής ταφής και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης υπόκεινται σε λειτουργικές συνθήκες σύμφωνες με τις προδιαγραφές των αρμόδιων ρυθμιστικών αρχών, και σχεδιάζονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι εκπομπές των ρύπων μειώνονται στα αποδεκτά επίπεδα. Ωστόσο, το αυξανόμενο κόστος και η έλλειψη χώρου για καλοσχεδιασμένη μη μολυσματική διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής, τόσο στη Βρετανία όσο και σε άλλες χώρες παγκοσμίως, μας οδηγεί σε συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για τη μείωση των αποβλήτων μέσω της ανακύκλωσης και της ανάκτησης υλικών από μικτά απόβλητα.

Μεγάλης κλίμακας σχέδια για διαχωρισμό αποβλήτων, ανακύκλωση και λιπασματοποίηση πραγματοποιούνται σε ολόκληρη την Ευρώπη, αλλά στο μέλλον περίπου το μισό του συνόλου των δημοτικών στερεών αποβλήτων θα μπορούσε να υποβληθεί σε ενεργειακή ανάκτηση μέσω της άμεσης καύσης, την παραγωγή καυσίμου από υπόλοιπα (refuse-derived fuel ή **RDF**), ή τη χρήση του "αερίου υγειονομικής ταφής" (**LFG**). Η ενέργεια από απόβλητα αποτελεί μια ελκυστική προοπτική για πολλές μεγάλες πόλεις εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων χώρων για υγειονομική ταφή και του υψηλού κόστους μεταφοράς των αποβλήτων σε απομακρυσμένους χώρους ταφής.

7.2 ΚΑΥΣΗ ΔΗΜΟΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η τεχνολογία για καύση δημοτικών στερεών αποβλήτων έχει δοκιμαστεί πολύ τόσο στην ηπειρωτική Ευρώπη όσο και στην Ιαπωνία (λιγότερο στις Η.Π.Α. και στην Βρετανία), και δίκτυα συλλογής ήδη υπάρχουν για να εξασφαλίσουν μία συνεχή τροφοδοσία δημοτικών αποβλήτων. Περίπου 350 κλίβανοι αποτέφρωσης για ενέργεια από απορρίμματα λειτουργούν ήδη από το 1994 παγκοσμίως, και χώρες όπως η Ελβετία και η Ιαπωνία διαχειρίζονται τουλάχιστον το 80% των δημοτικών στερεών αποβλήτων τους με αυτό τον τρόπο.

Πολλές βιομηχανικές χώρες θεωρούν ότι η αποτέφρωση απορριμμάτων με ανάκτηση θερμότητας είναι ένα σημαντικό μέσο διάθεσης αποβλήτων. Η θερμότητα χρησιμοποιείται τόσο για περιφερειακή θέρμανση όσο και για παραγωγή ηλεκτρισμού, και η στάχτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή κτιρίων και δρόμων. Εκπομπές σκόνης, οξέων, μετάλλων και οργανικών μειγμάτων από καινούργιους και υπάρχοντες κλιβάνους αποτέφρωσης ελέγχονται τώρα αυστηρά από κατευθυντήρια εντολή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας του 1990.



Διάγραμμα 7.1: Αποτέφρωση στερεών αποβλήτων σε χώρες της Ε.Ε..

Η Βρετανία έχει σχέδια για περιφερειακή θέρμανση από καύση απορριμμάτων στο Mansfield και στο Nottingham, ενώ ένας κλίβανος αποτέφρωσης στο Sheffield εξασφαλίζει το δίκτυο θέρμανσης για ένα πολυώροφο συγκρότημα κτιρίων που περιέχει 2.450 διαμερίσματα και αναρίθμητα δημόσια κτίρια, συμπεριλαμβάνοντας μαγαζιά και ένα αστυνομικό κτίριο, όλα εκ των οποίων ανήκουν στην τοπική αρχή.

Στους πρώτους τρεις γύρους του NFFO σχεδίου, 34 βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρισμού από δημοτικά στερεά απόβλητα με συνολική δυνατότητα μερικών 500 MW έκλεισαν συμβόλαια. Ωστόσο, δυσκολίες που παρουσιάστηκαν στην απόκτηση άδειας σχεδιασμού καθυστέρησε την υλοποίηση αρκετών από αυτά, με αποτέλεσμα να λειτουργούν στο τέλος του 1994 λιγότερο από το 1/4 της δυναμότητας των υπογεγραμμένων συμβολαίων του 1990 και 1991.

- ◆ NFFO: Non-Fossil Fuel Obligation (οργανισμός παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση βιομάζας)

Διάγραμμα 7.2: Μία μεγάλη βιομηχανική μονάδα καύσης δημοτικών στερεών αποβλήτων.

7.3 ΚΑΥΣΙΜΟ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ (RDF)

Έξι βιομηχανικές εγκαταστάσεις διαχείρισης δημοτικών στερεών αποβλήτων (**MSW**) λειτουργούσαν ήδη στη Βρετανία το 1994, διαχωρίζοντας μηχανικά υλικά που δεν καίγονται όπως τα μέταλλα και το γυαλί, και τεμαχίζοντας το υπολειπόμενο οργανικό υλικό σε **RDF**. Το χοντροκομμένο **RDF** υλικό και αυτό της υψηλότερης διαδικασίας **d-RDF** (densified-RDF) είναι πιο βολικά να διαχειριστούν σε σχέση με τα ακατέργαστα **MSW** απόβλητα, και το μειωμένο περιεχόμενο σε στάχτη τα κάνουν κατάλληλα για καύση μαζί με κάρβουνο σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου η παραγόμενη θερμότητα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ ή σε συστήματα διανομής θερμότητας. Παρόλα αυτά, τα αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια σε όλες τις μορφές καύσης αποβλήτων στη χώρα έχουν περιορίσει το μέγεθος της αγοράς **RDF**.

7.4 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΧΩΡΩΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ

Παρόλο που στις Η.Π.Α. το αέριο από χώρους υγειονομικής ταφής (**landfill gas, LFG**) μερικές φορές αναβαθμίζεται μέσω ενός δικτύου σωλήνων σε μεθάνιο ποιότητας μέσω της "πλύσης" για να αφαιρεθεί το διοξείδιο του άνθρακα, στις περισσότερες εφαρμογές παγκοσμίως είναι πιο οικονομική η απευθείας καύση του αερίου. Μία χρήση είναι να ανάβουμε ξηραντήρες, κλιβάνους ή λέβητες εκεί κοντά, αλλά σπανίως υπάρχουν αρκετοί μεγάλοι χρήστες κοντά στο χώρο ταφής και το παραγόμενο αέριο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρισμού για τοπική χρήση ή για πώληση. Παγκοσμίως υπάρχουν πάνω από 240 βιομηχανικές εγκαταστάσεις, δημιουργώντας μία ολική εγκατεστημένη ικανότητα παραγωγής γύρω στα 440 MW το 1992. Μία από τις μεγαλύτερες μονάδες χώρου υγειονομικής ταφής στον κόσμο παράγει 46 MW ηλεκτρισμού στο Puente Hills, στην Καλιφόρνια. Στη Βρετανία η παραγόμενη ισχύς από **LFG** προσέλκυσε στους τρεις πρώτους γύρους του NFFO τα περισσότερα συμβόλαια σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας: 94 βιομηχανικές εγκαταστάσεις με συνολική δυνατότητα παραγωγής 166 MW.

Ενώ θεωρητικά κάθε τόνος αποβλήτου μπορεί να παράγει μεταξύ 150 και 300 m³ αερίου με ενεργειακό περιεχόμενο των 5 ή 6 GJ, κάτω από ένα σχέδιο ταφής τουλάχιστον 10 χρόνων, οι δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά την εξαγωγή και τη διαχείριση των υπόγειων συνθηκών μπορούν να σημαίνουν ότι μόνο 25-50% είναι τελικά ανακτήσιμο. Το 1994 ο ρυθμός εξαγωγής αερίου στη Βρετανία ήταν λιγότερο από 2 GJ ανά τόνο αποβλήτων (όπως συλλέγονταν), αλλά αυτό το νούμερο αναμενόταν να αυξηθεί σημαντικά με τη χρήση νέων ειδικά σχεδιασμένων χώρων για παραγωγή.

Η οικονομική ανάλυση της παραγωγής ισχύος από LFG ήταν ήδη από την αρχή της προηγούμενης δεκαετίας ελκυστική. Στη Βρετανία παράγονται περίπου 25 Mt οικιακών απορριμμάτων ετησίως από το οποίο το 90% θάβεται. Με 150 m³ αερίου ανά τόνο αποβλήτων, θα έχουμε μία συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού πάνω από 5 TWh (5x10¹² Wh) το χρόνο σύμφωνα με τα τότε δεδομένα της ικανότητας μετατροπής του αερίου σε ωφέλιμη ισχύ, αντικαθιστώντας αποτελεσματικά μία μεγάλη βιομηχανική μονάδα που χρησιμοποιεί για ενέργεια συμβατικά ή πυρηνικά καύσιμα.

7.5 ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΙ ΧΩΝΕΥΤΗΡΕΣ ΓΙΑ ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (MSW)

Σαν μία εναλλακτική λύση στην ανάκτηση του βιοαερίου από τους χώρους υγειονομικής ταφής, το οργανικό τμήμα των οικιακών αποβλήτων μπορεί να υποβληθεί σε μία πιο προσεκτικά ελεγχόμενη διαδικασία σε ειδικά κατασκευασμένους χωνευτήρες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι αποδόσεις του αερίου βρίσκονται πιο κοντά στις θεωρητικές που έχουν προαναφερθεί, και η χώνευση ολοκληρώνεται σε μερικές εβδομάδες αντί για χρόνια. Πηγή τροφοδοσίας για το χωνευτήρα αποτελεί το οργανικό τμήμα των δημοτικών στερεών αποβλήτων διαλυμένα σε ένα διάλυμα πηλού, πιθανόν ανακατεμένα με βοθρολύματα.

Ένα πλεονέκτημα αυτών των χωνευτήρων έναντι των μονάδων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων αποτελεί το γεγονός ότι αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά σε αστικές περιοχές, μειώνοντας τα κόστη μεταφοράς. Επίσης απαιτούν πολύ λιγότερη γη. Το υψηλότερο κεφάλαιο και

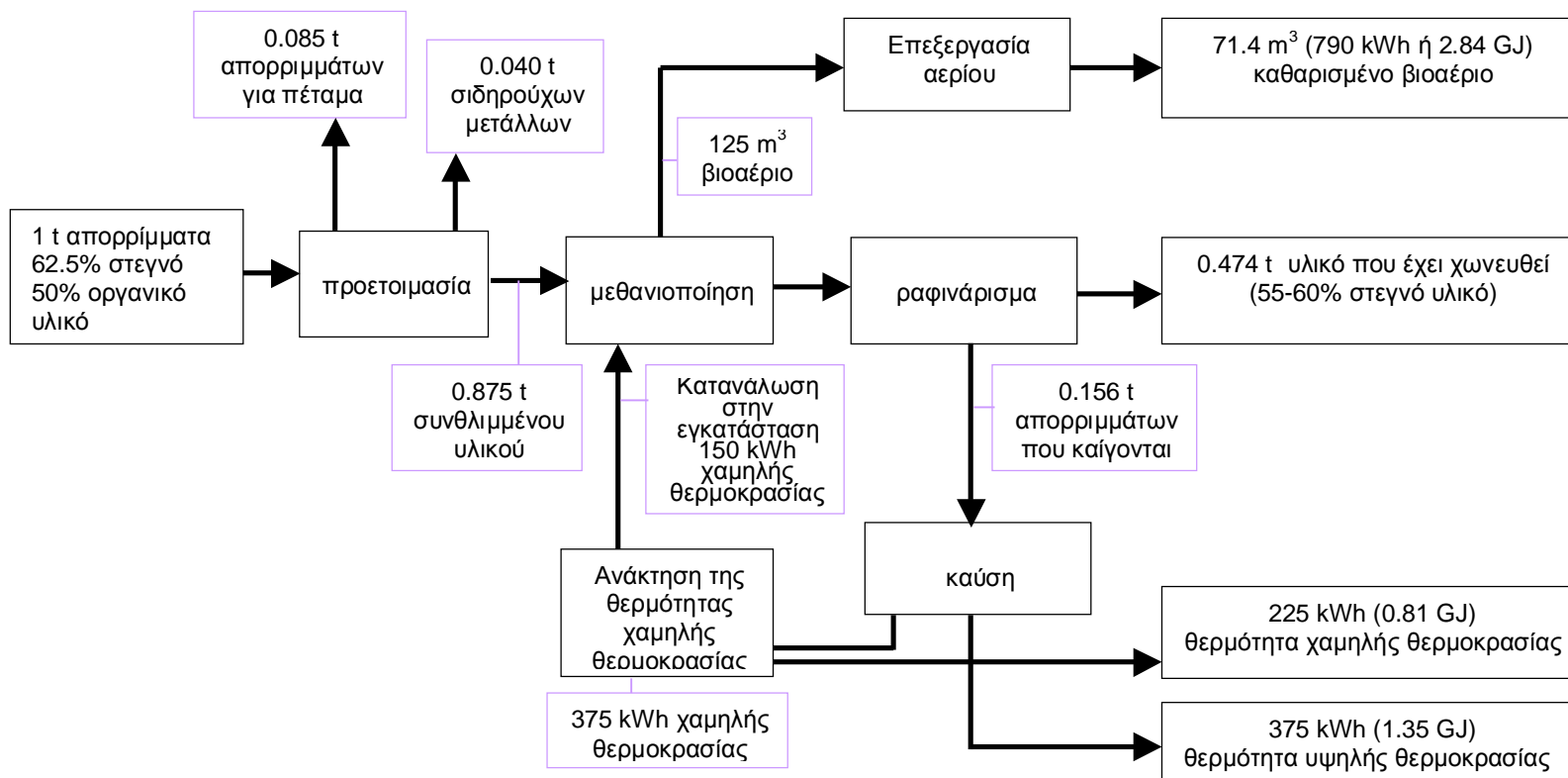
τα υψηλότερα διαδικαστικά κόστη ωστόσο, είναι εμπόδιο στην επένδυση. Χωνευτήρες MSW υπάρχουν ήδη σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες και το ενδιαφέρον αυξάνεται συνεχώς εξαιτίας του αυξανόμενου κόστους της ταφής. Μικρά συστήματα στερεών αποβλήτων αναπτύχθηκαν κυρίως στις Η.Π.Α., και η Διάγραμμα 7.3 δείχνει το σύνολο της πολυπλοκότητα ενός συστήματος που πρώτα ανακτά χρήσιμα υλικά από τα MSW, μετά παράγει μεθάνιο με χώνευση και τελικά παράγει ηλεκτρική ισχύ χρησιμοποιώντας τη θερμότητα καύσης των υπολειπόμενων στερεών.

Διάγραμμα 7.3: Μία μικτή μονάδα αποβλήτων στην Φλόριντα. Έχει εγκαταστάσεις για ανάκτηση των μετάλλων και αφαίρεση των πλαστικών, ακολουθούμενες από αναερόβια χώνευση του υπολοίπου. Το στερεό υπόλειμμα από των χωνευτήρα χρησιμοποιείται σαν καύσιμο για την παραγωγή ισχύος.

7.6 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Μόνο στη Βρετανία παράγονται ετησίως 36 Mt ειδικευμένων αποβλήτων, 2/3 των οποίων μπορούν να καούν. Πολλά από αυτά είναι ακατάλληλα να συνδυαστούν με οικιακά απορρίμματα για λόγους ασφαλείας ή για ελαχιστοποίηση των κοστών διάθεσης. Όπου πρέπει να χρησιμοποιηθεί ειδικός εξοπλισμός έτσι ώστε να τηρούνται τόσο τα περιβαλλοντικά κριτήρια όσο και αυτά της ασφάλειας, η ενεργειακή ανάκτηση μπορεί να βοηθήσει για να μειωθούν τα ολικά κόστη. Για παράδειγμα, **υπολείμματα διαδικασίας φαγητού** που πρέπει να διαχειριστούν πριν εκφορτωθούν για να μειωθεί η βιολογική και χημική ζήτηση οξυγόνου, μπορεί να χωνευθεί αναερόβια αντί για αερόβια, και το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμότητα. **Νοσοκομειακά απόβλητα**, το σύνολο των οποίων πρέπει να αποτεφρώνεται για να αποφεύγεται ο κίνδυνος της μόλυνσης, όλο και περισσότερο υπόκεινται σε ενεργειακή ανάκτηση στο εξωτερικό καθώς οι υγειονομικές αρχές αναβαθμίζουν τον εξοπλισμό τους για τη διαχείριση των αποβλήτων. Στη Βρετανία η παραγωγή νοσοκομειακών απόβλητων είναι ισοδύναμη με 12 PJ (12×10^{15} J) ετησίως.

Επίσης, μία μεγάλη μερίδα των 28 εκατομμυρίων **άχρηστων ελαστικών** στη Βρετανία κάθε χρόνο είναι ακατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση, αλλά με ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 32 GJ ανά τόνο αποτελεί δυνητικό βιομηχανικό καύσιμο. Η Μονάδα Υποστήριξης Ενέργειας και Τεχνολογίας της Βρετανίας (U.K. Energy Technology Support Unit) εκτίμησε ότι τα άχρηστα ελαστικά, συμπεριλαμβάνοντας και την ανάκτηση ελαστικών που είναι ήδη πεταμένα, έχουν μία οικονομική ωφελιμότητα γύρω στα 5.6 PJ ετησίως.



Διάγραμμα 7.4: Αναερόβια χώνευση δημοτικών στερεών αποβλήτων. Το διάγραμμα ροής δείχνει τις διαδικασίες και τα προϊόντα που παίρνουμε για ένα μέσο τόνο MSW σε ένα μεγάλο σύστημα (2 000 m³) υψηλών στερεών. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε το συνολικό αποτέλεσμα είναι 5 GJ ανά τόνο.

8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ

ΤΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ Α.Π.Ε. ΤΟΥ 1988

8.1 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΟΥ ΑΧΥΡΟΥ ΣΕ ΑΙΘΑΝΟΛΗ

8.1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Λιγνινοκυτταρινούχα υποπροϊόντα όπως το άχυρο αποτελούν σημαντική πηγή οργανικού άνθρακα για παραγωγή βιοαιθανόλης που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Το τμήμα των χημικών μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου μελέτησε την επίδραση ορισμένων παραγόντων στην απευθείας μικροβιακή μετατροπή προκατεργασμένου άχυρου σε αιθανόλη από το μύκητα *Fusarium oxysporum*. Ειδικότερα μελετήθηκε η επίδραση του είδους και της κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης παράλληλα με την ενεργότητα της β-γλυκοζιδάσης κατά την μικροβιακή μετατροπή του άχυρου σε αιθανόλη (βιοκαύσιμο). Κατά την διάρκεια των πειραμάτων οι θεωρητικές αποδόσεις αιθανόλης ήταν πάνω από 60% του συνόλου των υδατανθράκων του άχυρου, ενώ επιτεύχθηκε και ικανοποιητικός χρόνος ζύμωσης.

Η βιομετατροπή του άχυρου σε αιθανόλη μπορεί να γίνει με δύο τρόπους όσον αφορά την τεχνολογία:

1--Βιομετατροπή δύο σταδίων. Η κυτταρίνη του άχυρου αρχικά υδρολύεται σε μονοσάκχαρα (γλυκόζη) με τη βοήθεια των ενζύμων κυτταρινάση και β-γλυκοζιδάση. Έπειτα η γλυκόζη μετατρέπεται σε αιθανόλη με κλασική μικροβιακή ζύμωση.

2--Απευθείας βιομετατροπή. Η σακχαροποίηση και η αλκοολική ζύμωση του άχυρου γίνεται από τον ίδιο μικροοργανισμό στον ίδιο βιοαντιδραστήρα.

Η μικροβιακή μετατροπή των λιγνινοκυτταρινούχων ουσιών παρεμποδίζεται βασικά από δύο φυσικοχημικούς παράγοντες που αφορούν τη δομή των ουσιών αυτών. Αυτοί είναι η **κρυσταλλικότητα** της **κυτταρίνης** και η ύπαρξη του προστατευτικού **στρώματος λιγνίνης**. Αυτοί οι ανασταλτικοί παράγοντες αντιμετωπίζονται ο μιν πρώτος με την άλεση της πρώτης ύλης στο σφαιρόμυλο, ενώ μερική απολιγνίνωση επιτυγχάνεται με την προκατεργασία με αλκάλια και οργανικούς διαλύτες.

Παρακάτω αναλύεται η επίδραση της προκατεργασίας του αχύρου και της ενεργότητας του ενζύμου β-γλυκοζιδάση στην μικροβιακή μετατροπή του σε αιθανόλη. Χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος F3 του μύκητα *Fusarium oxysporum* λόγω της ικανότητάς του να ζυμώνει απευθείας σε αιθανόλη την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη, την γλυκόζη και την ξυλόζη.

8.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η προκατεργασία του αχύρου έγινε με τεμαχισμό και άλεση, αρχικά σε εργαστηριακό σφυρόμυλο και στη συνέχεια το τεμαχισμένο υλικό αλέστηκε σε περιστροφικό σφαιρόμυλο ολικού όγκου 5 lt και ισχύος 80 Watt για 2-10 ώρες κάτω από τις άριστες συνθήκες φορτίου και ταχύτητας.

Η αλκαλική προκατεργασία του τεμαχισμένου υλικού έγινε με διαβροχή χρησιμοποιώντας υδατικό διάλυμα NaOH περιεκτικότητας 0,7-7% (W/V), σε αναλογία υγρού/στερεού 5/1-10/1 (W/W), σε θερμοκρασία 20-100°C για αρκετές ώρες. Μετά το τέλος της προκατεργασίας ακολούθησε φιλτράρισμα του ημιπολτού, ξέπλυμα με νερό έως ότου το διήθημα αποκτήσει ουδέτερο pH και ξήρανση με αέρα σε θερμοκρασία δωματίου.

Τα διάφορα μεγέθη προσδιορίστηκαν ως εξής:

- ◆ Το μέγεθος των σωματιδίων του αλεσμένου άχυρου αναλύθηκε με περίθλαση ακτινών LASER.
- ◆ Η εξωτερική ειδική επιφάνεια των σωματιδίων προσδιορίστηκε με τη συσκευή Blaine.
- ◆ Ο όγκος των πόρων βρέθηκε με μέτρηση της κατακράτησης αιθανόλης και νερού.
- ◆ Ο δείκτης κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης μετρήθηκε με περίθλαση ακτίνων X.
- ◆ Η περιεκτικότητα σε κυτταρίνη του προκατεργασμένου αχύρου προσδιορίστηκε με ποσοτική σακχαροποίηση με οξύ.
- ◆ Η περιεκτικότητα σε ολικά σάκχαρα των υγρών που προέκυψαν από τη σακχαροποίηση μετρήθηκε ιωδομετρικά.
- ◆ Ο βαθμός απολιγνιτοποίησης της προκατεργασίας προσδιορίστηκε με μέτρηση της αδιάλυτης σε οξύ λιγνίνης.

Το προκατεργασμένο άχυρο που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ήταν περατό από κόσκινο 850 μm. Το στέλεχος F3 του *Fusarium oxysporum* επιλέχθηκε λόγω της ικανότητάς του να μετατρέπει κυτταρινούχες ουσίες σε αιθανόλη.

Η κυτταρίνη του αχύρου που υπέστη αλκαλική προκατεργασία (ATSC) χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή άνθρακα κατά την αερόβια και αναερόβια φάση της μικροβιακής καλλιέργειας. Άχυρο αλεσμένο σε σφαιρόμυλο χρησιμοποιήθηκε μόνο κατά την αναερόβια ανάπτυξη σε πηγή άνθρακα κυτταρίνη εμπορίου 123.

8.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΑΧΥΡΟΥ: Στον Πίνακα 8.1-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της άλεσης του αχύρου στον σφαιρόμυλο σε σχέση με ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά του. Στις άριστες συνθήκες άλεσης 8 ωρών, ο δείκτης κρυσταλλικότητας ελαττώνεται 40%. Επίσης παρατηρούμε ότι η ειδική επιφάνεια του αχύρου δεν αυξάνεται μετά από τις δύο πρώτες ώρες άλεσης λόγω συσσωμάτωσης των τεμαχιδίων του.

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΛΕΣΗΣ (ΩΡΕΣ)	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ		ΕΙΔΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (cm ² /g)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΤΗΤΑΣ (%)
	L80%	L50%*		
0.00	625	380	1350	79,2
2.00	140	100	4300	68,2
2.00	135	105	4100	68,0
4.25	165	125	3250	61,5
8.00	105	<75	3450	50,0

Πίνακας 8.1-1: Επίδραση σε ορισμένα χαρακτηριστικά του αχύρου κατά την άλεσή του σε σφαιρόμυλο. [*Μέγεθος σωματιδίων υλικού κάτω από 80% & 50% (w/w).]

Στον Πίνακα 8.1-2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης της αλκαλικής προκατεργασίας στη χημική σύσταση των λιγνινοκυτταρινούχων ουσιών του αχύρου. Παρατηρούμε ότι σε ήπιες

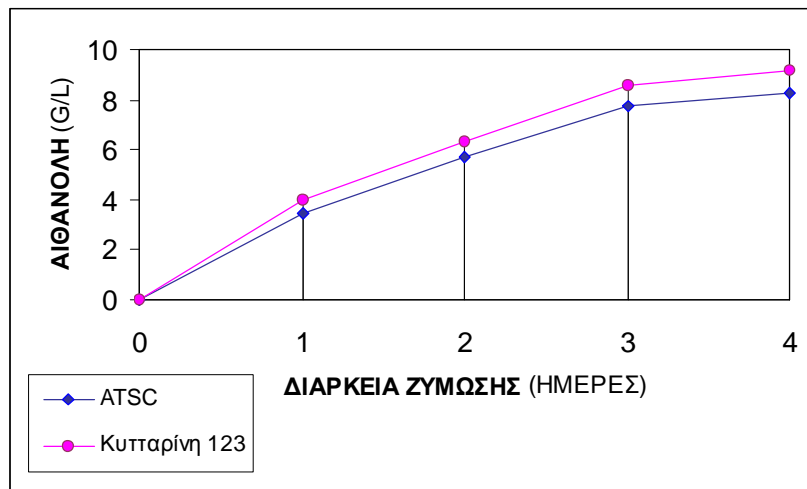
συνθήκες κατεργασίας πάνω από 90% της γλυκάνης (καθαρή κυτταρίνη) και της ξυλάνης (ημικυτταρίνη) του ακατέργαστου αχύρου διατηρείται μετά την κατεργασία. Ταυτοχρόνως πάνω από 60% της λιγνίνης και το μεγαλύτερο μέρος άλλων μη υδατανθρακικών συστατικών διαλυτοποιούνται. Αν οι συνθήκες της αλκαλικής κατεργασίας γίνουν πιο ισχυρές, τότε παράγεται πάνω από 90% γλυκάνη, η οποία χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα μικροβιακής μετατροπής σε αιθανόλη (και παρουσιάζεται στην τελευταία στήλη του πίνακα, όπου μετά από 2.5 ώρες κατεργασίας απομακρύνεται το μαύρο υλικό και προστίθεται φρέσκο διάλυμα για να συνεχιστεί η αντίδραση για άλλη 1.5 ώρα).

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΓΙΑ 4 ΩΡΕΣ)				ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ (W/W) (ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟ ΑΧΥΡΟ)			
NaOH (υδα/κό δ/μα) (%,W/W)	ΘΕΡΜΟ- ΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΟ/ ΣΤΕΡΕΟ (W/W)	ΑΠΟ- ΔΟΣΗ (%)	ΚΥΤΤΑ- ΡΙΝΗ (%)	ΗΜΙΚΥΤ- ΤΑΡΙΝΗ (%)	ΛΙΓΝΙΝΗ (%)	ΛΟΙΠΑ (%)
-	-	-	100.0	37.0	22.0	18.5	22.5
0.7	20	10/1	77.2	36.0	20.5	11.3	9.0
1.4	20	5/1	82.3	35.9	20.8	17.0	8.6
1.5	36	10/1	72.4	31.3	22.6	10.8	7.7
3.0	36	5/1	66.3	29.3	22.2	7.3	7.5
6.7	100	10/1	32.7	29.6	1.1	1.8	0.2

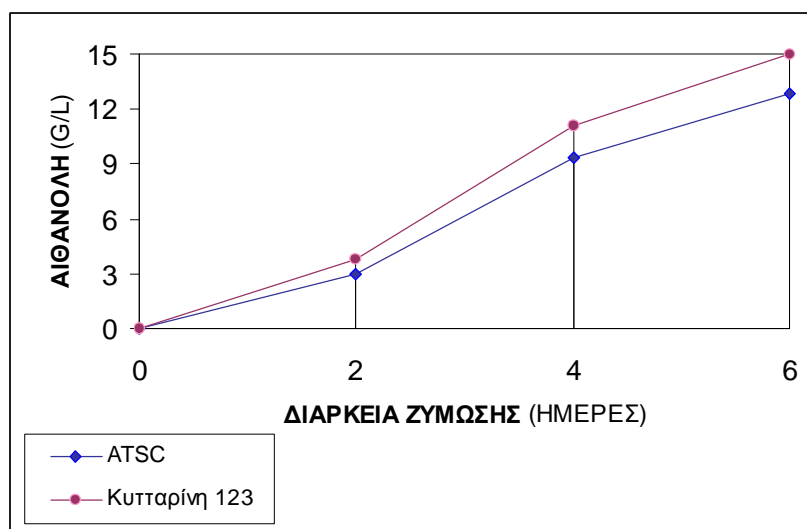
♦ Η απόδοση βασίζεται στο ακατέργαστο άχυρο.

Πίνακας 8.1-2: Επίδραση της αλκαλικής κατεργασίας στη χημική σύσταση του αχύρου.

2. ΒΙΟΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΧΥΡΟΥ ΣΕ ΑΙΘΑΝΟΛΗ: Στην αερόβια φάση χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή άνθρακα ATSC ή κυτταρίνη 123 (1%), ενώ στην αναερόβια φάση χρησιμοποιήθηκε 2% ATSC. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.1-1 καλύτερες αποδόσεις αιθανόλης είχαμε όταν χρησιμοποιήθηκε κυτταρίνη 123. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι η διάρκεια ζύμωσης ελαττώθηκε από 6 σε 4 ημέρες όταν χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή άνθρακα ATSC. Στο Διάγραμμα 8.1-2 συγκέντρωση 4% ATSC στην αναερόβια ζύμωση έδωσε μεγαλύτερες αποδόσεις αιθανόλης όταν στην αερόβια φάση χρησιμοποιήθηκε κυτταρίνη 123 (1%).

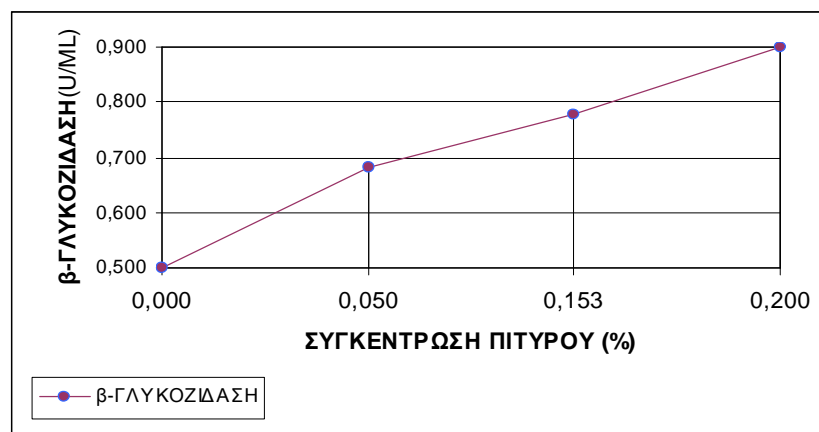


Διάγραμμα 8.1-1: Επίδραση του είδους της κυτταρινούχου πηγής άνθρακα της αερόβιας καλλιέργειας στην παραγωγή αιθανόλης από μύκητα Fusarium oxysporum F3, αναπτυσσόμενου αναερόβια πάνω σε 2% ATSC.

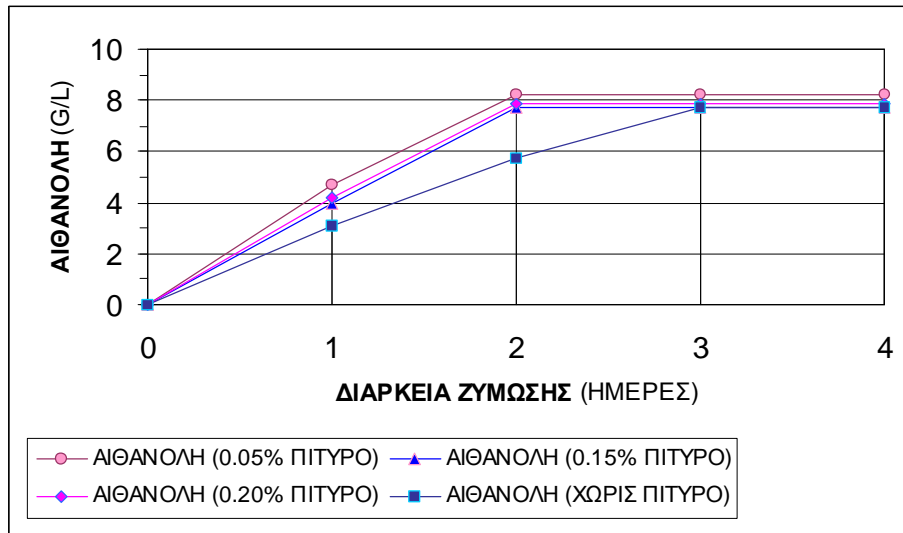


Διάγραμμα 8.1-2: Επίδραση του είδους της κυτταρινούχου πηγής άνθρακα της αερόβιας καλλιέργειας στην παραγωγή αιθανόλης από τον μύκητα Fusarium oxysporum F3, αναπτυσσόμενου αναερόβια πάνω σε 4% ATSC. Το ATSC προστίθεται βαθμιαία αρχίζοντας από 1% σε 1.5% την 2^η και 1.5% την 4^η ημέρα της αναερόβιας ζύμωσης.

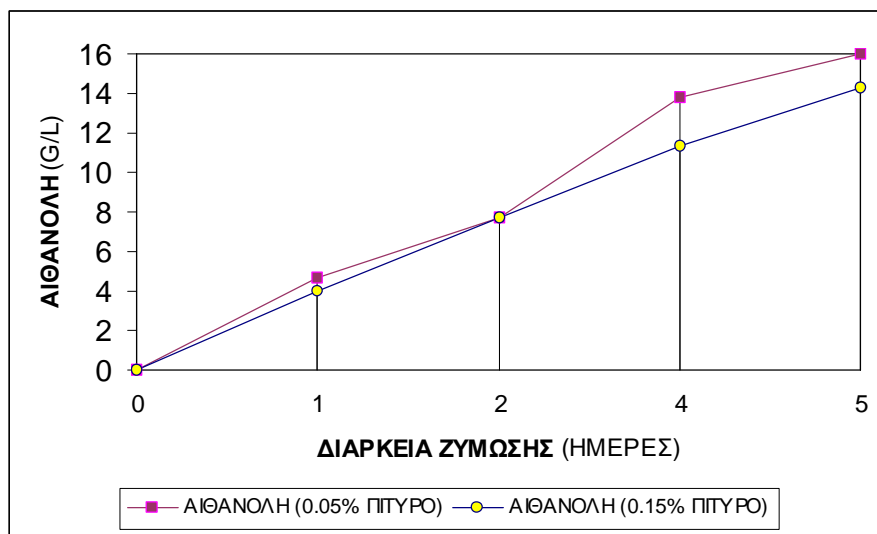
3. **Β-ΓΛΥΚΟΖΙΔΑΣΗ:** Έχει αναφερθεί ότι η ενεργότητα της β-γλυκοζιδάσης ελαττώνεται όταν η παραγωγή αιθανόλης αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης της κυτταρίνης. Για το λόγο αυτό διερευνήθηκε η επίδραση του ενζύμου αυτού στην παραγωγή της αιθανόλης από άχυρο. Διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη πιτύρου στο υλικό της αερόβιας ανάπτυξης αύξησε την παραγωγή της β-γλυκοζιδάσης. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 8.1-3, όπου φαίνεται η σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης του πιτύρου στην παραγωγή της β-γλυκοζιδάσης. Σε αυτά τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν 3 επίπεδα συγκεντρώσεων πιτύρου στην αερόβια φάση της καλλιέργειας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία τριών επιπέδων ενεργότητας β-γλυκοζιδάσης κατά τη διάρκεια της αερόβιας φάσης της ζύμωσης σε υλικό ATSC. Από το Διάγραμμα 8.1-4 συμπεραίνουμε ότι καλύτερες αποδόσεις αιθανόλης είχαμε όταν χρησιμοποιήθηκε στην αερόβια φάση 0.05% πίτυρο με αποτέλεσμα την παραγωγή 0.67 units β-γλυκοζιδάσης ανά 1 ml. Ωστόσο το πιο σημαντικό ήταν η ελάττωση της διάρκειας της ζύμωσης από 4 σε 2 ημέρες, χρόνος που είναι συγκρίσιμος με εκείνο της αλκοολικής ζύμωσης γλυκόζης από ζύμες. Στο Διάγραμμα 8.1-5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων όπου η συγκέντρωση της ATSC αυξήθηκε κατά 5%. Παρατηρούμε ότι οι καλύτερες αποδόσεις σε αιθανόλη ελήφθησαν όταν η ενεργότητα της β-γλυκοζιδάσης παρέμεινε στα ίδια επίπεδα (0.67units/ml).



Διάγραμμα 8.1-3: Επίδραση της συγκέντρωσης πιτύρου στην παραγωγή β-γλυκοζιδάσης κατά την αερόβια καλλιέργεια του μύκητα Fusarium oxysporum F3.



Διάγραμμα 8.1-4: Επίδραση της προσθήκης πιτύρου στο θρεπτικό υλικό της αερόβιας καλλιέργειας στην παραγωγή αιθανόλης από τον μύκητα *Fusarium oxysporum* F3, που αναπτύσσεται αναερόβια πάνω σε 2% ATSC.



Διάγραμμα 8.1-5: Επίδραση της προσθήκης πιτύρου στο θρεπτικό υλικό της αερόβιας καλλιέργειας στην παραγωγή αιθανόλης από τον μύκητα *Fusarium oxysporum* F3, που αναπτύσσεται αναερόβια πάνω σε 5% ATSC.

Η εξήγηση της επίδρασης της β-γλυκοζιδάσης στην παραγωγή της αιθανόλης είναι δύσκολη. Το ένζυμο αυτό υδρολύει την σελλοβιόζη σε γλυκόζη και υπόκειται σε ισχυρή αναδρομή (αντιδραστική) παρεμπόδιση από τη γλυκόζη. Επίσης η σελλοβιόζη και η γλυκόζη χρησιμοποιούνται σχεδόν ισότιμα από το στέλεχος F3 του Fusarium oxysporum για την παραγωγή αιθανόλης. Παράλληλα μπορούμε να υποθέσουμε ότι αφού μία μικρή ποσότητα γλυκόζης είναι απαραίτητη για τη βιοσύνθεση της αιθανόλης, η β-γλυκοζιδάση εφοδιάζει το κύτταρο με την απαραίτητη γλυκόζη κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Το άριστο επίπεδο ενεργότητας της β-γλυκοζιδάσης είναι αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως. Υψηλότερες συγκεντρώσεις β-γλυκοζιδάσης έχουν σαν αποτέλεσμα υψηλότερες συγκεντρώσεις γλυκόζης που παρεμποδίζουν την β-γλυκοζιδάση και περιορίζουν τη μικροβιακή μετατροπή του σακχάρου σε αιθανόλη.

Τέλος από το Διάγραμμα 8.1-4 βγαίνει το συμπέρασμα ότι η άποψη που υποστηρίζει πως η παρουσία του πιτύρου διεγείρει την παραγωγή αιθανόλης λόγω των αυξητικών παραγόντων που περιέχει δεν ισχύει, γιατί στις υψηλότερες συγκεντρώσεις πιτύρου έχουμε σαν αποτέλεσμα μικρότερες αποδόσεις αιθανόλης.

4. ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΤΗΤΑ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ: Στο Διάγραμμα 8.1-6 παρουσιάζεται η άμεση σχέση μεταξύ της ελάττωσης της κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης και της αύξησης της παραγωγής αιθανόλης. Η σχέση αυτή μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση:

$$\text{Απόδοση (\%)} = 19.6 + 5.9 * (\text{Χρόνος Άλεσης σε ώρες})$$

8.1.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

(I) Η αλκαλικά προκατεργασμένη κυτταρίνη του αχύρου αποδείχτηκε ότι είναι καλύτερο υπόστρωμα από την εμπορικώς καθαρή κυτταρίνη για την απευθείας μικροβιακή μετατροπή της σε αιθανόλη από τον μύκητα Fusarium oxysporum F3. Σημαντικό επίσης είναι το γεγονός ότι η διάρκεια της ζύμωσης μπορεί να ελαττωθεί κατά 33% όταν χρησιμοποιηθεί σαν πηγή άνθρακα προκατεργασμένη κυτταρίνη.

(II) Η β-γλυκοζιδάση αποδείχτηκε σημαντικό ένζυμο σε αυτή την βιομετατροπή. Προσθήκη πιτύρου σε συγκέντρωση 0,05% στην αερόβια

καλλιέργεια έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία άριστης συγκέντρωσης β-γλυκοζιδάσης (0.67% units/ml), γεγονός που συντέλεσε στην ελάττωση της διάρκειας της ζύμωσης κατά 50% (από 4 σε 2 ημέρες).

(III) Η κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης ήταν ο μεγαλύτερος περιοριστικός παράγοντας για την απευθείας μικροβιακή μετατροπή του αχύρου σε αιθανόλη. Οι αποδόσεις της βιο-μετατροπής αυτής αυξήθηκαν γραμμικά με την ελάττωση του δείκτη κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης. Προκατεργασία του αχύρου (άλεση στο σφαιρόμυλο για 8 ώρες) είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης σε αιθανόλη σε ποσοστό 60% με βάση τους ολικούς πολυσακχαρίτες του λιγνινοκυτταρινούχου αυτού υλικού.

Διάγραμμα 8.1-6: Επίδραση του δείκτη κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης μετά από την άλεση στο σφαιρόμυλο, στη παραγωγή αιθανόλης καθώς και στην απόδοση της βιομετατροπής (%).

8.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΧΟΙΡΟΣΤΑΣΙΟΥ ΣΤΗ ΝΑΞΟ

8.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύστημα ολοκληρωμένης ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων του χοιροστασίου κατασκευάστηκε στα πλαίσια του "Ολοκληρωμένου Ενεργειακά Προγράμματος Εγγαρών-Γαλήνης Νάξου", αφορά την **άμηση και έμμεση εξοικονόμηση ενέργειας**, και προωθεί δραστηριότητες που απαιτούν λιγότερη ανθρώπινη εργασία (πρακτικά συνεδρίου 1988).

Το χοιροστάσιο στο οποίο κατασκευάστηκε η εγκατάσταση επεξεργασίας των αποβλήτων βρίσκεται έξω από το χωριό Εγγαρές Νάξου και είναι ημιπαραδοσιακού τύπου δυναμικότητας 100 χοιρομητέρων.

Η κατασκευή της εγκατάστασης έγινε με στόχο την ολοκληρωμένη διαχείριση και επεξεργασία των αποβλήτων, ώστε να επιτυγχάνεται ταυτοχρόνως η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση τους και η προστασία του περιβάλλοντος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση συνδυάζονται η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, της ενέργειας των αποβλήτων, καθώς και των λιπαντικών στοιχείων τους. Γενικά, επιχειρείται να εφαρμοστεί ένα ρεαλιστικό μοντέλο επεξεργασίας και διαχείρισης των αποβλήτων χοιροστασίων με τη λιγότερη δυνατή απασχόληση και οικονομική επιβάρυνση του παραγωγού.

8.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η ολοκληρωμένη ενεργειακά αξιοποίηση των αποβλήτων του χοιροστασίου διενεργείται σε δύο κύριες εγκαταστάσεις:

1. Την εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου.
2. Την εγκατάσταση παραγωγής υγρού λιπάσματος και ιχνοστοιχείων.

Η εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- (α) το στατικό κεκλιμένο φίλτρο κατακράτησης αδρομερών (κυρίως τριχών),
- (β) την κωνική δεξαμενή συμπύκνωσης των υγρών αποβλήτων με φυσική καθίζηση,
- (γ) τον αναερόβιο χωνευτήρα τύπου εμβολοειδούς μορφής και
- (δ) τη δεξαμενή συλλογής των υγρών εκροής του χωνευτήρα και της κωνικής δεξαμενής για άντληση του προς την εγκατάσταση παραγωγής υγρού

λιπάσματος και ιχνοστοιχείων. Αυτή περιλαμβάνει την ανοιχτή χωμάτινη δεξαμενή αποθήκευσης και τελικής αναερόβιας χώνευσης, από όπου τα υγρά αντλούνται για λίπανση καλλιέργειας δένδρωδους μηδικής (*Medicago arborea*) προοριζόμενης για ζωοτροφή.

Στο παρακάτω Διάγραμμα 8.2-1 φαίνονται οι εγκαταστάσεις και η ροή των αποβλήτων μέσα από αυτές. Το όλο σύστημα μπήκε σε λειτουργία σταδιακά από το 1987 και ολοκληρωμένα από το Μάρτιο του 1988, οπότε και άρχισε η συλλογή στοιχείων για τη λειτουργία του.

Διάγραμμα 8.2-1: Διάγραμμα ροής των αποβλήτων του χοιροστασίου.

1. Κεντρικό φρεάτιο συλλογής-αμμοσυλλέκτης.
2. Στατικό κεκλιμένο φίλτρο.
3. Κωνική δεξαμενή συμπύκνωσης αποβλήτων.
4. Αναερόβιος χωνευτήρας εμβολοειδούς ροής.
5. Αποθήκη βιοαερίου και ηλιακός συλλέκτης.
6. Δεξαμενή συλλογής υγρών εκροής χωνευτήρα, κωνικής.
7. Σύστημα ανοιχτών αναερόβιων δεξαμενών βιολογικής επεξεργασίας και λιπασματοποίησης.

Το παραγόμενο βιοαέριο συγκεντρώνεται στο χώρο που δημιουργείται από την εγκατάσταση του ηλιακού συλλέκτη-καλύμματος του χωνευτήρα και από εκεί οδηγείται για καύση μέσω φουσητήρα και καυστήρα για παραγωγή ζεστού νερού. Ο ηλιακός συλλέκτης χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του χωνευτήρα στους 30-35 °C ώστε να αποφεύγεται κατά το δυνατό η χρήση του βιοαερίου για το σκοπό αυτό.

Σαν σταθερό κάλυμμα του χωνευτήρα χρησιμοποιούνται 4 ηλιακοί συλλέκτες επιφάνειας 8 m² ο καθένας με κλίση 20°. Όταν η διαφορά

θερμοκρασίας νερού στην έξοδο του συλλέκτη και του υγρού περιεχομένου φτάσει στους +7 °C, ζεστό νερό κυκλοφορεί αυτόματα με κυκλοφορητή μέσα από εναλλάκτη στο εσωτερικό του χωνευτήρα και διατηρεί τη θερμοκρασία των υγρών στο επιθυμητό επίπεδο των 32-35 °C. Η διατήρηση της θερμοκρασίας στα επίπεδα αυτά κατά την νύχτα επιτυγχάνεται με τη θερμομόνωση του καλύμματος και του υπέργειου τμήματος των τοιχωμάτων του χωνευτήρα.

Καθημερινά διακινούνται μέσω του συστήματος 10-12 m³ απόβλητα από τα οποία τα 9 m³ (κυρίως ίζημα) εισέρχονται στον χωνευτήρα. Τα τελικά υγρά παραμένουν στην αποθηκευτική δεξαμενή για 6 μήνες περίπου πριν από τη διάθεσή τους για λίπανση την κατάλληλη εποχή.

Η εγκατάσταση ολοκληρωμένης ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων του χοιροστασίου στοίχισε συνολικά 3.900.000 δραχμές (το 1997). Παράλληλα επιτυγχάνει την πλήρη προστασία του περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας βιολογική επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων στο έδαφος για λίπανση.

8.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η συστηματική συλλογή μετρήσεων και η ανάλυσή τους ξεκίνησε το Μάρτιο του 1988, όταν τέθηκε σε λειτουργία όλο το σύστημα. Σκοπός της ήταν να προκύψουν τα μεγαλύτερα δυνατά οφέλη με τη λιγότερη απασχόληση του παραγωγού. Μελετήθηκαν στοιχεία που αφορούν τις επιμέρους καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα και στο χοιροστάσιο για τη θέρμανση των νεογέννητων χοιριδίων, τη θερμοκρασία των υγρών του χωνευτήρα, τη παραγωγή βιοαερίου, το λιπαντικό δυναμικό των τελικών υγρών και την ελάττωση του βιολογικού φορτίου. Τα στοιχεία αυτά παρατίθενται στους Πίνακες 8.2-1 και 8.2-2 καθώς και στο Διάγραμμα 8.2-2.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ			
	Πομόνα	Ηλιακός συλλέκτης	Διάφορα	Σύνολο
1988				
Μάρτης	186.0	2.89	98.71	278.6
Απρίλης	144.0	1.71	65.89	211.6
Μάης	273.0	1.97	65.93	280.9
Ιούνιος	273.0	6.95	44.65	324.6
Ιούλιος	222.0	6.16	16.10*	244.3
ΣΥΝΟΛΟ	1038.0 (77.46%)	19.68 (1.47%)	282.28 (21.07%)	1340.7 (100%)

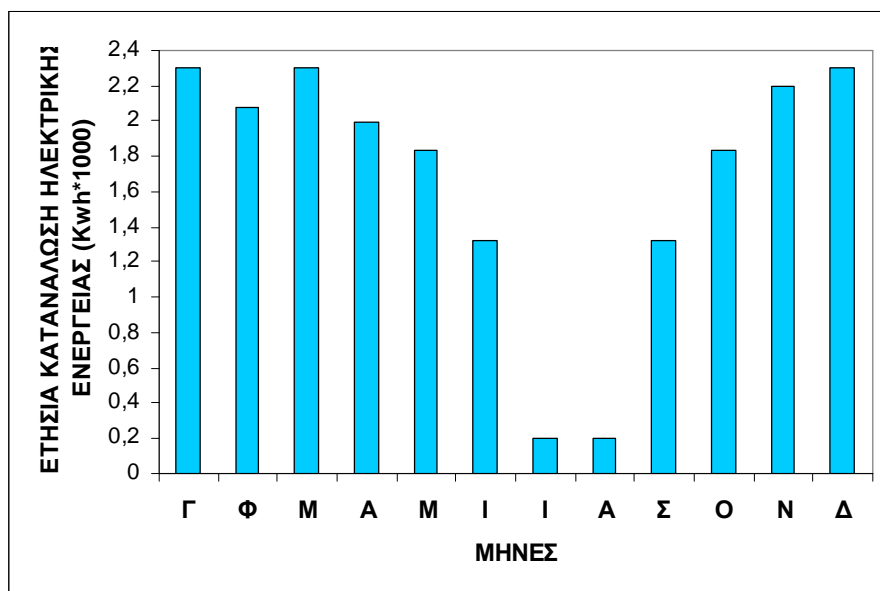
Πίνακας 8.2-1: Στοιχεία λειτουργίας του χωνευτήρα μέχρι 30/7/1988.

♦ *Πρόβλημα στη λειτουργία αντλίας νωπών αποβλήτων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΝΩΠΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	ΤΕΛΙΚΑ ΥΓΡΑ (ΠΡΟΣ ΔΙΑΘΕΣΗ)
Ο.Σ. (%)	2.13	0.29
Π.Σ. (%)	1.60	0.13
C.O.D. (mg/l)	26126	1985
pH	7.32	7.83
E.C. (Ms/cm)	7303	5610
NH ₃ -N	-	458
P ₂ O ₅	-	42
K ₂ O	-	566
Ca	-	17.5
Mg	-	5.7
Fe	-	0.5
Zn	-	0.47
Mn	-	0.09
Cu	-	0.15

Πίνακας 8.2-2: Ποιοτικά χαρακτηριστικά αρχικών και τελικών υγρών του χοιροστασίου.
(E.C. :Electrical Conductivity Ηλεκτρική Αγωγιμότητα)

Από τα στοιχεία του Πίνακα 8.2-1 προκύπτει ότι η λειτουργία της πομόνας για άντληση των υγρών στις ανοιχτές αναερόβιες δεξαμενές απορροφά το 77.5%, ενώ η λειτουργία του αναερόβιου χωνευτήρα το 22.5% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για το χειρισμό των αποβλήτων. Από το 22.5% το μεγαλύτερο μέρος αφορά την άντληση των νωπών προς το διαχειριστή (περίπου τα 2/3). Επομένως μόνο ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 9-10% αντιστοιχεί στη λειτουργία του χωνευτήρα ή το 1% περίπου της συνολικής κατανάλωσης στο χοιροστάσιο (12100 kWh) της περιόδου αυτής.

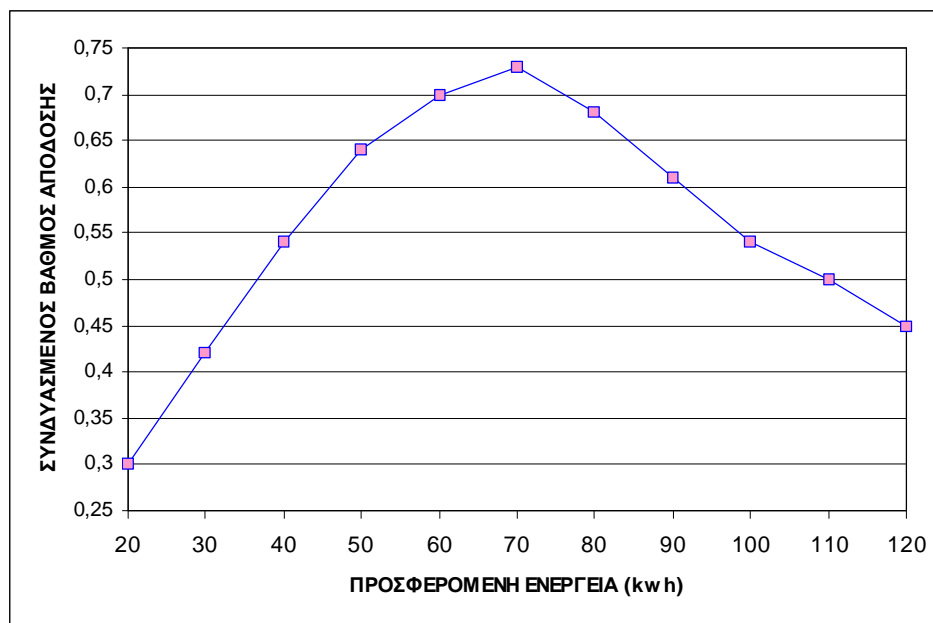


Διάγραμμα 8.2-2: Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση.

Στο Διάγραμμα 8.2-2 παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση των χοιριδίων παρουσιάζει έντονη εποχιακή διακύμανση. Αυτή συνεπάγεται **μειωμένο βαθμό αξιοποίησης** του βιοαερίου που παράγεται σε σταθερή βάση όλο το χρόνο.

Για τον προσδιορισμό της άριστης ποσότητας θερμικής ενέργειας που μπορεί να υποκατασταθεί από το παραγόμενο βιοαέριο έγινε το Διάγραμμα 8.2-3, στο οποίο συσχετίζονται η ενέργεια με το συνδυασμένο βαθμό αξιοποίησης της κάλυψης θερμικών αναγκών σε ετήσια βάση.

Από το Διάγραμμα 8.2-3 προκύπτει ότι η άριστη τιμή είναι 70 kWh ημερησίως, γιατί εξασφαλίζει τον καλύτερο συνδυασμό βαθμού αξιοποίησης (0.73) που αντιστοιχεί συγχρόνως σε 97% κάλυψη των θερμικών αναγκών σε ετήσια βάση. Με βάση την περιεκτικότητα του βιοαερίου σε CH₄ 65%, συνολικές απώλειες 12% και απώλειες καύσης 30% προκύπτει ότι απαιτούνται καθημερινά 19.0 m³ βιοαερίου (20 °C, 1 atm) για τη θέρμανση των χοιριδίων. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο 49.9% του παραγομένου βιοαερίου (38 m³/μέρα, 20 °C, 1 atm).



Διάγραμμα 8.2-3: Θερμική ενέργεια υποκαθιστάμενη από βιοαέριο.

Παρατηρείται επομένως **μικρό ποσοστό χρησιμοποίησης** του βιοαερίου στη μονάδα γεγονός που επηρεάζει οπωσδήποτε την οικονομικότητα του συστήματος. Εκτός από τη μειωμένη χρήση του βιοαερίου, η συνολική ημερήσια παραγωγή του ($38 \cdot 0.65 / 45 = 0.55 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ ανά m³ ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα) είναι μικρότερη από εκείνη που αναφέρεται στην βιβλιογραφία των $0.95 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ ανά m³ ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα σαν optimum για τη συμπύκνωση αποβλήτων. Αυτό μπορεί να **αποδοθεί** στο **ελαττωμένο οργανικό φορτίο** που εισέρχεται στο χωνευτήρα, 3.2 Kg πτητικών στερεών ανά m³ ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα, και το **μικρό χρόνο παραμονής** των υγρών, περίπου 5 ημέρες έναντι 4-4.6 Kg πτητικών στερεών

ανά m^3 ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα και 15-20 ημέρες της βιβλιογραφίας αντίστοιχα.

Η οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης παραγωγής, το κόστος της οποίας ανήλθε σε 3.300.000 δραχμές (το 1987) εκ των οποίων 400.000 αντιστοιχούν στο ηλιακό κάλυμμα, οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα: η εγκατάσταση αποπληρώνεται σε 12 χρόνια αν αξιοποιείται πλήρως το βιοαέριο και η παραγωγή ανέρχεται τουλάχιστον σε $1.15 m^3 CH_4$ ανά m^3 ωφέλιμου όγκου χωνευτήρα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση του οργανικού φορτίου (μέσω συμπύκνωσης ή εμπλουτισμού των αποβλήτων με ανάμιξη άλλων), ή και παράλληλα ελάττωση του κόστους κατασκευής.

Η λειτουργία του ηλιακού συλλέκτη-καλύμματος απέδωσε στο διάστημα από 1/6-25/7/88 3773 kWh ισοδύναμες με $626 m^3$ βιοαερίου ($20^\circ C$, 1 atm) ή $11.4 m^3$ ημερησίως κατά μέσο όρο, δηλαδή ποσοστό 30% της ημερήσιας παραγωγής. Η απόδοση του συστήματος ηλιακός-χωνευτήρας ήταν 0.42 (αποδιδόμενη/ προσπίπτουσα ενέργεια). Στο συγκεκριμένο χοιροστάσιο λόγω της μικρής ζήτησης βιοαερίου $19 m^3$ ημερησίως είναι δυνατή η εξυπηρέτηση του χωνευτήρα με βιοαέριο ($19+11.4=31.4 m^3$, έναντι των $38 m^3$ που παράγονται) και να μην δικαιολογείται η πρόβλεψη ηλιακού παρά την απλότητα και την ασφάλεια λειτουργίας που παρέχει. Αυτό θα μείωνε το κόστος κατασκευής κατά 300.000 δραχμές περίπου (1987) περίπου. Σε περίπτωση πλήρους αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου η εγκατάσταση ηλιακού συλλέκτη για θέρμανση του χωνευτήρα δικαιολογείται.

Εκτός από την παραγωγή ενέργειας το σύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας των αποβλήτων παράγει και υγρό λίπασμα κυρίως αζώτου και καλίου. Από τον Πίνακα 8.2-2 προκύπτει ότι τα τελικά υγρά της αποθηκευτικής δεξαμενής συνολικού όγκου $3500 m^3$ περίπου το χρόνο περιέχουν:

NH_3-N	1600 Kg	K_2O	1980 Kg	P_2O_5	147 Kg
Ca	61.3 Kg	Mg	20.0 Kg	Fe	1.93 Kg
Zn	1.65 Kg	Mn	0.32 Kg	Cu	0.53 Kg

Η αξία των τριών λιπαντικών στοιχείων ανέρχεται ετησίως σε:

NH_3-N	67.000 ΔΡΧ. (τιμές 1988)
K_2O	185.000 ΔΡΧ. (τιμές 1988)
P_2O_5	18.900 ΔΡΧ. (τιμές 1988)

Δηλαδή συνολικά σε 270.900 δραχμές (το 1988), ποσό αρκετά σημαντικό αν ληφθεί υπόψη ότι το συνολικό κόστος εγκατάστασης των δεξαμενών αναερόβιας ζύμωσης ανήλθε σε 600.000 δραχμές περίπου. Βέβαια και σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να γίνεται πλήρης αξιοποίηση των υγρών.

8.2.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα πρώτα στοιχεία από τη λειτουργία της εγκατάστασης του συστήματος ολοκληρωμένης ενεργειακά αξιοποίησης των αποβλήτων του χοιροστασίου προκύπτει ότι όλη η διαδικασία μπορεί να διεξαχθεί με ελάχιστο λειτουργικό κόστος (περίπου 1% της συνολικής κατανάλωσης σε ηλεκτρικό ρεύμα για παραγωγή βιοαερίου και 9% για μεταφορά των υγρών στις αναερόβιες δεξαμενές, το οποίο μπορεί να μηδενιστεί ανάλογα με τη θέση των εγκαταστάσεων).

Σημαντικός είναι και ο ελάχιστος χρόνος απασχόλησης που απαιτείται (μισή ώρα την ημέρα) για την λειτουργία των εγκαταστάσεων, κάτι που οφείλεται στην απλότητα του συστήματος.

Η σχετικά μικρή παραγωγή βιοαερίου και ο μικρός βαθμός χρησιμοποίησης του στη μονάδα λόγω περιορισμένων αναγκών κάνουν την εγκατάσταση αντισυμβατική. Για τον ίδιο λόγο και η εφαρμογή του ηλιακού συλλέκτη δεν δικαιολογείται στο σύστημα, χωρίς όμως να αποκλείεται σε περίπτωση πλήρους χρησιμοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου.

Η παραγωγή λιπασμάτων και ιχνοστοιχείων αποδεικνύεται αρκετά συμφέρουσα, αρκεί να αξιοποιηθούν πλήρως τα προκύπτοντα υγρά.

Τέλος η εφαρμογή του συστήματος διασφαλίζει πλήρως το περιβάλλον με την ορθολογική διαχείριση, επεξεργασία και ανακύκλωση των αποβλήτων.

8.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΦΥΤΕΙΕΣ ΤΑΧΥΑΥΞΩΝ ΔΑΣΟΠΟΝΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ

8.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χώρα μας είναι ελλειμματική σε ξύλο και προϊόντα του όπως επίσης σε πρωτογενή ενέργεια, ενώ το 1890 ήταν αυτάρκης, με το 97% των αναγκών σε ενέργεια να προέρχεται από την εγχώρια βιομάζα. Παράλληλα παρουσιάζεται υπερπαραγωγή σε βασικά γεωργικά προϊόντα, με αποτέλεσμα αυτά να παραμένουν αδιάθετα με τεράστια προβλήματα αποθήκευσης, επιδότησης και απόσυρσης. Έτσι παρουσιάζεται έντονα η ανάγκη αλλαγής χρήσης της γεωργικής γης με εναλλακτικές καλλιέργειες, για παραγωγή προϊόντων που θα καλύπτουν τις ανάγκες μας στο παρόν και στο μέλλον.

Φυτείες ταχυσυζών δασοπονικών ειδών με μικρό περίτροπο χρόνο (3-6 χρόνια), δηλαδή με μικρό χρόνο παραγωγής οπότε και υλοτομίας, μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτική λύση για την εκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων για παραγωγή ενέργειας, χαρτοπολτού, ινσανίδων και άλλων προϊόντων που εισάγονται. Έχει αναφερθεί σε αρκετές περιπτώσεις ότι οι φυτείες των ταχυσυζών δασοπονικών ειδών είναι οικονομικά ανταγωνιστικές ακόμα και από την επιδοτούμενη γεωργία. Βέβαια θα πρέπει πάντα να γίνεται σύγκριση με άλλες εναλλακτικές καλλιέργειες, τόσο από πλευράς παραγωγής όσο και οικονομικού αποτελέσματος.

Η βάση για μία τέτοια επιλογή είναι η δυνατότητα εγκατάστασης φυτειών ταχυσυζών δασοπονικών ειδών στις διαθέσιμες γεωργικές εκτάσεις με οικονομικό αποτέλεσμα που να συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και ποιότητα της απόδοσης των φυτειών αυτών. Παρακάτω παρουσιάζονται δεδομένα από πειραματικές φυτείες ταχυσυζών δασοπονικών ειδών στον ελληνικό χώρο, καθώς επίσης και οι δυνατότητες των φυτειών αυτών ως εναλλακτική μορφή καλλιέργειας γεωργικών εκτάσεων.

8.3.2 ΕΙΔΗ ΦΥΤΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το εργαστήριο **Δασικής Γενετικής και Βελτίωσης Δασοπονικών Ειδών** του **Α.Π.Θ.** ξεκίνησε ένα πρόγραμμα έρευνας με στόχο τις δυνατότητες παραγωγής βιομάζας από φυτείες ταχυσυζών δασοπονικών ειδών πριν από

τρεις δεκαετίες. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει πλατύφυλλα και κωνοφόρα δασοπονικά είδη, καθώς και εφαρμογή μεθόδων γενετικής βελτίωσης, όπως υβριδισμό, τεχνητή επιλογή, εισαγωγή ξενικών ειδών, και άλλα. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται πολλά είδη, ποικιλίες και κλώνοι με δυνατότητες παραγωγής βιομάζας. Εδώ ασχολήθηκαν με είδη των γενών Populus (Λεύκη), Platanus (Πλατάνι), Salix (Ιτιά), Pinus (Πεύκη) και Eucalyptus (Ευκάλυπτος), ενώ τελευταία έγιναν έρευνες και για το γένος Alnus (Σκλήθρο). Τα παραπάνω γένη περιλαμβάνουν είδη που είναι αυτοφυή στην Ελλάδα ή έχουν εισαχθεί και καλλιεργηθεί για πολλά χρόνια. Επομένως υπάρχει ικανοποιητικός βαθμός γνώσεων γύρω από το περιβάλλον που απαιτούν και τις τεχνικές ανάπτυξης και εγκατάστασης, ενώ κάποια από αυτά όπως η λεύκη, η ιτιά και ο ευκάλυπτος έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε πολλές χώρες για φυτείες ενέργειας ή γενικά για παραγωγή βιομάζας.

Βασική παράμετρος επιτυχίας των φυτειών αυτών είναι η χρησιμοποίηση κατάλληλου φυτευτικού υλικού για την εξασφάλιση προσαρμογής στο περιβάλλον και τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ποσοτικά και ποιοτικά. Για το λόγο αυτό το φυτευτικό υλικό θα πρέπει να πληρεί ορισμένες προδιαγραφές ανάλογο με το προορισμό των φυτειών για ενέργεια ή άλλες χρήσεις.

Η εφαρμογή μεθόδων γενετικής βελτίωσης αποτελεί το μοναδικό μέσο δημιουργίας φυτευτικού υλικού με συγκεκριμένες γενετικές καταβολές ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό. Η ανάπτυξη της τεχνητής βλαστικού πολλαπλασιασμού (παραδοσιακή, ιστοκαλλιέργεια, κυτταροκαλλιέργεια) επιτρέπει το μαζικό πολλαπλασιασμό επιλεγμένων γενοτύπων χωρίς τη μεταβολή της γενετικής τους ταυτότητας. Έτσι στα πλαίσια του προγράμματος δημιουργήθηκε μεγάλος αριθμός και κλώνων με τεχνητή επιλογή από πληθυσμούς που διέθεταν γενετική ποικιλότητα ή με συνδυασμούς τεχνητών διασταυρώσεων. Ο υβριδισμός προσφέρει πολλές δυνατότητες γιατί μπορεί να συνδυάσει επιθυμητούς χαρακτήρες διαφορετικών ειδών, ενώ η εφαρμογή μεθόδων βιοτεχνολογίας επεκτείνει ακόμα περισσότερο τα πλεονεκτήματά του. Μία άλλη μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν η εισαγωγή και δοκιμή ξενικών ποικιλιών και κλώνων, τόσο για σύγκριση όσο και για χρήση τους στη δημιουργία υβριδίων.

Το πιο σημαντικό στάδιο αξιολόγησης του υλικού που προήλθε από τη γενετική βελτίωση είναι η συμπεριφορά του σε πειραματικές φυτείες σε διάφορα περιβάλλοντα. Οι επαναλήψεις στο χώρο και ο κατάλληλος στατιστικός σχεδιασμός που εφαρμόζεται επιτρέπουν την αξιολόγηση μίας ποικιλίας γενοτύπων σε σχέση με την προσαρμογή τους στο περιβάλλον και την απόδοσή τους σε συνδυασμό με το φυτευτικό σύνδεσμο, τον περίτροπο χρόνο και τη μέθοδο αναγέννησης.

8.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΦΥΤΕΙΩΝ

1. ΛΕΥΚΗ

Εγκαταστάθηκαν πειραματικές φυτείες με κλώνους λεύκης που επιλέχτηκαν από το πρόγραμμα βελτίωσης αλλά και με κλώνους που έχουν εισαχθεί και καλλιεργηθεί ήδη για πολλά χρόνια στην Ελλάδα. Από τα αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι ο σημαντικότερος παράγοντας απόδοσης μίας φυτείας ποσοτικά και ποιοτικά είναι ο κλώνος. Τόσο η ταχύτητα αύξησης όσο και οι χαρακτήρες: ανταγωνιστική ικανότητα, πρεμνοβλαστικότητα, ποιότητα ξύλου, κ.λ.π. έχουν άμεση σχέση με το γενότυπο. Διαπιστώθηκε ότι κλώνοι λεύκης κατάλληλοι για φυτείες βιομάζας είναι αυτοί που συνδυάζουν ταχύτητα αύξησης και ικανότητα ανάπτυξης σε πυκνό φυτευτικό σύνδεσμο, χαρακτήρες που κληρονομούνται ανεξάρτητα. Κλώνοι ίσης απόδοσης σε φυτείες χωρίς ανταγωνισμό (6*6 m), όταν φυτεύτηκαν σε συνθήκες ανταγωνισμού (1*1 ή 2*2 m) παρουσίασαν διαφοροποίηση σε παραγωγή βιομάζας μέχρι και 50%. Έτσι η επιλογή του κατάλληλου κλώνου όταν η παραγωγή προορίζεται για βιομάζα είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας. Ένας άλλος χαρακτήρας που συμβάλλει ουσιαστικά στην απόδοση αλλά και στο κόστος παραγωγής είναι η πρεμνοβλαστική ικανότητα. Κλώνοι που πρεμνοβλαστούν έντονα μετά την πρώτη υλοτομία εξασφαλίζουν ανανέωση της φυτείας χωρίς δαπάνες επανεγκατάστασης, ενώ αποδείχθηκε ότι η παραγωγή στη δεύτερη υλοτομία υπερέχει μέχρι και 50% από αυτή της αρχικής φυτείας για τον ίδιο περίτροπο χρόνο.

Με περίτροπο χρόνο 6 έτη και φυτευτικό σύνδεσμο 3*3 m, στην πρώτη υλοτομία μετά την εγκατάσταση της φυτείας η απόδοση ήταν 14.14 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο, ενώ στη δεύτερη υλοτομία της φυτείας, μετά από 6 χρόνια, που προήλθε από πρεμνοβλαστήματα η παραγωγή ήταν

20.03 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο, μεγαλύτερη κατά 40%. Σε μία άλλη φυτεία με φυτευτικό σύνδεσμο 0.4*0.4 m και περίτροπο χρόνο 2 χρόνια η απόδοση μεταξύ των κλώνων ήταν 24-31 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο. Στη δεύτερη υλοτομία από πρεμνοβλαστήματα η παραγωγή ήταν μεγαλύτερη κατά 30-50%, ανάλογα με τον κλώνο.

Έχει υπολογιστεί ότι η μέση παραγωγή 15 τόνων ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο, που είναι μέσα στις δυνατότητες απόδοσης των λευκοφυτειών, είναι ισοδύναμη με 2.9 GJ ενέργεια ή 47 βαρέλια ακατέργαστου πετρελαίου. Η ίδια παραγωγή των 15 τόνων ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο μπορεί να μετατραπεί σε 5900 λίτρα ξυλο-αλκοόλης (αιθανόλη και μεθανόλη) ή σε 300 m³ μεθανίου (ξυλο-αέριο).

2. ΠΛΑΤΑΝΟΣ

Στο πλατάνι έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση γιατί η Ελλάδα έχει τεράστιες δυνατότητες βελτίωσης των υπαρχόντων πλατάνων με νέο γενετικό υλικό, αλλά και γιατί μπορεί να καλλιεργηθεί ακόμη και σε εκτάσεις οριακές για τη λεύκη με συγκρίσιμες αποδόσεις.

Οι πρώτες φυτείες πλατάνου με στόχο την παραγωγή βιομάζας εγκαταστάθηκαν στην Ελλάδα από το 1973 σε διάφορα περιβάλλοντα στη Κεντρική και Βόρεια χώρα. Οι φυτευτικοί σύνδεσμοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 1*1 m, 3*3 m και 4*4 m. Η παραγωγή παρουσιάζει μία τάση μείωσης από τους πυκνούς φυτευτικούς συνδέσμους προς τους αραιούς. Συγκεκριμένα 11 χρόνια μετά την εγκατάσταση των πειραματικών φυτειών η απόδοση στο φυτευτικό σύνδεσμο 1*1 m ήταν 11.45 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο για την πιο παραγωγική ποικιλία και 7.56 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο για την λιγότερο παραγωγική. Στο φυτευτικό σύνδεσμο 3*3 m η απόδοση ήταν 9.72 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο για την πιο παραγωγική ποικιλία και 5 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο για την λιγότερο παραγωγική. Στο φυτευτικό σύνδεσμο 4*4 m (φυτεία κλώνων) η παραγωγή ήταν 8.7 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο για τον πιο αποδοτικό κλώνο και 3.27 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο για τον λιγότερο αποδοτικό.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρησιμοποίηση του κατάλληλου γενετικού υλικού μπορεί να αυξήσει την απόδοση των φυτειών, και ότι ο

φυτευτικός σύνδεσμος είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στην απόδοση τους. Βρέθηκε επίσης ότι οι φυτείες πλατάνου μπορούν να μπορούν να αναγεννηθούν με πρεμνοβλαστήματα τουλάχιστον για δύο περίτροπους χρόνους και ότι η παραγωγή του πρώτου περίτροπου χρόνου από πρεμνοβλαστήματα υπερέχει κατά 50% περίπου της αρχικής φυτείας. Η πρεμνοβλαστική ικανότητα ελέγχεται γενετικά και είναι σημαντικός χαρακτήρας για την επιλογή όταν το υλικό προορίζεται για φυτείες παραγωγής βιομάζας.

Τη δεκαετία του 1980 το εργαστήριο δημιούργησε υβρίδια μεταξύ του ελληνικού και του αμερικανικού πλατάνου που παρουσιάζουν εκπληκτική υβριδική ρώμη. Από τα υβρίδια αυτά επιλέχθηκαν νέοι κλώνοι που υπερέχουν σημαντικά σε σχέση με το αρχικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στις φυτείες.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι οι προοπτικές για παραγωγή βιομάζας από φυτείες πλατάνου είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικές.

3. ΙΤΙΕΣ

Από πειράματα μικρής έκτασης όπου χρησιμοποιήθηκε η Salix babylonica με φυτευτικό σύνδεσμο 0.5*0.5 m και περίτροπο χρόνο 2 χρόνια, η παραγωγή ήταν 30 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο. Η απόδοση αυτή είναι πραγματικά εντυπωσιακή γιατί αν διατεθεί έκταση 2 στρεμμάτων και υλοτομείται κάθε χρόνο το ένα, μπορεί να παραχθεί βιομάζα (κορμός και κλαδιά) 3 τόνων το χρόνο, αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες μίας γεωργικής οικογένειας. Βέβαια η καλλιέργειά της προϋποθέτει έδαφος με αρκετή υγρασία και χρήση λιπασμάτων.

4. ΕΥΚΑΛΥΠΤΟΣ

Στην Ελλάδα έχουν εισαχθεί και αναπτύσσονται περίπου 50 είδη ευκαλύπτου, ποικιλίες και υβρίδια. Ορισμένα είδη έχουν άριστα προσαρμοστεί στο περιβάλλον. Η απόδοση κυμαίνεται από 4-20 τόνους ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο, ανάλογα με το είδος τη γενετική βελτίωση και την ποιότητα του εδάφους. Η αναγέννηση μπορεί να γίνει με πρεμνοβλαστήματα πολύ ικανοποιητικά. Φυτείες βιομάζας γίνονται με φυτευτικό σύνδεσμο 2*2 m ή και πυκνότερο, με περίτροπο χρόνο 5-6 χρόνια και 4-5 κύκλους υλοτομίας μέχρι την ανανέωση της φυτείας.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 στην Ισπανία οι φυτείες ευκαλύπτου ανέρχονταν σε 400 χιλιάδες εκτάρια περίπου με πρόσοδο 50.000 δραχμές το εκτάριο ετησίως, ενώ η φύτευση πραγματοποιήθηκε σε γεωργική ή δασική γη μικρής παραγωγικότητας. Στην Πορτογαλία οι φυτείες ευκαλύπτου κάλυπταν 430 χιλιάδες εκτάρια με μέση ετήσια πρόσοδο περίπου 40.000 δραχμές το εκτάριο. Η παραγωγή των φυτειών χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες χάρτου, οι οποίες έχουν προσαρμοστεί στη χρήση ξύλου ευκαλύπτου.

Φυτείες ευκαλύπτου στην Ελλάδα μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο εναλλακτικής χρήσης της γης, γιατί και η απόδοσή τους είναι ικανοποιητική και δεν κινδυνεύουν από πυρκαγιές, γιατί ο ευκάλυπτος μπορεί να είναι πολύ εύφλεκτος αλλά χάρη στην πρεμνοβλαστική του ικανότητα αναγεννάται με μεγάλη ταχύτητα χωρίς κανένα πρόβλημα και σε σύντομο χρονικό διάστημα.

5. ΚΩΝΟΦΟΡΑ

Στην Ελλάδα οι οριακές για τη γεωργία εκτάσεις ανέρχονται σε 420.000 περίπου εκτάρια, εκτεινόμενες σε ημιορεινές και ορεινές περιοχές. Τέτοιες εκτάσεις μπορούν να φυτευτούν με ολιγαρκή κωνοφόρα που πρέπει όμως να έχουν τη δυνατότητα ικανοποιητικής απόδοσης σε μικρό περίτροπο χρόνο. Στο εργαστήριο (Α.Π.Θ.) δημιουργήθηκαν υβρίδια μεταξύ τραχείας και χαλεπίου πεύκης με εκπληκτική υβριδική ρώμη και προσαρμοστικότητα. Η απόδοση πειραματικών φυτειών σε ηλικία 15 χρόνων από την εγκατάστασή τους ήταν κατά μέσο όρο 5 τόνοι ανά ξηρό βάρος ανά εκτάριο ανά χρόνο, ενώ των ειδών από τα οποία προέρχονται 3.2 και 2.11 για την τραχεία και τον χαλέπιο αντίστοιχα. Η περαιτέρω βελτίωση με τον εντοπισμό γονικών δέντρων με ειδική συνδυαστική ικανότητα και η ανάπτυξη μεθόδων βλαστικού πολλαπλασιασμού, δημιουργεί νέες προοπτικές παραγωγής φυτευτικού υλικού με αυξημένη απόδοση. Οπότε η παραγωγή βιομάζας σε μικρό περίτροπο χρόνο (15 χρόνια) από εκτάσεις οριακές για τη γεωργία παρουσιάζεται σήμερα εφικτή και οικονομικά αποδεκτή. Οι φυτείες αυτές εκτός από την παραγωγή βιομάζας για διάφορες χρήσεις θα συμβάλλουν ουσιαστικά στην προστασία και τη βελτίωση του περιβάλλοντος.

8.3.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σήμερα μερικά εκατομμύρια εκτάρια γης υπολογίζεται ότι είναι διαθέσιμα για άλλες χρήσεις, εκτός από την γεωργία και την κτηνοτροφία, λόγω της αύξησης της παραγωγής με την εφαρμογή της γενετικής βελτίωσης και της σύγχρονης τεχνολογίας. Στην Ελλάδα είναι γεγονός ότι υπάρχουν σημαντικές ακαλλιέργητες γεωργικές εκτάσεις τόσο στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές της χώρας όσο και στις γόνιμες πεδινές, λόγω της εξέλιξης που παρουσιάζει η γεωργία στην Ευρωπαϊκή Ένωση γενικά. Βέβαια δεν γνωρίζουμε ακόμα κατά πόσο είναι δυνατόν να διατεθούν αυτές οι εκτάσεις στη Δασοπονία Ταχυαυξών Ειδών, λόγω της καταλληλότητας ή μη του υλικού που υπάρχει για την εγκατάσταση φυτειών και της οικονομικής ικανοποίησης ή μη των ιδιοκτητών από την αλλαγή χρήσης της γης τους.

Μπορούμε να πούμε ότι κατάλληλο υλικό υπάρχει, και με την ύπαρξη κινήτρου η γενετική βελτίωση είναι σε θέση να δημιουργήσει το πιο κατάλληλο υλικό για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Η άποψη των ιδιοκτητών της γης που είναι και η πιο σημαντική θα εξαρτηθεί από την απόδοση των φυτειών, το κόστος παραγωγής, την τιμή πώλησης των προϊόντων και την ενδεχόμενη ύπαρξη επιδοτήσεων όπως γίνεται για τις καλλιέργειες.

Από την πείρα που έχει αποκτηθεί στους ευκαλύπτους στην Ισπανία και την Πορτογαλία, η καλλιέργεια τους αποδίδει περισσότερα από τη γεωργία σε ανάλογη ποιότητα εδάφους όταν η παραγωγή των φυτειών είναι μεγαλύτερη από 4 τόνους ξηρής βιομάζας ανά εκτάριο ετησίως. Αυτό αντιπροσωπεύει την περίπτωση των εγκαταλελειμμένων γεωργικών εκτάσεων και των οριακών για γεωργική καλλιέργεια. Σε πιο γόνιμα εδάφη αυξάνεται ποσοτικά η απόδοση των φυτειών και τα αντίστοιχα έσοδα. Στην Ιρλανδία υπολογίζεται ότι οι φυτείες παράγουν περισσότερο από 12 τόνους ξηρής βιομάζας ανά εκτάριο ετησίως και προτιμούνται από τη γεωργική καλλιέργεια. Στην Δανία υπολογίστηκε ότι οι φυτείες πρέπει να αποδίδουν 9-19 τόνους ξηρής βιομάζας ανά εκτάριο ετησίως, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους, για να είναι ανταγωνιστικές της γεωργίας χωρίς επιδότηση.

Συμπερασματικά οι φυτείες ταχυαυξών δασοπονικών ειδών μπορούν να αποτελέσουν ένα δυναμικό κλάδο της Ελληνικής γεωργίας, τόσο για την κάλυψη των ελλειμμάτων σε ενέργεια, ξύλο, και προϊόντα, όσο και για τη βελτίωση του περιβάλλοντος και την ποιότητα ζωής.

8.4 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

8.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ομάδα Έρευνας για τις Τεχνολογίες των Βιοσυστημάτων του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. μελέτησε τη θερμοχημική συμπύκνωση (μπρικετοποίηση) λιγνινοκυτταρινούχου υλικού (πριονίδι κωνοφόρων) σε θερμοκρασίες 80-215 °C, πιέσεις 100-400 bar για χρόνους 0.5-4 h. Στις παραγόμενες μπρικέτες προσδιορίστηκαν τα παρακάτω μεγέθη: απώλεια βάρους, φαινόμενη πυκνότητα, υγρασία ισορροπίας και θερμότητα καύσης. Από την ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η απόδοση και η πυκνότητα των παραγόμενων μπρικετών αριστοποιούνται στην περιοχή 130-170°C και 200 bar περίπου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ενεργειακή πυκνότητα του προϊόντος ήταν περίπου τετραπλάσια από αυτήν της πρώτης ύλης. Επίσης διαπιστώθηκε ότι η πίεση παίζει σημαντικό ρόλο στις φυσικές, χημικές και ενεργειακές πλευρές της διαδικασίας.

8.4.2 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Η αξιοποίηση των λιγνινοκυτταρινούχων ως πηγή ενέργειας με θερμοχημικό τρόπο μπορεί να γίνει με απευθείας καύση, με πυρόλυση ή με μπρικετοποίηση. Με την μπρικετοποίηση επιχειρείται η παραγωγή στερεού καυσίμου μέσω συμπίεσης, με σκοπό τόσο την μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα όγκου του προϊόντος και την καλύτερη συμπεριφορά του κατά την καύση, όσο και την αντιμετώπιση ποικίλων πρακτικών, τεχνικών, οικονομικών και οικολογικών προβλημάτων που παρεμποδίζουν την αξιοποίηση αυτών των υλικών.

Κατά τη συμπίεση των λιγνινοκυτταρινούχων με θέρμανση λαμβάνουν χώρα σύνθετα και πολλές φορές ανταγωνιστικά φυσικοχημικά φαινόμενα. Εκδηλώνεται "θερμοπλαστικότητα" που μπορεί να αποδοθεί σε φυσικές και χημικές αλλαγές των συστατικών του κυτταρικού τοιχώματος. Αρχικά κυριαρχούν αντιδράσεις υδρόλυσης των πολυσακχαριτών σε μονοσακχαρίτες και ακολουθούν αντιδράσεις αφυδάτωσης των μονοσακχαριτών. Η

επανασυμπύκνωση των μορίων λιγνίνης μεταξύ τους ή με φουρφουράλη αντιπροσωπεύει το δεύτερο στάδιο που είναι πιο αργό από το πρώτο.

Η μελέτη αυτή είχε σκοπό να συμβάλει στο να κατανοηθεί ποιοτικά ο μηχανισμός της θερμής συμπίεσης των λιγνινοκυτταρινούχων μελετώντας την επίδραση της θερμοκρασίας, της πίεσης και του χρόνου συμπίεσης στις παραμέτρους της διαδικασίας και τις ιδιότητες του προϊόντος. Τα παραπάνω μεγέθη είναι καθοριστικά στην επιλογή του τύπου της πρέσας που θα κάνει την μπρικετοποίηση, καθώς και στην αξιολόγηση της τεχνολογίας της ενεργειακής συμπύκνωσης της βιομάζας προς καύσιμο.

8.4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ως πρώτη ύλη για την θερμοχημική συμπύκνωση χρησιμοποιήθηκε πριονίδι από κωνοφόρα δέντρα (έλατο και πεύκο). Η συμπίεση έγινε σε καλούπια με θερμαινόμενη υδραυλική πρέσα. Οι περιοχές μεταβολής της θερμοκρασίας και της πίεσης ήταν 80-215°C και 100-400 bar αντίστοιχα, ενώ ο χρόνος κατεργασίας κυμαινόταν μεταξύ 0.5 και 4 h (ώρες).

Προσδιορίστηκε γεωμετρικά η φαινόμενη πυκνότητα της πρώτης ύλης και του παραγόμενου προϊόντος (μπρικέτας). Η υγρασία του πριονιδιού και της μπρικέτας μετρήθηκε στους 103°C. Επίσης, προσδιορίστηκαν η ολική απώλεια βάρους της διαδικασίας, η απώλεια μετά από σταθεροποίηση του βάρους της μπρικέτας με ρόφηση νερού, η υγρασία της μπρικέτας και η απώλεια σε πτητικά. Η ελάττωση του ξηρού βάρους κατά τη διεργασία αντιστοιχεί στην απώλεια των πτητικών. Τέλος μετρήθηκε η θερμογόνος δύναμη και έγινε διαφορική (DTA) και σταθμική θερμική ανάλυση (TGA) στην πρώτη ύλη και στο προϊόν.

8.4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από την πειραματική διαδικασία φάνηκε ότι η σημαντική απώλεια των πτητικών συμβαίνει πάνω από τους 130°C. Βρέθηκε δηλαδή ένα όριο ασφαλείας μέχρι το οποίο πραγματοποιείται μόνο εξάτμιση νερού χωρίς απώλεια καύσιμης ύλης, το οποίο όμως αναπληρώνεται έως ένα βαθμό αφού οι απώλειες μετά τη σταθεροποίηση είναι 3-4.5% [Πίνακας 8.4-2]. Βέβαια είναι φυσικό η υγρασία του δισκίου μετά από τη σταθεροποίηση του βάρους να είναι μικρότερη από αυτή της πρώτης ύλης αφού με τη συμπίεση ελαττώνεται

το πορώδες [Πίνακας 8.4-2]. Αυτό αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τον παραγωγό και πωλητή του προϊόντος που θέλει να έχει υψηλές αποδόσεις στη διαδικασία. Το φαινόμενο είναι σύνθετο αφού με αύξηση της θερμοκρασίας μαλακώνει η λιγνίνη οπότε η "αδιαβροχοποίηση" της μπρικέτας μεγαλώνει. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η πίεση επαρκεί για να συγκρατήσει τα πτητικά μόνο έως ένα βαθμό. Αύξηση της πίεσης πάνω από 200 bar οδηγεί σε απώλειες πτητικών. Τέλος, αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από 250°C οδηγεί σε καταστροφή της μπρικέτας.

Σχετικά με το χρόνο συμπίεσης οι μελετητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μετά από τις 2 με 3 h παρουσιάζεται σταθεροποίηση στις τιμές των περισσότερων μεγεθών [Πίνακας 8.4-2]. Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι το φαινόμενο παρουσιάζεται σε όλες τις πιέσεις. Δηλαδή, σε δεδομένη πίεση και θερμοκρασία μετά από κάποιο χρόνο γίνεται η άριστη εκμετάλλευση του πορώδους και της επιφάνειας που προσφέρεται για συγκόλληση του πριονιδιού. Αυτό οφείλεται στις "δευτερογενείς" αντιδράσεις που είναι πιο αργές από τις "πρωτογενείς". Κατά τις "πρωτογενείς" δημιουργούνται μικρά πτητικά μόρια σε σύντομο χρόνο μετά την έναρξη της θέρμανσης. Οι "δευτερογενείς" εμφανίζονται στη συνέχεια και αναφέρονται στις δράσεις κατά τις οποίες τα πτητικά προϊόντα, που δεν διέφυγαν από τη ζώνη της αντίδρασης, αντιδρώντας με το μέχρι τότε υπόλειμμα περνούν στη στερεή φάση.

Επίσης η μελέτη έδειξε ότι για μεγάλους χρόνους συμπίεσης τα 200 bar αποτελούν την άριστη πίεση για την απώλεια βάρους σε ξηρή βάση. Εδώ παρουσιάζεται ένα περίεργο φαινόμενο αρνητικής απώλειας βάρους, ωστόσο υπάρχει μία τάση σταθεροποίησης της απώλειας αυτής που είναι συστηματική και άρα δεν μπορεί να αγνοηθεί, ενώ πιθανολογείται ότι οφείλεται στις "δευτερογενείς" αντιδράσεις. Η άριστη θερμοκρασία βρίσκεται στην περιοχή των 130-170°C. Μέσα σε αυτήν την περιοχή οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε προϊόντα με μεγαλύτερη πυκνότητα και αντοχή [Πίνακας 8.4-2], αν η υγρασία της μπρικέτας ληφθεί ως μέτρο της συνοχής (πορώδους) και της ανθεκτικότητας σε παραμόρφωση των διαστάσεων της. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο ότι μικροί χρόνοι συμπίεσης (0.5-1 h) επιτρέπουν υπέρβαση της περιοχής άριστης θερμοκρασίας και πίεσης που προαναφέρθηκε. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι πρέσες συνεχούς λειτουργίας έχουν μικρούς χρόνους

παραμονής της μπρικέτας και αναπτύσσουν υψηλές πιέσεις της τάξης χιλιάδων ατμοσφαιρών.

Από τον Πίνακα 8.4-1 φαίνεται ότι η ενεργειακή πυκνότητα όγκου τετραπλασιάζεται με την μπρικετοποίηση. Επίσης οι ενεργειακές αποδόσεις της διαδικασίας παραμένουν υψηλές, κάτι ενθαρρυντικό για την βιωσιμότητα της σε περίπτωση εφαρμογής. Το ίδιο ισχύει και για τις καθαρές ενεργειακές αποδόσεις, αφού ο θερμικός συντελεστής απόδοσης είναι υψηλός. Αυτό δείχνει και το μεγάλο βαθμό αυτάρκειας της όλης διαδικασίας.

Τέλος επαληθεύτηκε και ο ισχυρισμός προηγούμενων μελετών για την ύπαρξη ενδόθερμου στην άριστη θερμοκρασιακή περιοχή που ταυτίζεται έτσι με τη ζώνη προπυρόλυσης.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ (bar)	ΧΡΟΝΟΣ (h)	ΕΠΟ μπρικέτας (cal/cm ³)	ΕΚ (cal/g)	ΑΠΟΔΟΣΗ (a) %	ΘΑΒ (b) %
-	-	-	1270	4430	-	-
130	200	4	5390	4545	103	93,5
130	300	4	5570	4545	103	94,4
170	100	1	4550	4440	105	91,4
170	100	2	4530	4720	107	92,9
170	100	4	4840	4580	103	90,2
170	300	4	5300	4570	103	-

Πίνακας 8.4-1: Ενεργειακή Πυκνότητα Όγκου (ΕΠΟ) μπρικέτας, Ενέργεια Καύσης (ΕΚ), και Θερμικός Βαθμός Απόδοσης (ΘΑΒ).

(a) Απόδοση = ΕΠΟ μπρικέτας / ΕΠΟ αρχικού.

(b) ΘΑΒ = Χρήσιμη ενέργεια / Εισερχόμενη ενέργεια.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΙΕΣΗ (atm)	ΧΡΟΝΟΣ (h)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm ³)	ΑΠΩΛΕΙΑ		ΥΓΡΑΣΙΑ %
				(a) %	(b) %	
-	-	-	0,29	-	-	9,9
80	100	1	0,92	1,1	0,3	9,6
80	100	2	0,90	2,8	3,0	7,1
80	100	4	0,89	4,0	2,8	6,4
80	200	2	1,07	2,4	2,2	6,7
80	200	4	1,06	2,9	2,6	8,5
130	100	1	0,83	8,0	4,4	4,9
130	100	2	0,83	7,5	3,7	4,9
130	100	4	0,84	7,6	3,4	4,9
130	200	1	1,11	6,8	3,4	4,6
130	200	2	1,12	6,6	3,3	4,6
130	200	4	1,18	6,9	3,4	4,6
170	100	1	0,98	10,5	6,6	4,1
170	100	2	0,96	10,7	7,1	3,9
170	100	4	1,06	10,7	7,4	3,5
170	200	1	1,19	10,4	7,0	3,8
170	200	2	1,21	10,4	7,3	3,5
170	200	3	-	9,7	6,8	3,3
215	100	1	1,22	17,1	14,8	2,7
215	100	2	1,24	24,2	22,3	2,4
215	100	3	1,24	24,8	28,9	2,5
215	200	1	-	26,7	25,0	2,3

Πίνακας 8.4-2: Χαρακτηριστικά της διαδικασίας μπρικετοποίησης και ιδιότητες της παραγόμενης μπρικέτας.

(a) Ολική απώλεια βάρους της διαδικασίας.

(b) Απώλεια βάρους μετά από σταθεροποίηση με ρόφηση νερού.

8.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΕΙΡΑΝΘΟ ΝΑΞΟΥ - Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

8.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας επιτόπιας έρευνας που διενεργήθηκε από το Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και αφορούσε τις βασικές δραστηριότητες των κατοίκων του χωριού Απείρανθος στην Νάξο από ενεργειακή άποψη. Έμφαση δίνεται στη βιομάζα, που εκτιμάται ως μία από τις περισσότερες υποσχόμενες ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές του συστήματος και έχει την πιο ευρεία χρήση σε τοπική κλίμακα.

Βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της περιοχής είναι ότι παρουσιάζεται ευάλωτη σε τρόπους ζωής και κοινωνικής συμπεριφοράς. Οι κάτοικοι χρησιμοποιούσαν παραδοσιακά τις διάφορες ήπιες μορφές ενέργειας για τις ανάγκες τους: Την αιολική για την άλεση των δημητριακών στους ανεμόμυλους, την υδραυλική στους διάφορους νερόμυλους, την ηλιακή για την ξήρανση των σύκων και τη βιομάζα στη μαγειρική και για τη θέρμανση των κατοικιών. Η κατάσταση αυτή ανατράπηκε όμως με την εξέλιξη, και τα νοικοκυριά άρχισαν να χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό, υγραέριο και πετρέλαιο. Ωστόσο στην Απείρανθο συνυπάρχουν και συνδυάζονται οι παραδοσιακές και ανανεώσιμες μορφές ενέργειας με τις μη ανανεώσιμες.

8.5.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η ενέργεια συμμετέχει σε κάθε παραγωγική δραστηριότητα σε μικρό ή μεγάλο βαθμό. Παρακάτω επιχειρείται να παρουσιασθεί η κατανομή της ενέργειας στις κυριότερες δραστηριότητες και πηγές κατανάλωσης, ενώ ένα βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος είναι το ασυνήθιστα υψηλό ποσοστό της χρήσης της βιομάζας για την θέρμανση των κατοικιών. Γενικά ο ηλεκτρισμός, τα ξύλα σε τζάκια και ξυλόσομπες, το πετρέλαιο και το υγραέριο είναι οι κύριες πηγές ενέργειας.

Το 1988, από τους μόνιμους κατοίκους το 77% χρησιμοποιούσε το τζάκι ως κύριο μέσο θέρμανσης, το 16% την σόμπα ξύλου και 5% την σόμπα πετρελαίου. Συμπληρωματικά γίνεται χρήση ηλεκτρικών σομπών ισχύος 2 kW σχεδόν σε όλα τα σπίτια, ενώ σε κατοικίες με μικρά παιδιά υπήρχαν ηλεκτρικά

καλοριφέρ (2-3 kW) και αερόθερμα (1.5-2 kW). Η χρήση καλοριφέρ εκείνη την περίοδο ήταν πολύ περιορισμένη (3 κατοικίες) με κατανάλωση 2 τόνων πετρελαίου ετησίως κατά μέσο όρο. Τέλος καταγράφηκαν 13 σπίτια που χρησιμοποιούσαν ακάθαρτο πετρέλαιο. Το συνολικό κόστος για την αγορά πετρελαίου εκτιμήθηκε στις 600.000 δραχμές (1988).

Για το μαγείρεμα χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά κουζίνες ηλεκτρικές και υγραερίου σε αναλογία 1:4, με συνολική κατανάλωση 1.200 φιάλες υγραερίου ετησίως προς 1.000 δραχμές η φιάλη (1988).

Για ζεστό νερό χρησιμοποιούνταν η κουζίνα, το τζάκι και οι σόμπες, ενώ είχαν εγκατασταθεί και αρκετοί θερμοσίφωνες 3-4 kW δυναμικότητας 60-80 λίτρων.

Στον παρακάτω Πίνακα 8.5-1 παρουσιάζεται το ενεργειακό κόστος της θερμικής ενέργειας όπως υπολογίστηκε, με ακρίβεια της τάξης του 20%.

ΜΕΣΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	ΕΚΤΙΜ. ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (h/d)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (δρχ./κατοικία)	ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΚΟΣΤΟΣ (δρχ./kWh)
Τζάκι	12 - 15	27.500	11.5
Ξυλόσομπα	12 -15	27.500	4.3
Ηλεκτρική Σόμπα	2	9.600	12.8
Σόμπα πετρελαίου	8	34.000	5.6

Πίνακας 8.5-1: Δραχμικό κόστος ενέργειας στον οικιακό τομέα το 1988.

Από τα παραπάνω οδηγηθήκαμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η σόμπα πετρελαίου έχει μεν χαμηλό κόστος (5.6), αλλά η χρήση της είναι περιορισμένη λόγω της ρύπανσης που συνεπάγεται η καύση του πετρελαίου, της τοπικής παράδοσης που ήθελε σε ευρεία κλίμακα τη χρήση του ξύλου, την τιμή αγοράς της σόμπας και τα αισθητικά προβλήματα που δημιουργεί η παρουσία της σε ένα παραδοσιακό οικισμό, όπως αυτός της Απειράνθου.
2. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η πιο ακριβή για τη θέρμανση των κατοικιών.

3. Η σόμπα ξύλων εκτιμάται ότι έχει το μικρότερο κόστος λειτουργίας, και αποτελούσε το κύριο μέσο θέρμανσης για το 16% των κατοικιών και το σύνολο των εστιατορίων και των καφενείων.
4. Η παραδοσιακή τάση για τη χρήση τζακιών αποδόθηκε στο γεγονός ότι η σόμπα απαιτεί τεμαχισμένη πρώτη ύλη και συνεχή τροφοδοσία, ενώ παράλληλα δεν προσφέρει την αρχοντιά και τη ζεστασιά που βρίσκει κανείς με τη χρήση του τζακιού.
5. Λαμβάνοντας υπόψη τα περιθώρια σφάλματος βγήκε το συμπέρασμα ότι τα κόστη λειτουργίας ξυλόσομπας και πετρελαιοσόμπας είναι σχεδόν ισοδύναμα.
6. Το μεγάλο λειτουργικό κόστος του τζακιού οφείλεται στην υψηλή τιμή των καυσίμων καθώς και στην εξαιρετικά χαμηλή απόδοσή του.

Συναθροίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι οι κάτοικοι δεν εμπιστεύονται τη σόμπα πετρελαίου, και επομένως οι προοπτικές για την πληρέστερη αξιοποίηση της βιομάζας είναι ευοίωνες, ιδιαιτέρως αν αυξηθεί η απόδοση κατά την καύση των ξύλων ή οργανωθεί καλύτερα η εκμετάλλευση.

Στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ο οικιακός τομέας είναι ο πιο ενεργειοβόρος μεταξύ των διάφορων ενδοκοινοτικών χρήσεων. Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου το μέσο νοικοκυριό καταναλώνει 500 kWh ηλεκτρικής ενέργειας περίπου κάθε δίμηνο, το 50% της οποίας καταναλώνεται για τη θέρμανση των κατοικιών πέρα από τη χρήση του τζακιού. Μέσα στο νοικοκυριό και για τις διάφορες χρήσεις (μαγείρεμα, θέρμανση, ζεστό νερό) η ηλεκτρική ενέργεια θεωρείται ως πιο "βολική" από τους κατοίκους. Από αυτές το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για θέρμανση είναι πολύ μικρό, περίπου το 8% της ενέργειας που παράγεται από τα καυσόξυλα. Διαχρονικά το ποσοστό αυτό τείνει να αυξάνει, με την ηλεκτρική ενέργεια να διεισδύει όλο και περισσότερο στα νοικοκυριά.

Στον παρακάτω Πίνακα 8.5-2 παρουσιάζεται η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (Φεβρουάριος 1987-Φεβρουάριος 1988) στην κοινότητα της Απειράνθου. Εκεί βλέπουμε ότι η συνολική κατανάλωση ανήλθε σε 690.800 kWh περίπου με συνολικό κόστος για τους κατοίκους 13.400.000 δραχμές (σε τιμές 1988).

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Νοικοκυριά	477.000	69.1
Άντληση νερού	97.000	14.0
Επαγγελματιοβιοτέχνες	81.000	11.7
Κοινοτικός φωτισμός	31.000	4.5
Κοινοτικά κτίρια	2.600	0.4
Αναμεταδότης Ε.Ρ.Τ.	2.200	0.3
ΣΥΝΟΛΟ	690.800	100.0

Πίνακας 8.5-2: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Απείρανθο.

Οι κάτοικοι ζητούν "**άφθονο και φτηνό**" ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά η παραγωγή σε τοπική κλίμακα δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι θα μειώσει το μοναδιαίο κόστος της ενέργειας. Ωστόσο σημαντικές ελπίδες εναποθετήθηκαν στην αμιγή κοινοτική επιχείρηση "Πειραματικός Σταθμός Αξιοποίησης των Ήπιων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Απείρανθο Νάξου". Στόχοι της είναι η αξιοποίηση ενός νερόμυλου, μίας υδατόπτωσης περίπου 25 m, δύο ανεμόμυλων καθώς και η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας ισχύος 40 kW.

8.5.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ

Η βιομάζα βρίσκει τοπικά ευρεία εφαρμογή στη θέρμανση των κατοικιών και στον επαγγελματικό τομέα, ενώ συνδυάζεται με μη ανανεώσιμες μορφές ενέργειας σε πολλές άλλες χρήσεις.

Από τις μορφές βιομάζας που έχουν ήδη αναφερθεί, ευρύτερα χρησιμοποιείται ο ελαιοπυρήνας, από λίγα νοικοκυριά λόγω της μεγάλης θερμογόνου δύναμής του. Τα αμπελοκλήματα δεν αξιοποιούνται επαρκώς κυρίως λόγω των προβλημάτων αποθήκευσης, αλλά χρησιμοποιούνται μερικά στο φούρνο, στην επεξεργασία του κρασιού και σε κάποιους ανοιχτούς χώρους. Αντιθέτως τα κλαδοδέματα πετιούνται σχεδόν ολοκληρωτικά λόγω των προβλημάτων συλλογής. Ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται τα άχυρα για την κάλυψη αναγκών σε ζωτροφές. Κύρια μορφή βιομάζας στην κοινότητα είναι το ξύλο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας και σε φούρνους. Εδώ θα αναφέρουμε και την ύπαρξη παράνομης υλοτομίας.

Ο οικιακός τομέας είναι αυτός με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ξύλου, αφού χρησιμοποιείται από τα 3/4 των μόνιμων κατοίκων σαν κύριο μέσο θέρμανσης. (Η μικρή απόδοση του τζακιού έχει στρέψει τους κατοίκους στη χρήση ξυλόσομπας). Στο μέσο νοικοκυριό καταναλώνονται ετησίως γύρω στους **2.5 - 3** τόνους και συνολικά στον οικιακό τομέα περίπου 650 τόνοι, ποσότητα που προέρχεται από την ίδια την κοινότητα.

Στον επαγγελματικό τομέα το ξύλο χρησιμοποιείται στο αρτοποιείο, στα καφενεία και ως πρώτη ύλη στα επιπλοποιεία. Στο φούρνο του αρτοποιείου καταναλώνονται περίπου 50 τόνοι ετησίως. Τα καφενεία αγοράζουν τα ξύλα από τους ντόπιους και καταναλώνουν περίπου άλλους 50 τόνους ετησίως. Στα επιπλοποιεία το ξύλο προέρχεται από περιοχές εκτός του νησιού, ενώ το παραγόμενο πριονίδι χρησιμοποιείται από μερικά νοικοκυριά ως καύσιμη ύλη.

Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο ότι συνολικά καταναλώνονται 750 τόνοι ξύλου ετησίως.

Στην Απείρανθο τα ζωικά κατάλοιπα, τα αστικά απόβλητα και τα παραπροϊόντα επεξεργασίας ζωικών προϊόντων δεν είχαν αντιμετωπισθεί προσεκτικά μέχρι το 1988, δηλαδή δεν πραγματοποιούταν ικανοποιητική επεξεργασία ή συλλογή. Παράλληλα εκτιμάται ότι ο όγκος των παραγόμενων παραπροϊόντων της επεξεργασίας του ξύλου είναι αμελητέος. Επομένως ο όρος **βιομάζα** εδώ αφορά κυρίως τα **φυτικά προϊόντα** και **παραπροϊόντα** με προέλευση τις ιδιωτικές καλλιέργειες, τους βοσκότοπους με τους θάμνους και τις δασικές εκτάσεις.

Βεβαίως πρέπει να αναφερθεί ότι από την περιοχή απουσιάζουν τα δάση με τη μορφή που συναντιούνται στην υπόλοιπη χώρα. Στις ιδιωτικές εκτάσεις καλλιεργούνται ελαιόδεντρα, φρουτόδεντρα (αχλαδιές, κυδωνιές, καρυδιές, δαμασκηνιές, κ.ά.), αμπέλια και δημητριακά, ενώ στις υπόλοιπες κοινοτικές δασικές εκτάσεις υπάρχουν θάμνοι, πρινιές και δρυς. Γενικά οι καλλιέργειες κρίνονται περιορισμένες και "ξερικές". Στον Πίνακα 8.5-3 που ακολουθεί παρουσιάζεται το δυναμικό της παραγόμενης βιομάζας.

ΕΙΔΟΣ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ΤΟΝΟΙ / ΕΤΟΣ)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΑ (MJ/Kg)
Ελαιοπυρήνας	Ελαιόδεντρα	410	17.6
Ελαιοκλαδέματα	Ελαιόδεντρα	58	20.0
Κλαδοδέματα	Φρουτόδεντρα	22	18.0
Αμπελοκλήματα	Αμπέλια	210	18.5
Άχυρα	Δημητριακά	60	17.6
Καυσόξυλα	Δάση-θάμνοι	2.600	18.8

Πίνακα 8.5-3: Δυναμικό της παραγόμενης βιομάζας της Απειράνθου.

8.5.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗ

Όπως είναι γνωστό η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους: απευθείας καύση, παραγωγή ενεργειακής αλκοόλης, θερμοχημική μετατροπή και μεθανοποίηση μέσω αναερόβιας βιοχημικής διαδικασίας. Τα οφέλη από μία τέτοια αντιμετώπιση είναι πολλαπλά: Απαλλάσσεται το περιβάλλον από δυσβάστακτα φορτία, ενεργοποιείται η τοπική οικονομία, εξισορροπείται η διόγκωση του τουρισμού, ξαναδίνει ερευνητική προτεραιότητα στη δασική οικονομία, και τέλος βελτιώνει την ενεργειακή αυτοδυναμία του συστήματος.

Η βιομάζα αποτελεί την μοναδική ήπια μορφή ενέργειας που μπορεί να δώσει καύσιμες ύλες, ελαττώνοντας έτσι τα προβλήματα μεταφοράς και αποθήκευσης, χωρίς να συνεπάγεται τα βασικά μειονεκτήματα των μη ανανεώσιμων πηγών, (οικολογικές διαταραχές, ανανεώσιμη μορφή). Επιπλέον δεν πρέπει να θεωρηθεί ασήμαντο το γεγονός ότι μένει αναξιοποίητη σε μεγάλο τμήμα (π.χ. παραπροϊόντα οικιακών χρήσεων).

Για την πλήρη αξιοποίηση της βιομάζας πρέπει να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της οικονομικότερης συγκέντρωσης της πρώτης ύλης στη μονάδα επεξεργασίας κυρίως για δύο λόγους:

1. Παρουσιάζεται σημαντική διασπορά χρήσιμης πρώτης ύλης στο χώρο γύρω από την κοινότητα.
2. Η φαινόμενη πυκνότητα της βιομάζας είναι χαμηλή.

Εκτιμάται ότι ένα ποσοστό 30% των ξύλων που κόβονται και προορίζονται για καύση πετιούνται στον τόπο συλλογής εξαιτίας του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνουν τα κλαδιά. Αυτό ξεπερνιέται τεχνολογικά τώρα πια με **μπρικετοποίηση** (εφαρμοζόμενη στην Ουγγαρία ήδη το 1988).

Με δεδομένη την ύπαρξη βιομάζας και την πρόσβαση σε αυτήν κρίνεται απαραίτητη η αναβάθμιση των τζακιών για τη βελτίωση της απόδοσης τους. Δύο τρόποι που προτείνονται στην συγκεκριμένη μελέτη είναι οι παρακάτω:

1. Τζάκια με παροχή ζεστού νερού που εκμεταλλεύονται μέχρι και το 90% της παραγόμενης θερμότητας.
2. Τζάκια με παροχή θερμού αέρα με απόδοση περίπου 60%.

Ένα άλλο πρόβλημα που χρήζει αντιμετώπισης είναι αυτό της θερμομόνωσης. Τα παλιά σπίτια εκτιμήθηκε ότι έχουν μέσο θερμικό συντελεστή αγωγιμότητας $K=2.20 \text{ kcal/h/m}^2/^{\circ}\text{C}$. Κάθε προσπάθεια μόνωσης των υπαρχόντων κτιρίων δημιουργεί προβλήματα τεχνικής, αισθητικής ή λειτουργικής φύσεως, αλλά και ελάττωσης του εσωτερικού διαθέσιμου χώρου ή μεταβολή της εξωτερικής εμφάνισης. Ωστόσο, η μόνωση της οροφής είναι σχετικά απλή χωρίς να δημιουργεί σοβαρά προβλήματα. Εκτιμήθηκε ότι η εφαρμογή του κώδικα περί θερμομονώσεως μόνο των οροφών θα εξοικονομούσε 680 kWh θερμικών απωλειών, δηλαδή περίπου τόση θερμότητα όση προσφέρεται με τη χρήση ηλεκτρικών σομπών για τη θέρμανση κάθε νοικοκυριού.

Για την οικονομική βελτίωση θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένας εναλλακτικός τρόπος διαχείρισης της βιομάζας. Παρακάτω αναφέρονται δύο δυνατότητες που κρίθηκαν ως πιο βιώσιμες:

- ♦ **A:** Δημιουργία κοινοτικής επιχείρησης που θα συλλέγει, θα μεταφέρει και θα αποθηκεύει εξασφαλίζοντας έτσι την πρώτη ύλη σε συμφέρουσες τιμές. Κύρια πλεονεκτήματα της είναι οι οικονομίες κλίμακας και ο περιορισμός της ανεξέλεγκτης εντατικής εκμετάλλευσης της φύσης.

- ◆ **B:** Δημιουργία διακοινοτικής επιχείρησης, με απαραίτητες προϋποθέσεις την ύπαρξη άλλων κοινοτήτων με ανάλογο ενδιαφέρον (αφθονία βιομάζας), τις δυνατότητες αρμονικής συνεργασίας σε ισότιμη βάση, τη βελτιστοποίηση των μέσων μεταφοράς και την εύκολη εφαρμογή τεχνολογίας και εμπειρίας μεταξύ των κοινοτήτων.

Η δημιουργία αναπτυξιακού συνδέσμου κρίνεται προτιμότερη για λόγους ενδο-περιφερειακής ολοκλήρωσης σε ότι αφορά τους πόρους, καθώς και για λόγους τοπικής δυναμικής με δυνατότητα παρέμβασης και σε άλλα πεδία.

8.5.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για την επιτυχία της ανάπτυξης τεχνολογιών παραγωγής και χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Απείρανθο απαιτείται η μελέτη των παρακάτω παραγόντων:

1. Πόροι, όπως ανεμολογικά χαρακτηριστικά, ροές νερού, ενέργεια, παραγωγικότητα σε βιομάζα.
2. Τεχνολογίες, δηλαδή απαιτούμενος εξοπλισμός και γνώσεις για τη μετατροπή των υφιστάμενων πόρων με στόχο την κάλυψη συγκεκριμένων ανθρώπινων αναγκών και στόχων.
3. Οργάνωση για την ανάπτυξη της περιοχής (χρηματοδότηση, σχεδιασμός, κατασκευές) και για τη λειτουργία, συντηρητική διαχείριση, καθώς και την απόκτηση χρήσιμων μαθημάτων στα πιο πάνω εγχειρήματα.

Συστηματικές προσπάθειες έχουν παρατηρηθεί μόνο στον τομέα των πόρων, ενώ είναι λίγες οι ενδείξεις για την οργάνωση και διαχείριση και κυρίως για τη μάθηση μέσω πειραματισμού. Αν δεν δοθεί η απαραίτητη προσοχή, οποιεσδήποτε κατασκευές προκύψουν κινδυνεύουν να οδηγηθούν στην εγκατάλειψη και τη φθορά, όπως έγινε και με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι μελετητές συμπέραναν ότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πέντε βασικές ανάγκες του συστήματος:

- (1) Η ήπια επέμβαση στη φύση.
- (2) Η αριστοποίηση της λειτουργίας του κυκλώματος συλλογής-μεταφοράς-αποθήκευσης.
- (3) Η μελέτη των εναλλακτικών χρήσεων, με προτεραιότητα στα τζάκια.

- (4) Μελέτη των επιδράσεων και αντιδράσεων από κάθε πλευρά τεχνολογικής φύσης στο σύστημα.
- (5) Προσεκτική αντιμετώπιση του θέματος "διυλιστήριο βιομάζας", δηλαδή αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή καυσίμων.

Συγχρόνως πρέπει να ελαχιστοποιηθούν δύο βασικά μεγέθη - στόχοι τους συστήματος:

- ◆ Η απαιτούμενη ενέργεια, κυρίως με μεθόδους εξοικονόμησης.
- ◆ Το κόστος της, με την χρήση μορφών σχετικά φθηνών, από τις οποίες η βιομάζα φαίνεται ικανή να παίξει αυτό το ρόλο.

Ένα τέτοιο πλέγμα αναγκών που αφορά την τοπική κοινωνία καθορίζει ένα προσδιοριστικό παράγοντα των διαφόρων προγραμμάτων που μπορούν να εφαρμοσθούν σε τοπικό επίπεδο.

8.6 ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ "HRAP"

8.6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραγωγής βιομάζας σε σύστημα αερόβιας δεξαμενής φυκών υψηλής απόδοσης (HRAP), βασιζόμενο σε προσομοίωση του ανοικτού συστήματος με ομοιογενή βιοαντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε από την Ερευνητική Ομάδα Ανάλυσης Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, και αποδεικνύει ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός οδηγεί σε εξοικονόμηση επιφάνειας. Συγχρόνως μελετήθηκε η ευαισθησία της σχετικής συχνότητας της αναμενόμενης ημερήσιας παραγωγής βιομάζας στις μεταβολές των τιμών των εξωγενών και ενδογενών χαρακτηριστικών μεταβλητών όπως η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια και ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα, αντίστοιχα.

Η υψηλής απόδοσης αερόβια δεξαμενή φυκών (HRAP) είναι μία ρηχή δεξαμενή επεξεργασίας αποβλήτων όπου η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει μέχρι τον πυθμένα, με συνέπεια τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών σε ολόκληρο το σύστημα, δια μέσου της φωτοσύνθεσης, και την παραγωγή φυτικής βιομάζας. Στη δεξαμενή αυτή η συνύπαρξη βακτηρίων και φυκών βασίζεται σε μία αμοιβαία ωφέλιμη ή συμβιωτική σχέση: τα φύκη παράγουν φωτοσυνθετικά το οξυγόνο που απαιτείται προκειμένου τα αερόβια ετερότροφα βακτήρια να οξειδώσουν τα οργανικά απόβλητα, των οποίων η αποδόμηση ελευθερώνει ανόργανα θρεπτικά συστατικά απαραίτητα για την ανάπτυξη της φυτικής βιομάζας. Αυτή η παραγωγή βιομάζας είναι μικρότερη της αντίστοιχης για επιφανειακές καλλιέργειες που φθάνει μέχρι $27.5 \text{ g/m}^2\text{-d}$, αλλά είναι σημαντική αφού σε ορισμένες περιοχές της χώρας φθάνει $13 \text{ g/m}^2\text{-d}$.

Στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται ο βέλτιστος σχεδιασμός μίας HRAP για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της παραγωγής βιομάζας με τη μορφή κυτταρικών ιστών που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή, μετά από ξήρανση, ώστε να μειωθεί το κόστος της επεξεργασίας των αποβλήτων. Τα δεδομένα της προσομοίωσης που αναφέρονται στην ηλιακή ακτινοβολία βασίζονται σε μετρήσεις που έχουν γίνει στο Τυμπάκι από την Ε.Μ.Υ., επειδή

από προηγούμενες μελέτες η εγκατάσταση και λειτουργία συστήματος HRAP στην Κρήτη εμφανίζει ορισμένα συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι (α) της εγκατάστασης και λειτουργίας όμοιων συστημάτων σε περιοχές της βόρειας ή κεντρικής Ελλάδας και (β) των άλλων τύπων ανοικτών δεξαμενών που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

8.6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός των δεξαμενών με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής βιομάζας γίνεται με μέσες τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας για το δυσμενέστερο μήνα Δεκέμβριο και με τα παρακάτω δεδομένα: παροχή εισόδου-εξόδου $Q=0.25 \text{ MG/d}$, ύψος υπεράνω της επιφάνειας της θάλασσας $e=100 \text{ ft}$, BOD εισόδου $Lo=270-20i \text{ mg/l}$ ($i=1,2,\dots,6$), BOD εξόδου 25 mg/l και βάθος $D_i \text{ (ft)}$ εξαρτώμενο από τη μείωση του BOD (mg/l). Όπως προκύπτει από τους Πίνακες 8.6-1 και 8.6-2, οι τιμές της απαιτούμενης επιφάνειας είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που είχαν εκτιμηθεί σε προηγούμενες εργασίες, όπου δεν είχε χρησιμοποιηθεί προσομοίωση με κινητό υπόδειγμα βιοαντιδραστήρα.

ΠΕΡΙΟΧΗ	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Κομοτηνή	10,798	9,827	8,871	7,923	6,953	5,999
Άρτα	8,436	7,689	6,928	6,187	5,431	4,684
Αλιάρτος	7,318	6,662	6,008	5,362	4,711	4,064
Ανδραβίδα	7,367	6,715	6,057	5,400	4,747	4,095
Ν. Φιλαδέλφεια	6,960	6,344	5,728	5,107	4,489	3,868
Τυμπάκι	6,114	5,567	5,028	4,481	3,939	3,394

Πίνακας 8.6-1: Προσδιορισμός της επιφάνειας A_i (acres) δεξαμενών τύπου HRAP για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της συμπαραγωγής βιομάζας $P \text{ (g/m}^2\text{-d)}$ για τον δυσμενέστερο μήνα Δεκέμβριο. Το βάθος D_i εξαρτάται από το BOD εισροής $Lo=270-20i$ ($i=1,2,\dots,6$).

ΠΕΡΙΟΧΗ	E'%	T	P _{max}	T'	P'
Κομοτηνή	15,131	5,70	1,544	6,714	2,511
Άρτα	18,322	4,75	2,053	5,817	3,185
Αλίαρτος	24,482	4,55	2,204	6,024	3,396
Ανδραβίδα	18,689	4,35	2,371	5,343	3,631
Ν. Φιλαδέλφεια	21,382	4,30	2,428	5,471	3,712
Τυμπάκι	11,321	3,65	3,137	4,117	4,471

Πίνακας 8.6-2: Μέσο ποσοστό εξοικονόμησης επιφάνειας E' (%), σε σχέση με την εκτιμώμενη σε μία προηγούμενη μελέτη. Βέλτιστος χρόνος παραμονής T οργανικών αποβλήτων στην HRAP και μέγιστη παραγωγή βιομάζας P_{max} (g/m²-d) στις δυσμενέστερες συνθήκες. Οι στήλες T'=V/Q και P' δίνουν τις αντίστοιχες τιμές μίας άλλης μελέτης.

Η λειτουργία των δεξαμενών HRAP ως προς την παραγωγή βιομάζας, με δεδομένα για την περιοχή Τυμπάκι Κρήτης, παρουσιάζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Η μετατόπιση των υψηλών τιμών σχετικής πυκνότητας F (%) της αναμενόμενης ημερήσιας παραγωγής βιομάζας P (g/m²-d) είναι χαρακτηριστική για κάθε μήνα και οφείλεται κυρίως στη μορφή του υποδείγματος και στη σχετική τιμή της τυπικής απόκλισης της ηλιοφάνειας για το συγκεκριμένο μήνα.

Η πολυπλοκότητα των διαγραμμάτων και η ευαισθησία της απόκρισης της F επιβεβαιώνουν την άποψη που έχει επικρατήσει στην πράξη, δηλαδή ότι οι δεξαμενές HRAP παρουσιάζουν πολλά προβλήματα ελέγχου για να λειτουργήσουν κοντά στο optimum και ότι χρειάζεται ολιγομελές αλλά εξαιρετικά έμπειρο προσωπικό. Παράλληλα αποδεικνύεται η ουσιαστική βοήθεια που μπορεί να προσφέρει η προσομοίωση της λειτουργίας της δεξαμενής στη βραχυχρόνια πρόβλεψη της απόκρισης του συστήματος.

Σημειώνεται ότι η επιτυγχανομένη με τη βελτιστοποίηση μείωση της επιφάνειας της HRAP είναι δυνατόν να επηρεάσει σημαντικά τη λήψη απόφασης σχετικά με την επιλογή HRAP ή σειράς ανοικτών δεξαμενών επεξεργασίας αποβλήτων (αναερόβια - σηπτική - ωρίμανσης). Επίσης η

αύξηση του βάθους της HRAP οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης βιομάζας, ενώ υπό ορισμένες προϋποθέσεις ένα πρόσθετο πλεονέκτημα μίας στρατηγικής αυξομείωσης του βάθους είναι η δυνατότητα μετατροπής μέρους της HRAP σε ιχθυοκαλλιεργητική δεξαμενή, ορισμένες εποχές του έτους.

8.6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παραπάνω παρουσιάζεται ένα γενικευμένο υπόδειγμα βασισμένο σε μία μόνο συνάρτηση για την παραγωγή της βιομάζας σε σύστημα δεξαμενής HRAP που επεξεργάζεται οργανικά απόβλητα. Το υπόδειγμα της προσομοίωσης με βιοαντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας σε συνθήκες σταθεροποιημένης κατάστασης (χωρίς ανακύκλωση και χωρίς τον ειδικό όρο μείωσης της συγκέντρωσης βιομάζας) δίνει αποτελέσματα τα οποία προσεγγίζουν αντίστοιχες τιμές που έχουν εκτιμηθεί, με μία αλγοριθμική διαδικασία βασισμένη σε εμπειρικά υποδείγματα, από τους ίδιους μελετητές σε προηγούμενες μελέτες τους.

Παράλληλα αποδεικνύεται ότι μία ουσιαστική εξοικονόμηση επιφάνειας της ανοικτής δεξαμενής HRAP είναι δυνατόν να επιτευχθεί με το χρησιμοποιούμενο υπόδειγμα (περιλαμβανομένου του ειδικού όρου μείωσης της συγκέντρωσης βιομάζας).

Η λειτουργία των δεξαμενών, ως προς την παραγωγή βιομάζας, παρουσιάζεται με τη μορφή διαγραμμάτων για την περιοχή Τυμπάκι Κρήτης και για κάθε μήνα του έτους. Τα διαγράμματα αυτά στηρίζονται σε δεδομένα προσομοίωσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και δίνουν πληροφορίες που βοηθούν στην προσέγγιση optimum συνθηκών για την παραγωγή βιομάζας στην πράξη.

Στο Παράρτημα Β' περιέχονται τα διαγράμματα Β.1 έως Β.12 που δείχνουν την εξάρτηση της σχετικής συχνότητας F της αναμενόμενης ημερήσιας παραγωγής βιομάζας P από το χρόνο παραμονής στην δεξαμενή HRAP (με χρήση της μαθηματικής μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo για δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας στο Νότιο Αιγαίο).

8.7 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΣΑΝ ΜΕΘΟΔΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΩΝ ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑΤΟΠΟΙΕΙΩΝ

8.7.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίηση των αποβλήτων των οινοπνευματοποιείων (βινάσσα) εφαρμόστηκε μία νέα μέθοδος **αναερόβιας χώνευσης** στην **θερμόφιλη περιοχή** (53-55 °C). Με την μέθοδο αυτή ξεπεράστηκαν τα προβλήματα υψηλής συγκέντρωσης SO_4^{2-} , NH_4^+ και οργανικού φορτίου, καθώς και τα καθημερινά της ποιότητας και της ποσότητας του αποβλήτου. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας τριών βιομηχανικών μονάδων επεξεργασίας όλων των ειδών βινάσσας με την νέα μέθοδο μετά από την συστηματική παρακολούθηση τους επί τέσσερα έτη. Επίσης επιχειρείται και μία οικονομική εκτίμηση των αποτελεσμάτων αυτών από την άποψη της παραγωγής ενέργειας.

Σχεδόν όλοι οι βιομηχανικής κλίμακας αναερόβιοι χωνευτήρες λειτουργούσαν κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980 στην μεσόφιλη περιοχή (35°C). Λαμβάνοντας ως δεδομένο ότι το κόστος της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται βασικά από τον όγκο των χωνευτήρων καθώς επίσης και το γεγονός ότι στην μεσόφιλη περιοχή απαιτείται μία παραμονή των αποβλήτων από 3 έως 6 εβδομάδες, η αναερόβια χώνευση δεν είχε βρει μέχρι τότε εφαρμογή σαν μία μέθοδο παραγωγής ενέργειας αλλά μόνο σαν μία μέθοδο απορρύπανσης.

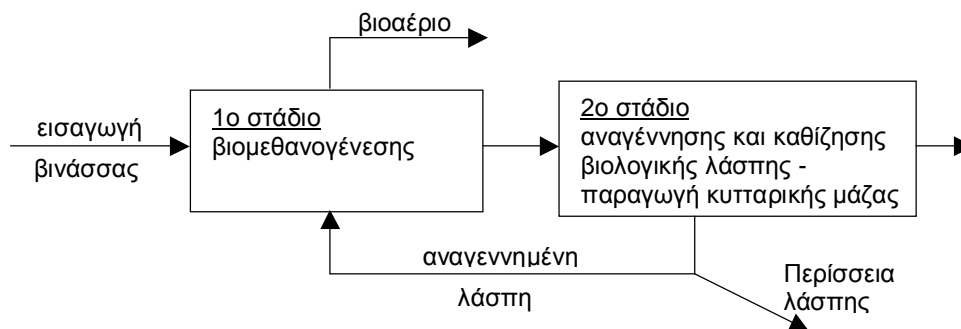
Το παγκόσμιο ενδιαφέρον για την θερμόφιλη αναερόβια χώνευση υγρών και στερεών αποβλήτων συνεχώς αυξανόταν, γιατί στη θερμοκρασία των 50-60 °C έχουμε τα παρακάτω πλεονεκτήματα: μεγαλύτερη παραγωγή μεθανίου, υπερδιπλάσια ταχύτητα βιοαποικοδόμησης των οργανικών στερεών, μικρότερη παραγωγή λάσπης. Ωστόσο η περιοχή αυτή έχει και ένα μεγάλο μειονέκτημα: την μεγάλη αστάθεια των βιοαντιδραστήρων στην τοξικότητα των διαφόρων υποστρωμάτων όπως των SO_4^{2-} , NH_4^+ , μεταλλικών ιόντων και πτητικών οξέων. Το μειονέκτημα αυτό καθιστά την αναερόβια χώνευση στην θερμόφιλη περιοχή πρακτικά ανεφάρμοστη.

Μετά από έρευνες από το 1980, με σκοπό την παράκαμψη των παραπάνω δυσκολιών, στο εργαστήριο της Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. βρέθηκε μία νέα μέθοδος που καθιστά την **θερμόφιλη αναερόβια χώνευση σταθερή** ακόμα και σε υψηλά φορτισμένα και τοξικά απόβλητα, όπως είναι οι βινάσσες και τα απόβλητα των ελαιουργείων.

Το 1988 με την μέθοδο αυτή λειτουργούσαν με επιτυχία τρεις βιομηχανικές μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων οινοπνευματοποιείων που παράγουν ημερησίως 4-5 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου υπό τη μορφή μεθανίου.

8.7.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος που εφαρμόστηκε μοιάζει με την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης contact activated sludge αλλά έχει σημαντικές διαφορές από αυτήν. Αποτελείται από δύο στάδια, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8.7-1.



Διάγραμμα 8.7-1: Τα δύο στάδια της μεθόδου.

Το πρώτο στάδιο, το στάδιο της **μεθανογένεσης**, αποτελείται από έναν αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας, τύπου sludge bed, που αναδεύεται κυρίως από την παραγωγή του βιοαερίου που λειτουργεί με τις παρακάτω συνθήκες:

$$\text{pH} = 7.6 \pm 0.3$$

$$\text{θερμοκρασία} = 51.6 \pm 3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{ογκομετρική τροφοδοσία} = 7 \text{ Kg COD/m}^3 \text{ αντιδραστήρα}$$

$$\text{συγκέντρωση HCO}_3^- = 100 - 150 \text{ g/l}$$

$$\text{υδραυλικός χρόνος παραμονής} = 10 \text{ ημέρες}$$

χρόνος παραμονής των στερεών = 22 ημέρες

Το δεύτερο στάδιο, το στάδιο της **παραγωγής κυτταρικής μάζας**, αποτελείται από έναν αντιδραστήρα ασυνεχούς λειτουργίας που βρίσκεται κάτω από τις εξής συνθήκες:

pH = 10.5

θερμοκρασία = 50°C

υδραυλικός χρόνο παραμονής = 2.5 ώρες

Στο πρώτο στάδιο οι πρωτεύουσες βιοαντιδράσεις είναι οι βιοαντιδράσεις παραγωγής μεθανίου, ενώ στο δεύτερο στάδιο είναι οι βιοαντιδράσεις παραγωγής κυτταρικής μάζας η οποία κροκιδώνεται, καθιζάνει και επιστρέφει στον 1ο βιοαντιδραστήρα. Η συνεργασία των δύο βιοαντιδραστήρων επιτρέπει την σωστή λειτουργία του αντιδραστήρα της μεθανογένεσης ακόμα και σε συγκεντρώσεις 20 g/l σε πτητικά οξέα, 8 g/l σε SO_4^{2-} και 5 g/l σε NH_4^+ .

8.7.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η νέα αυτή μέθοδος σε σχέση με τις κλασικές παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Έχει σταθερότητα τόσο στην μεσόφιλη όσο και στην θερμόφιλη περιοχή.
2. Μπορεί να εφαρμοστεί σε απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο (μέχρι 50g BOD₅/l) καθώς και σε υψηλή τοξικότητα του υποστρώματος.
3. Παράγεται περισσότερο βιοαέριο (περίπου 30%) που αντιστοιχεί σε 3 m³/m³ αντιδραστήρα.
4. Δέχεται μεγαλύτερη ογκομετρική τροφοδοσία (7 Kg COD/m³ αντιδραστήρα).
5. Έχει σταθερότητα στις διακυμάνσεις της τροφοδοσίας και της θερμοκρασίας.
6. Έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος.
7. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο ανέρχεται σε 80-90%.
8. Το H₂S βρίσκεται σε ίχνη στο βιοαέριο, παρόλο που στην υγρή φάση η συγκέντρωση των θειικών είναι μεγάλη.
9. Απαιτούνται φτηνά υλικά κατασκευής.

10. Είναι χαμηλή η κατανάλωση ενέργειας για την ανάδευση του βιοαντιδραστήρα (0.0128 kw/m^3 βιοαντιδραστήρα) λόγω του μικρού όγκου του αντιδραστήρα και της μεγάλης παραγωγής βιοαερίου.
11. Η παραγωγή της βιολογικής λάσπης είναι μικρή.
12. Η αμμωνία εύκολα απομακρύνεται με stripping διότι το pH και η θερμοκρασία είναι υψηλά (10.5 και 50°C αντίστοιχα).

8.7.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που επιδρούν στο κόστος κατασκευής και λειτουργίας της εγκατάστασης για την εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης. Αυτοί είναι οι παρακάτω:

1. Συγκέντρωση τροφοδοσίας σε COD. Αυτό καθορίζει το είδος του βιοαντιδραστήρα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Έτσι όταν η τροφοδοσία είναι μικρότερη από 5 g COD/l , τότε ο καταλληλότερος αντιδραστήρας είναι τύπου fluidized bed (ρευστοποιημένης κλίνης), ενώ όταν είναι μεγαλύτερος από 50 g COD/l καταλληλότερος αντιδραστήρας είναι ο sludge bed.
2. Η συγκέντρωση στερεών στην εισαγωγή. Αυτό καθορίζει την διεργασία, δηλαδή αν θα είναι συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας, αν θα είναι ενός ή δύο σταδίων, αν θα είναι με επιστροφή λάσπης ή χωρίς επιστροφή κ.λ.π..
3. Τοξικότητα του υποστρώματος. Αυτό καθορίζει την απαιτούμενη αραίωση της τροφοδοσίας με την προϋπόθεση ότι η τοξικότητα εξουδετερώνεται κάτω από κάποια συγκέντρωση. Η αραίωση αυτή έχει επίδραση στον όγκο του αντιδραστήρα (αφού ο υδραυλικός χρόνος παραμονής πρέπει να παραμείνει σταθερός) και κατ' επέκταση στο κόστος κατασκευής.
4. Περιεκτικότητα αποβλήτων σε P, N και S.
 - Η έλλειψη φωσφόρου και αζώτου απαιτεί συμπλήρωσή τους με χημικά πρόσθετα. Η απαραίτητη αναλογία σε σχέση με το BOD_5 είναι $\text{BOD}_5/\text{N}/\text{P}=100/2.7/0.2$.
 - Περίσσεια αζώτου απαιτεί πρόσθετο κόστος απομάκρυνσής του.
 - Περίσσεια θείου, εκτός του ότι παρεμποδίζει τις βιοαντιδράσεις, απαιτεί και πρόσθετο κόστος απομάκρυνσης του παραγόμενου H_2S στο βιοαέριο.
5. Παραγωγή μεθανίου Lt. $\text{CH}_4/\text{gr CODr}$.

6. Ογκομετρική τροφοδοσία Kg COD/m³ αντιδραστήρα.
7. Η θερμοκρασία των βιοαντιδραστηρίων που συσχετίζεται με την παραγωγή του μεθανίου καθώς και με την ογκομετρική τροφοδοσία.
8. Συγκέντρωση μεθανίου στο βιοαέριο. Καθορίζει την θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου και επομένως το κόστος των συστημάτων καύσης του.
9. Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη αποκατάσταση της λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα μετά από ένα σταμάτημα της τροφοδοσίας.
10. Ο αριθμός των αναγκαστικών σταματημάτων της λειτουργίας της εγκατάστασης ετησίως.
11. Η απόδοση της διεργασίας (% απομείωση του COD). Αυτή είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της ογκομετρικής παροχής.

Καθορίζοντας τις παραπάνω παραμέτρους με τη βοήθεια εργαστηριακών ερευνών ή καλύτερα με τη λειτουργία μιας πιλοτικής μονάδας (pilot plant) για ένα συγκεκριμένο απόβλητο, μπορούμε να εκτιμήσουμε το κόστος κατασκευής μιας εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης καθώς και το λειτουργικό της κόστος. Έτσι θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε το μέγεθος της βιομηχανικής μονάδας με χρήση της οποίας θα ήταν δυνατό να έχουμε **απόσβεση** των πάγιων κεφαλαίων, δηλαδή να αποτελεί η "μονάδα αναερόβιας χώνευσης" μία "μηχανή παραγωγής ενέργειας".

8.7.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΩΝ ΟΙΝΟΠΝΕΥΜΑΤΟΠΟΙΕΙΩΝ

Η μέθοδος της θερμόφιλης αναερόβιας χώνευσης που περιγράφηκε παραπάνω εφαρμόστηκε στα απόβλητα των οινοπνευματοποιείων, η επεξεργασία των οποίων αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα, σε εργαστηριακή, ημιβιομηχανική και βιομηχανική κλίμακα. Οι μέσες τιμές των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στους Πίνακες 8.7-1 και 8.7-2.

Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών καθώς και του διαγράμματος ροής μίας βιομηχανικού μεγέθους μονάδας αναερόβιας επεξεργασίας (Διάγραμμα 8.7-2), και με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί να γίνει οικονομική ανάλυση για διάφορα μεγέθη εγκαταστάσεων και για όλα τα είδη της βινάσσας.

8.7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύεται πως με την εφαρμογή της νέας μεθόδου που προτείνεται, η αναερόβια χώνευση μπορεί να αποτελέσει εκτός από μέθοδο απορρύπανσης βεβαρημένων αποβλήτων και μία μέθοδο παραγωγής ενέργειας από αυτά.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΠΙΝΑΚΕΣ

$B_{v.COD}$ = ογκομετρική τροφοδοσία Kg COD/m³ αντιδραστήρα και ημέρα

$Y_{CH_4/COD}$ = συντελεστής παραγωγής μεθανίου m³/Kg CODr

CODr = απομειούμενο COD (reduced)

$\gamma_{v.gas}$ = παραγωγή βιοαερίου m³/m³ αντιδραστήρα και ημέρα

BODr = απομειούμενο BOD (reduced)

Διάγραμμα 8.7-2: Σχηματική παράσταση της αναερόβιας χώνευσης βάσει της οποίας έγινε η οικονομική εκτίμηση της μεθόδου κατά την εφαρμογή της στα απόβλητα των οينوπνευματοποιείων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ ΣΑΚΧΑΡΟ- ΤΕΥΤΛΟΥ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ ΣΑΚΧΑΡΟ- ΚΑΛΑΜΟΥ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ ΣΥΚΩΝ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ ΣΤΑΦΙΔΩΝ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ
ρΗ	4.360.5	5.360.8	3.660.5	3.260.5	4.262.9
BOD5 g/l	27.569.5	36.768.7	20.465.5	3062.2	16.361.5
COD g/l	65.5624	112615	35.4615	57.5615	27.562.1
Ολικά στερεά g/l	95625	115637	48.5618	73.2622	36.660.69
Πτητικά στερεά g/l	55615	83619	32612	44.5615	32.266.2
Αιωρούμενα στερεά g/l	4.163	4.363.1	2.760.3	2.860.5	1.560.2
Διαλυτά στερεά g/l	85615	100615	-	-	-
Πτητικά οξέα g/l	1.9560.18	2.560.5	3.261.5	3.260.35	1.160.6
Ολικό άζωτο mg/l	7506150	12006500	8806180	7506150	6506120
N-NH ₄ mg/l	70630	64632	14615	27610	2806120
Ολικός φώσφορος mg/l	-	-	165650	220660	-
Οργανικός φώσφορος mg/l	100650	-	1065	2065	-
Ορθοφω- σφορικά mg/l	-	-	78615	62615	-
SO ₄ ²⁻ mg/l	350061050	665062595	8986180	4806150	120655
K ₂ O mg/l	670063500	1250067500	-	-	-
Fe ²⁺ /Fe ³⁺	150625	-	15610	36610	-
NO ₃ ⁻ mg/l	-	-	50615	-	-

Πίνακας 8.7-1: Ανάλυση αποβλήτων οινοπνευματοποιείων. Μέση τιμή από συστηματική δειγματοληψία τριών βιομηχανιών κατά την διάρκεια 1981-1987.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ	ΒΙΝΑΣΣΑ ΑΠΟ ΜΕΛΑΣΑ
	ΣΑΚΧΑΡΟΤΕΥΤΛΟΥ	ΣΑΚΧΑΡΟΚΑΛΑΜΟΥ	ΣΥΚΩΝ	ΣΤΑΦΙΔΩΝ	ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ
Παραγωγή βιοαερίου m ³ /m ³ -d	2.84	2.72	3.3	3.47	2.99
Παραγωγή βιοαερίου m ³ /Kg CODr	0.57	0.51	0.59	0.59	0.49
Ογκομετρική τροφοδοσία KgCOD/m ³ -d	7.34	7.51	7.43	7.32	7.48
Μέγιστη παροχή τροφοδοσίας m ³ /m ³ -d	0.127	0.09	0.185	0.201	0.195
Μέγιστη παραγωγή βιοαερίου m ³ /d	4500 *	2179 **	2734 **	2839 **	2396 **
Περιεκτικότητα βιοαερίου σε CO ₂ %	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
Βιοαποικοδόμηση του BOD ₅ %	86	84	92	93	91
Βιοαποικοδόμηση του COD %	67	72.3	77.3	82.5	80
Βιοαποικοδόμηση των αιωρούμενων στερεών %	65	49	72	62	52
Βιοαποικοδόμηση του SO ₄ ²⁻ %	5	8	1	1	1
Παραγωγή αναερόβιας λάσπης Kg/Kg BODr	-	-	0.08	-	-

Πίνακας 8.7-2: Αποτελέσματα της αναερόβιας χώνευσης της βινάσσας στην θερμόφιλη περιοχή. Συλλογή δεδομένων από την λειτουργία τριών βιομηχανικών μονάδων κατά την χρονική διάρκεια 1984-1988.

(*) : συνολικός όγκος αντιδραστήρα 2000 m³

(**) : συνολικός όγκος αντιδραστήρα 800 m³

9. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

9.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σήμερα είναι ευρύτατα διαδεδομένα στις ευρωπαϊκές χώρες τα δίκτυα τηλεθέρμανσης. Τέτοια δίκτυα λειτουργούν στην Πτολεμαΐδα και στην Κοζάνη, ενώ στην κοινότητα Νυμφασίας του Νομού Αρκαδίας λειτουργεί κεντρική μονάδα θέρμανσης με βιομάζα (δασικά υπολείμματα) και με κατάλληλο δίκτυο διανομής θερμαίνονται όλα τα σπίτια του χωριού.

Εκτός από τα δίκτυα τηλεθέρμανσης, σήμερα χρησιμοποιούνται συστήματα θέρμανσης πλήρως αυτοματοποιημένα, τα οποία λειτουργούν με θρυμματισμένο ξύλο (wood chips) ή φιλοτεμαχισμένο ξύλο (wood pellets). Τα συστήματα αυτά λειτουργούν αποτελεσματικά με την ίδια ευκολία όπως και τα συστήματα με φυσικό αέριο ή πετρέλαιο, πράγμα που κάνει για πρώτη φορά δυνατή την ικανοποίηση των αναγκών θέρμανσης με βιομάζα εξίσου εύκολα όπως με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Σημειώνεται επίσης ότι το ξύλο είναι ανανεώσιμη ύλη και επομένως το προϊόν της καύσης του είναι ουδέτερο στο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), αφού δεν συμβάλει στην αύξησή του. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ποσότητες CO₂ που απελευθερώνονται κατά την καύση και αποσύνθεση της βιομάζας (μετατροπή ενέργειας) είναι ίσες με αυτές που δεσμεύονται κατά την παραγωγή της. Το ξύλο και γενικά η βιομάζα είναι επίσης μία εγχώρια πηγή ενέργειας, διαθέσιμη σε ικανοποιητικές ποσότητες σε πολλές περιοχές της χώρας μας. Επίσης η χρήση ξύλου και βιομάζας γενικότερα για θέρμανση σπιτιών δημιουργεί θέσεις απασχόλησης στη γεωργία και την δασοπονία. Γιατί λοιπόν να χρησιμοποιούμε ακόμα συστήματα θέρμανσης με άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο;

Καυσόξυλα

Τα καυσόξυλα κόβονται σε τεμάχια "έτοιμα για τον καυστήρα" μήκους 25 έως 50 εκατοστών. Για να εξασφαλιστεί καλή ποιότητα με ικανοποιητική απόδοση επιβάλλεται πριν από τη χρήση τους να αποθηκεύονται για να ξηραθούν. Επιδιώκεται η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία να είναι μικρότερη ή ίση με 20%.

Θρυμματισμένο ξύλο

Τα ξύλα κόβονται σε μικρά τεμάχια (wood chips) από ειδικές μηχανές. Το θρυμματισμένο ξύλο χρησιμοποιείται για την αυτόματη λειτουργία συστημάτων θέρμανσης. Τα τεμάχια καλής ποιότητας, μεγέθους περίπου 3cm, είναι κατάλληλα για μικρές εγκαταστάσεις θέρμανσης. Η ποιότητα και η καλή αποθήκευσή τους εξαρτώνται από την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει το 30%.

Σύμπηκτα ξύλου

Τα σύμπηκτα ξύλου (wood pellets) είναι μικρά κυλινδρικά τεμάχια που προέρχονται από υποπροϊόντα ξύλου, όπως πριονίδια, ροκανίδια κ.λ.π.. Τα σύμπηκτα συμπιέζονται μηχανικά, χωρίς χημικά πρόσθετα, και με φυσική ρητίνη ξύλου σαν συνδετικό υλικό. Τα σύμπηκτα έχουν διάμετρο 5 έως 15 mm (κυρίως 6-8 mm), μήκος 10 έως 30 mm και ένα κιλό έχει θερμιδική αξία περίπου 4.9 kWh (κιλοβατώρες).

Παρακάτω ακολουθεί μία συγκριτική αναφορά μεταξύ των παραπάνω μορφών ξύλου:

- Ένα κυβικό μέτρο συμπαγούς ξύλου δίνει 1,4 κυβικά μέτρα στοιβαγμένα καυσόξυλα (σε κορμίδια), ή 2,0 κυβικά μέτρα κομμένα καυσόξυλα ή 2,5 κυβικά μέτρα θρυμματισμένο ξύλο.
- Ένα κυβικό μέτρο ξηρών στοιβαγμένων κορμιδίων ιτιάς έχει θερμιδική αξία 220 λίτρων ελαφρού πετρελαίου, δηλαδή 2.200 kWh.
- Ένα κυβικό μέτρο τεμαχισμένων καυσόξυλων ξηρής ιτιάς έχει θερμιδική αξία 160 λίτρων ελαφρού πετρελαίου, δηλαδή 1.600 kWh.
- Ένα κυβικό μέτρο θρυμματισμένο ξύλο ξηρής ερυθρελάτης έχει θερμιδική αξία 87 λίτρων ελαφρού πετρελαίου, δηλαδή 870 kWh.
- Ένα κυβικό μέτρο σύμπηκτων ξύλου έχει θερμιδική αξία 322 λίτρων ελαφρού πετρελαίου, δηλαδή 3.220 kWh.

9.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΑΥΣΟΞΥΛΑ

Τεμάχια ξύλου μήκους 25-50 cm τοποθετούνται σε φλόγα στο θάλαμο φόρτισης. Τα παραγόμενα αέρια διοχετεύονται μέσα από ένα άνοιγμα στο θερμό θάλαμο καύσης που βρίσκεται δίπλα ή κάτω. Εκεί τα αέρια του ξύλου υφίστανται τέλεια καύση τροφοδοτούμενα με δευτερεύοντα αέρα υψηλής θερμοκρασίας. Τα θερμά αποβαλλόμενα αέρια που προκύπτουν διέρχονται από τον εναλλάκτη θέρμανσης και ακολούθως απομακρύνονται από την καμινάδα.

Παρόλο που η νέα γενιά καυστήρων που λειτουργούν με τεμάχια ξύλου έχει μεγάλες αποδόσεις και μικρές εκπομπές, ακόμα και όταν λειτουργούν υπό μερικό φορτίο, ενδείκνυται σε κάθε περίπτωση η εγκατάσταση ενός χώρου αποθήκευσης θερμότητας (αποθήκη εξισορρόπησης του φορτίου). Μία μονοκατοικία 150 m² με απαίτηση σε ισχύ θέρμανσης 12 kW, μπορεί να θερμανθεί με ένα σύγχρονο καυστήρα με μία μόνο πλήρωση του λέβητα κάθε 24 ώρες. Μόνο σε μερικές εξαιρετικά κρύες χειμωνιάτικες ημέρες μπορεί να καταστεί αναγκαίο να πληρωθεί ο λέβητας δύο φορές. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ένας μεγάλος θάλαμος φόρτισης καθώς και ένας χώρος αποθήκευσης θερμότητας όγκου τουλάχιστον ενός κυβικού μέτρου.

Εικόνα 9.1: Σύστημα θέρμανσης τροφοδοτούμενο με ξύλα.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση αποθηκευμένης θερμότητας είναι:

- Μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης του λέβητα.
- Βέλτιστη διαδικασία καύσης.
- Μεγαλύτερη φιλικότητα προς το χρήστη.

Ισοδυναμία με συμβατικά καύσιμα:

Για μία κατοικία που καταναλώνει σε μία περίοδο θέρμανσης περίπου 2.300 λίτρα ελαφρού πετρελαίου απαιτούνται περίπου 12 m² σκληρού ξύλου, ενώ το σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί σε μονοκατοικίες, διπλοκατοικίες και σε αγροτικές επιχειρήσεις (με κόστος που ξεκινά από 1.850.000_[2000] δραχμές για εγκατάσταση λέβητα με τεμάχια ξύλου και χώρο αποθήκευσης στην Αυστρία).

9.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΘΡΥΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΞΥΛΟ

Το θρυμματισμένο ξύλο μεταφέρεται από την αποθήκη η οποία διαθέτει αναδευτήρα, μέσω ενός κοχλιωτού ιμάντα μέχρι ενός σημείου και πέφτει στο θάλαμο καύσης.

Η συνεχής παροχή του καυσίμου και η ελεγχόμενη παροχή αέρα εξασφαλίζουν συνεχή, καλή απόδοση και προσαρμογή της διαδικασίας καύσης, στην πραγματική απαίτηση σε θερμότητα. Το σύστημα λειτουργεί με διατάξεις ηλεκτρικού ελέγχου που κατευθύνουν τη διαδικασία καύσης. Συσκευές απομάκρυνσης και καθαρισμού για το θερμικό εναλλάκτη είναι επίσης ενσωματωμένες στα συστήματα που τροφοδοτούνται με θρυμματισμένο ξύλο. Οι απαιτήσεις σε καύσιμα για μία νεόχτιστη μονοκατοικία επιφάνειας 150 m² με απαιτήσεις σε θέρμανση 12 kW, είναι περίπου 28 μετρικοί τόνοι θρυμματισμένου μαλακού ξύλου, όπως ερυθρελάτης, πεύκης, κ.λ.π..

Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι:

- Τελείως αυτοματοποιημένη και εξυπηρετική παροχή θερμότητας.
- Βέλτιστη καύση και υψηλή απόδοση.
- Εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές ρύπων - CO₂ : Ουδέτερη καύση.
- Μικρή απαιτούμενη φροντίδα.

Ισοδυναμία με συμβατικά καύσιμα:

Για κατοικία που καταναλώνει για μία περίοδο θέρμανσης 2.300 λίτρα ελαφρού πετρελαίου απαιτούνται 28 τόνοι ξηρού θρυμματισμένου μαλακού ξύλου καλής ποιότητας. Πεδία εφαρμογής αυτού του συστήματος είναι μονοκατοικίες, διπλοκατοικίες, αγροτικές και μικρές εμπορικές επιχειρήσεις καθώς και πολυκατοικίες και σχολεία. Στην Αυστρία ένα σύστημα θέρμανσης τροφοδοτούμενο με θρυμματισμένο ξύλο, συνοδευόμενο από σύστημα μεταφοράς, μηχανισμούς ασφαλείας, μονάδες ελέγχου, αυτόματους αναφλεκτήρες, απόρριψη στάχτης κ.λ.π., κοστίζει κατά ελάχιστο 3.500.000_[2000] δραχμές.

Εικόνα 9.2: Σύστημα θέρμανσης με θρυμματισμένο ξύλο.

9.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΣΥΜΠΗΚΤΑ ΞΥΛΟΥ

Τα σύμπηκτα του ξύλου είναι ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας για αυτομάτως πληρούμενα συστήματα θέρμανσης που λειτουργούν με ξύλα, ακόμα και μικρής ικανότητας (5kW). Ένα τέτοιο σύστημα δουλεύει με τον ίδιο τρόπο όπως ένα σύστημα θέρμανσης τροφοδοτούμενο με θρυμματισμένο ξύλο.

Η ετήσια απαίτηση για μονοκατοικία με εμβαδόν 150 m² και για θέρμανση ισχύος 12 kW είναι περίπου 7,5 τόνοι σύμπηκτων ξύλου, που μπορούν να αποθηκευτούν σε οποιοδήποτε ξηρό μέρος. Ο καυστήρας ενός τέτοιου συστήματος θέρμανσης πληρώνεται αυτόματα μέσω ενός κοχλιωτού μεταφορέα ή με έναν αναρροφητικό μηχανισμό από το χώρο αποθήκευσης. Μία απλή λύση είναι να εγκατασταθεί ένα συμπαγές σύστημα με ένα δοχείο αποθήκευσης χωρητικότητας περίπου ενός κυβικού μέτρου (περίπου 650 κιλά). Σε σύγκριση με το θρυμματισμένο ξύλο, τα σύμπηκτα απαιτούν μόνο το ένα τέταρτο του αποθηκευτικού χώρου. Όταν χρησιμοποιείται αναρροφητικός μηχανισμός είναι αναγκαίο ο χώρος αποθήκευσης και το σύστημα θέρμανσης να βρίσκονται κοντά, κάτι που δεν απαιτείται όταν χρησιμοποιείται κοχλιωτός μεταφορέας, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χώρος αποθήκευσης οποιοσδήποτε ξηρός χώρος της κατοικίας.

Εικόνα 9.3: Σχηματική αναπαράσταση συστήματος θέρμανσης με σύμπηκτα ξύλου.

Ισοδυναμία με συμβατικά καύσιμα:

Για κατοικία που καταναλώνει για μία περίοδο θέρμανσης 2.300 λίτρα ελαφρού πετρελαίου απαιτούνται περίπου 4.800 κιλά σύμπηκτων ξύλου. Το σύστημα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε μονοκατοικίες, διπλοκατοικίες, διαμερίσματα, συμπληρωματικά συστήματα θέρμανσης σε μεμονωμένα δωμάτια ή μεμονωμένα διαμερίσματα. Στην Αυστρία οι τιμές για συστήματα τροφοδοτούμενα με σύμπηκτα ξύλου ξεκινούν από 1.850.000 ή 2.700.000^[2000] δραχμές όταν το σύστημα είναι πλήρως αυτοματοποιημένο.

9.5 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΘΕΡΜΑΣΤΡΕΣ

Η νέα γενιά κεραμικών θερμαστρών έχει σημειώσει τεράστια τεχνολογική πρόοδο, με εκπομπές αερίων εξομοιούμενες με αυτές των λεβήτων αεριοποίησης του ξύλου.

Αυτή η ανάπτυξη κατέστη δυνατή κυρίως με το νέο σχεδιασμό των θαλάμων καύσης, τους χωριστούς αγωγούς πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αέρα καθώς και τις ηλεκτρονικές μονάδες με τις οποίες ελέγχονται ολόκληρη την περίοδο θέρμανσης το φορτίο των καυσόξυλων και η παροχή αέρα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζονται βέλτιστες συνθήκες καύσης και εξαιρετική απόδοση (περισσότερο από 90%). Οι σύγχρονες κεραμικές θερμάστρες είναι επίσης εφοδιασμένες με πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ανάφλεξης καυσίμου.

Πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν αυτές οι κεραμικές θερμάστρες είναι:

- Χαμηλό κόστος καυσίμων.
- Ευχάριστη, υγιεινή θερμική ακτινοβολία.
- Ποικιλία σχεδίων.

Οι κεραμικές θερμάστρες βρίσκουν εφαρμογή ως συστήματα θέρμανσης για μεμονωμένα διαμερίσματα, σαν συμπληρωματική θέρμανση (μεταβατική περίοδος), σαν κύριο και μοναδικό σύστημα θέρμανσης σε σπίτια που χρησιμοποιούν μειωμένη ποσότητα ενέργειας, λόγω ειδικής κατασκευής.

Εικόνα 9.4: Σχέδιο κεραμικής θερμάστρας.

9.6 ΓΙΑΤΙ Η ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ (ΞΥΛΟ) ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΤΙΜΟΤΕΡΗ

Η θέρμανση με χρήση βιομάζας είναι προτιμότερη γιατί είναι φιλική προς το περιβάλλον και "ουδέτερη" σε CO₂. Δηλαδή, το ποσό CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση και την αποσύνθεση της βιομάζας είναι ίσο με το ποσό του CO₂ που προσλαμβάνει το φυτό κατά την παραγωγή της. Για αυτό και η καύση της βιομάζας είναι "ουδέτερη" όσον αφορά στο CO₂.

Οι εκπομπές CO₂ ως αποτέλεσμα καύσης κάρβουνου, πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι ζημιογόνες και καταστροφικές για το περιβάλλον μας. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι αλλαγές στο κλίμα είναι προβλήματα που τα δημιουργούμε εμείς οι ίδιοι.

Η ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιείται σε αειφόρους κύκλους. Αυτός ο τρόπος καθίσταται δυνατός με τη διαχείριση των εγχώριων δασών και άλλων πηγών βιομάζας. Η χρησιμοποίηση εγχώριων πηγών ενέργειας εξασφαλίζει επιπλέον και την ενεργειακή ανεξαρτησία μας.

9.7 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ

9.7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο νομός της Ευρυτανίας είναι ένας από τους πλουσιότερους νομούς της Ελλάδας σε δασική βιομάζα. Το 46.4% της έκτασης της Ευρυτανίας είναι δάση και το 38.1% βοσκότοποι. Επίσης επικρατούν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια του έτους. Για αυτό κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί η θέρμανση με χρήση βιομάζας.

Παρακάτω δίνεται μία περιληπτική περιγραφή της μελέτης που αφορά την οικονομική βιωσιμότητα θέρμανσης με **πολυκαυστήρα βιομάζας** για μία κατοικία στο Καρπενήσι. Για το σκοπό αυτό έγινε επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων της περιοχής, υπολογίστηκε το θερμικό φορτίο της κατοικίας και στη συνέχεια έγινε οικονομική ανάλυση του συστήματος.

9.7.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη είναι από το σταθμό του Αγ. Νικολάου, ενός χωριού πολύ κοντά στο Καρπενήσι, και στο Διάγραμμα 9.1 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία. Έπειτα από επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων έχουμε το Διάγραμμα 9.2, στο οποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε τις ώρες τους έτους για τις οποίες η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από μία δεδομένη τιμή. Έτσι έχουμε ότι για τις 5.000 ώρες περίπου μέσα στο έτος η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη από 10 °C. Για λόγους σύγκρισης αναφέρουμε ότι για την Αθήνα και για την ίδια θερμοκρασία των 10 °C, οι αντίστοιχες ώρες σε ετήσια βάση είναι περίπου 1.300.

Για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου έγινε επιλογή μίας μεσαίου μεγέθους κατοικίας στο Καρπενήσι. Όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατοικίας καθώς και τα θερμοφυσικά στοιχεία του περιβλήματος του κτηρίου εισήχθησαν σε ένα πρόγραμμα που υπολογίζει αναλυτικά το θερμικό φορτίο της κατοικίας.

Για την οικονομική αξιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της καθαρής παρούσας αξίας προς το αρχικό κόστος της εγκατάστασης

(Profitability Index **P.I.**). Η μεθοδολογία αυτή έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για οικονομική αξιολόγηση αρκετών τεχνολογιών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στον Πίνακα 9.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές ορισμένων παραμέτρων απαραίτητων για την οικονομική ανάλυση, με βάση τον Ιανουάριο του 1998.

Στο Διάγραμμα 9.3 παρουσιάζεται ο **P.I.** έναντι της τιμής του συμβατικού καυσίμου, που εδώ έχει θεωρηθεί ότι είναι το πετρέλαιο καύσης. Εδώ υπάρχουν δύο ευθείες για δύο διαφορετικές τιμές του επιτοκίου αναγωγής $d = 0\%$ και $d = 10\%$, ενώ μία ευθεία που αντιστοιχεί στη μηδενική τιμή του **P.I.** χωρίζει το διάγραμμα στην περιοχή θετικών (πάνω) και αρνητικών (κάτω) τιμών του **P.I.**. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι το σύστημα είναι οικονομικά βιώσιμο για τιμές συμβατικού καυσίμου μεγαλύτερες από 40 Δρχ./lt περίπου.

Η οικονομική ανάλυση επεκτάθηκε προκειμένου να υπολογισθεί το κόστος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας από τον πολυκαυστήρα, για διάφορες τιμές της βιομάζας (Διάγραμμα 9.4). έτσι με βάση αυτό το διάγραμμα μπορεί εύκολα να βρεθεί πόσο θα κοστίζει η παραγόμενη kWh με βάση την τιμή της βιομάζας.

Διάγραμμα 9.1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία του περιβάλλοντος για το Καρπενήσι.

Διάγραμμα 9.2: Ώρες χαμηλότερων θερμοκρασιών από μία δεδομένη τιμή.

Διάγραμμα 9.3: **P.I.** για διάφορες τιμές του συμβατικού καυσίμου.

Διάγραμμα 9.4: Κόστος παραγωγής θερμικής ενέργειας για διάφορες τιμές βιομάζας.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΕΣ
Τιμή πετρελαίου θέρμανσης	130 δρχ./ lt
Τιμή βιομάζας	8 δρχ./ kg
Αρχική επένδυση	800.000 δρχ.
Ετήσιο θερμικό φορτίο	32.000 kWh
Οικονομική ανάλυση	15 έτη

Πίνακας 9.2: Τιμές παραμέτρων για την οικονομική ανάλυση.

9.7.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εγκατάσταση πολυκαυστήρα βιομάζας για την περιοχή του Καρπενησίου είναι οικονομικά βιώσιμη σύμφωνα με τα οικονομικά μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν. Η επένδυση εμφανίζεται συμφέρουσα για τιμές συμβατικού καυσίμου (πετρέλαιο) μεγαλύτερες από 40 δρχ./ λίτρο (τιμές 1998).

Ανεξάρτητα από τα οικονομικά συμπεράσματα, θα πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση δασικής βιομάζας που υπάρχει άφθονη στην περιοχή έχει πάρα πολλά οφέλη όχι μόνο σε ατομικό (οικονομικό όφελος) αλλά και σε τοπικό και εθνικό επίπεδο (ελαττωμένες εισαγωγές καυσίμων, μειωμένη ενεργειακή εξάρτηση, μειωμένες εκπομπές αερίων από τη μειωμένη χρήση πετρελαίου, θετική επίδραση στην τοπική οικονομία).

ΤΥΠΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ 2000 ΣΕ ΔΡΧ.)	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΧΩΡΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ/ ΕΤΟΣ	ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
Με ξύλα	1.850.000	12 τόνοι σκληρού ξύλου	Αποθήκευση του καυσίμου, επαναπλήρωση 1-2 φορές ημερησίως
Με θρυμματισμένο ξύλο	3.700.000	28 τόνοι μαλακού ξύλου	Επαναπλήρωση 1-2 φορές το χρόνο, πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία
Με σύμπηκτα ξύλου	1.850.000 ή 2.700.000	7,5 τόνοι	Πλήρως αυτοματοποιημένος μηχανισμός πλήρωσης
Κεντρική θέρμανση συνοικίας	60.000	—	—

Πίνακας 9.1: Συγκριτικός πίνακας των συστημάτων θέρμανσης, για μονοκατοικία με απαιτήσεις θέρμανσης 12 kW.

10. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

10.1 ΓΕΝΙΚΑ

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

- § Τηλεθέρμανση και τηλεψύξη οικισμών, κοινοτήτων, δήμων.
- § Θέρμανση θερμοκηπίων.
- § Παραγωγή θερμότητας σε βιομηχανίες.
- § Συμπαγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση των δύο σημαντικότερων εφαρμογών από τις παραπάνω, της τηλεθέρμανσης/ τηλεψύξης και της συμπαγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

10.2 ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗ / ΤΗΛΕΨΥΞΗ

Τηλεθέρμανση είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μία πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με δίκτυο προμονωμένων αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελείται από τα παρακάτω:

1. Το σταθμό παραγωγής θερμότητας όπου είναι εγκατεστημένος ο κεντρικός εξοπλισμός (λέβητες, καυστήρες, σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, καπνοδόχος, αντλίες κυκλοφορίας, κ.λ.π.).
2. Το δίκτυο διανομής του θερμαίνοντος μέσου, το οποίο μπορεί να είναι θερμό ή υπέρθερμο νερό ή σπανιότερα ατμός, από το σταθμό παραγωγής προς τα θερμαινόμενα κτίρια.

3. Τους υποσταθμούς σύνδεσης, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η σύνδεση των εσωτερικών εγκαταστάσεων θέρμανσης των κτιρίων με το δίκτυο διανομής τηλεθέρμανσης.
4. Τις εσωτερικές εγκαταστάσεις θέρμανσης των κτιρίων (δίκτυα σωληνώσεων, θερμοπομποί, κ.λ.π.).

Οι αγωγοί του δικτύου είναι προμονωμένοι και αποτελούνται από εσωτερικό χαλύβδινο αγωγό, μόνωση πολυουρεθάνης και εξωτερικό προστατευτικό περίβλημα πολυαιθυλενίου. Οι προμονωμένοι αγωγοί τοποθετούνται απευθείας στο έδαφος.

Στη μόνωση πολυουρεθάνης είναι τοποθετημένα σύρματα (συνήθως χάλκινα) έτσι ώστε να εντοπίζονται τα σημεία εμφάνισης υγρασίας κατά μήκος του δικτύου, μέσω ειδικού ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου. Η εμφάνιση υγρασίας μπορεί να οφείλεται είτε σε διαρροή του χαλύβδινου αγωγού, είτε σε είσοδο υγρασίας του εδάφους στη μόνωση.

Η τηλεθέρμανση με αξιοποίηση της δασικής βιομάζας παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, όπως στη Δανία, τη Σουηδία, τη Φιλανδία και την Αυστρία. Παρακάτω τα αναφέρονται τα κυριότερα των σημαντικών **πλεονεκτημάτων** που παρουσιάζει:

- § Βελτίωση του βιοτικού επιπέδου καθώς επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα θέρμανσης, ενώ ο καταναλωτής εξασφαλίζει τη θέρμανσή του χωρίς πρόσθετες δικές του φροντίδες (π.χ. προμήθεια πετρελαίου ή ξύλων, συντήρηση καυστήρα).
- § Επίτευξη αξιόπιστης και καλής ποιότητας θέρμανσης των κτιρίων με παράλληλη διάθεση θερμού νερού χρήσης όλες τις ώρες της ημέρας με χαμηλό κόστος.
- § Ορθολογική αξιοποίηση των ήδη χρησιμοποιούμενων καυσίμων ξύλου.
- § Μείωση της εξάρτησης της χώρας από ξένες ενεργειακές πηγές.
- § Εξοικονόμηση σημαντικού ποσού συναλλάγματος, λόγω της μείωσης των εισαγόμενων συμβατικών καυσίμων.
- § Εξασφάλιση εργασίας και συγκράτηση των πληθυσμών στην περιφέρεια.
- § Ελαχιστοποιείται η ρύπανση του περιβάλλοντος, αφενός εξαιτίας της χρήσης ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής θερμότητας σωστά συντηρημένου, αντί πολλών λεβήτων διασκορπισμένων στα κτίρια, και

αφετέρου εξαιτίας της χρήσης βιομάζας σαν καύσιμο. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπομπές SO_x είναι ελάχιστες, οι εκπομπές NO_x πού μικρότερες από αυτές των συμβατικών καυσίμων, ενώ δεν αυξάνεται το CO₂ στην ατμόσφαιρα, κάτι που ήδη έχει αναφερθεί.

Η **τηλεψύξη** εμφανίστηκε αρκετά αργότερα από την τηλεθέρμανση αλλά κερδίζει συνεχώς έδαφος σε ολόκληρο τον κόσμο και κυρίως στις χώρες με υψηλές θερμοκρασίες κατά τους θερινούς μήνες. Αν και υπάρχουν διαφορές στις εφαρμογές της σε διάφορες χώρες, τα πλεονεκτήματά της είναι ανάλογα με εκείνα της τηλεθέρμανσης. Επίσης, τα βασικά εξαρτήματα είναι τα ίδια και στις δύο εφαρμογές.

Με την εφαρμογή συστημάτων τηλεψύξης, δεν τοποθετούνται πλέον τοπικά κλιματιστικά μηχανήματα. Αυτό έχει θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς εξοικονομούνται σημαντικές ποσότητες συμβατικών καυσίμων που απαιτούνταν για την αντίστοιχη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, με τη μείωση του αριθμού των κλιματιστικών μηχανημάτων που λειτουργούν με freon μειώνονται οι πιθανότητες διαρροής του στο περιβάλλον. Παράλληλα μειώνονται και οι θόρυβοι και οι δονήσεις που προκαλούνται από τη λειτουργία των συμπιεστών.

Η αύξηση των εφαρμογών τηλεψύξης σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, στην Ιαπωνία, την Κορέα και τη Βόρεια Αμερική είναι σημαντική.

10.3 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Συμπααραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

Με το συμβατικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον, είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτές ατμού, πύργοι ψύξης, κ.λ.π.), είτε μέσω των καυσαερίων (π.χ. αεριοστρόβιλοι). Με τη συμπααραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αυτής ανακτάται και χρησιμοποιείται ωφέλιμα. Έτσι επιτυγχάνεται σημαντική εξοικονόμηση

ενέργειας, καθώς αυξάνεται ο βαθμός ενεργειακής μετατροπής του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια.

Οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζουν βαθμό απόδοσης 20-40%, ενώ ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαραγωγής φθάνει το 80-85%.

Σημαντικότερες τεχνολογίες συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα

Η τεχνολογία συμπαραγωγής με καύσιμο βιομάζα που εφαρμόζεται σήμερα σε μεγαλύτερη κλίμακα είναι τα **συστήματα ατμοστροβίλου**.

Στα συστήματα ατμοστροβίλου παράγεται σε λέβητα ατμός ο οποίος εκτονώνεται σε ατμοστρόβιλο συνδεδεμένο με ηλεκτρογεννήτρια, όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Ο ατμός παρέχει θερμότητα απομαστευόμενος σε διάφορα στάδια του ατμοστροβίλου ανάμεσα στην εισαγωγή και την έξοδο και ανάλογα με τις απαιτήσεις θερμότητας.

Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν μεγάλο χρόνο ζωής, μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο, εμφανίζουν αργή απόκριση στην αλλαγή φορτίου και το κόστος εγκατάστασής τους είναι σχετικά υψηλό.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο διακρίνονται σε **συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης** και σε **συστήματα με ατμοστρόβιλο απομάστευσης**.

Στα **συστήματα με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης**, ατμός υψηλής πίεσης (20-100 bar) και θερμοκρασίας (480-540 °C) παράγεται σε λέβητα και εκτονώνεται σε ατμοστρόβιλο, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός εξέρχεται από το στρόβιλο σε κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας για τη χρησιμοποίησή του σε θερμικές διεργασίες. Ο όρος "**αντίθλιψη**" οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική (3-20 bar).

Στα **συστήματα με ατμοστρόβιλο απομάστευσης**, μέρος του ατμού απομαστεύεται από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, ενώ ο υπόλοιπος ατμός αποτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (0,05-0,10 bar).

Τελευταία, έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται η βιομάζα σαν καύσιμο και σε **συστήματα αεριοστροβίλου**, με την καύση αερίου που προκύπτει από την αεριοποίησή της.

Στα συστήματα αυτά εισάγεται αέρας στο συμπιεστή και εκεί αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία του. Στο θάλαμο καύσης ο αέρας αναμιγνύεται με το καύσιμο και πραγματοποιείται η ανάφλεξη. Τα καυσαέρια, θερμοκρασίας περίπου 1.000 °C, εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ηλεκτρογεννήτρια και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμότητα ανακτάται από τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον αεριοστρόβιλο σε θερμοκρασία 300-600 °C.

Το κυριότερο πρόβλημα της χρήσης της βιομάζας σε συστήματα αεριοστροβίλου οφείλεται στο γεγονός ότι τα καυσαέρια δεν πρέπει να περιέχουν διαβρωτικά συστατικά γιατί του προκαλούν φθορά. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών αναπτύσσεται σήμερα σημαντική έρευνα και εκτελούνται πιλοτικά έργα, τόσο για την ανάπτυξη της αεριοποίησης της βιομάζας, όσο και για το σωστό καθαρισμό των καυσαερίων που προκύπτουν από την αεριοποίησή της, προκειμένου η βιομάζα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα σε συστήματα αεριοστροβίλων.

Τα ίδια προβλήματα υπάρχουν και στη χρήση της βιομάζας σαν καύσιμο στα συστήματα **συνδυασμένου κύκλου**. Στα συστήματα αυτά λειτουργούν δύο θερμοδυναμικοί κύκλοι διαφορετικών θερμοκρασιών, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με το εργαζόμενο ρευστό. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας αποβάλλει θερμότητα που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι τα **συστήματα με συνδυασμό αεριοστροβίλου - ατμοστροβίλου**.

Με τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι βαθμοί απόδοσης σε σχέση με τα συστήματα ατμοστροβίλου και αεριοστροβίλου, τόσο σε ότι αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, όσο και τη συνολική παραγωγή ενέργειας.

10.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Τα σημαντικότερα από τα πλεονεκτήματα του παρουσιάζει η συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από δασική βιομάζα είναι τα παρακάτω:

- § Επίτευξη σημαντικής εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς η συμπαραγωγή παρουσιάζει υψηλότερο ενεργειακό βαθμό απόδοσης, δηλαδή υψηλότερο ποσοστό μετατροπής του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια, από την ξεχωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.
- § Αύξηση του δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής σε εθνικό επίπεδο με άμεση συνέπεια τον περιορισμό των αναγκών δημιουργίας νέων κεντρικών σταθμών και τη συμβολή στην αντιμετώπιση των προβλημάτων των φορτίων αιχμής.
- § Αύξηση της ευστάθειας του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας με βασική προϋπόθεση ότι η σύνδεση του σταθμού με το εθνικό δίκτυο διανομής θα πληρεί τις σχετικές προδιαγραφές.
- § Αποκέντρωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε απρόβλεπτες μεταβολές της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.
- § Τοπική ανάπτυξη και συγκράτηση του πληθυσμού στην περιφέρεια, με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας λόγω της ανάπτυξης νέων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία των μονάδων.
- § Αξιοποίηση του δυναμικού της δασικής βιομάζας που παραμένει ανεκμετάλλευτο.
- § Μείωση της εξάρτησης της χώρας από ξένες ενεργειακές πηγές.
- § Εξοικονόμηση σημαντικού ποσού συναλλάγματος, λόγω της μείωσης των εισαγομένων συμβατικών καυσίμων.
- § Ευνοϊκές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς η βιομάζα σαν καύσιμο δεν συμβάλλει στην αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα (γιατί ανακυκλώνεται από τα φυτά), ούτε και στο φαινόμενο της όξινης βροχής (ελάχιστες εκπομπές SO₂).

10.5 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Οι επενδύσεις για την παραγωγή ενέργειας από δασική βιομάζα απαιτούν σχετικά υψηλό αρχικό κεφάλαιο. Η περίοδος αποπληρωμής των επενδύσεων εξαρτάται από το ύψος του αρχικού κεφαλαίου, το ετήσιο καθαρό όφελος που προκύπτει από τη λειτουργία του συστήματος, καθώς και από τον τρόπο εξυπηρέτησης του αρχικού κεφαλαίου (ύψος δανείου, επιτόκια, κ.λ.π.).

Το ετήσιο καθαρό όφελος προκύπτει σαν διαφορά μεταξύ των εξόδων λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος και των εσόδων από τη λειτουργία του. Τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης συνίστανται από το κόστος του καυσίμου, τη μισθοδοσία, την προληπτική συντήρηση, τα αναλώσιμα, τα ανταλλακτικά, τις επισκευές βλαβών και τους άλλους λογαριασμούς. Τα έσοδα μπορεί να προέρχονται από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ, θερμότητας σε βιομηχανία ή σε οικισμό με τη μορφή τηλεθέρμανσης, κ.λ.π.), από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων ή από τη μείωση των ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζονται από την ΔΕΗ.

Το κόστος του καυσίμου αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στη διαμόρφωση των εξόδων ενός συστήματος ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας, με συνέπεια η οικονομικότητα τέτοιων επενδύσεων να είναι πολύ ευαίσθητη στις μεταβολές του. Για το λόγο αυτό η ενεργειακή αξιοποίηση της δασικής βιομάζας πρέπει να εξετάζεται για εφαρμογές κοντά στον τόπο παραγωγής της έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσής της που εμφανίζεται ιδιαίτερα υψηλό εξαιτίας του μικρού ενεργειακού περιεχομένου της ανά μονάδα όγκου.

Έτσι, σε αστικό/ περιφερειακό επίπεδο, οι εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησης δασικής βιομάζας στην Ελλάδα είναι σκόπιμο να εξετάζονται με βασικό πλάνο την εγκατάσταση συστημάτων τηλεθέρμανσης και αποκεντρωμένων σταθμών συμπαραγωγής, σε περιοχές της χώρας με σημαντικές ποσότητες βιομάζας και όχι ιδιαίτερα μακριά από καταναλωτές θερμότητας, αφού η μεταφορά θερμότητας παρουσιάζει υψηλό κόστος.

Οι καταναλωτές της παραγόμενης θερμότητας των παραπάνω σταθμών συμπαραγωγής μπορεί να είναι οικισμοί, κοινότητες ή δήμοι, που θα θερμαίνονται με εγκατάσταση τηλεθέρμανσης, θερμοκήπια ή βιομηχανικές μονάδες με αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα.

Η παραγωγή ενέργειας από δασική βιομάζα σε βιομηχανικό επίπεδο ενδείκνυται για μεγάλες βιομηχανικές μονάδες με αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα, όπου η δασική βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και συνεπώς το κόστος του καυσίμου του συστήματος είναι μηδενικό (ίσως και αρνητικό).

Επίσης πολύ σημαντική είναι η ύπαρξη δυνατότητας χρησιμοποίησης εναλλακτικού καυσίμου, έστω και για μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να είναι εξασφαλισμένη η τροφοδοσία του συστήματος με καύσιμο σε κάθε περίπτωση.

Ειδικά για τα συστήματα τηλεθέρμανσης πολύ σημαντικός παράγοντας για τη βιωσιμότητα της επένδυσης είναι ο **"βαθμός πρόσκτησης"** καταναλωτών, δηλαδή το ποσοστό των κτιρίων που συνδέονται με το δίκτυο διανομής προκειμένου να θερμανθούν από το σύστημα τηλεθέρμανσης. Για αυτό σημαντικό ρόλο παίζει η ενημέρωση των κατοίκων εκ των προτέρων για τα οφέλη που θα προκύψουν από την κατασκευή του έργου, και κυρίως για τα άμεσα οικονομικά οφέλη, όπως το μειωμένο κόστος θέρμανσης σε σχέση με τους τυπικούς λέβητες πετρελαίου, και να αποσαφηνιστούν οι βασικές προθέσεις των καταναλωτών.

Τέλος, πολύ σημαντικό μέγεθος για την οικονομικότητα τέτοιων συστημάτων είναι η **πυκνότητα θερμικού φορτίου**, δηλαδή ο λόγος του συνολικού θερμικού φορτίου του συστήματος προς το εμβαδόν που καλύπτει ο οικισμός.

Το μέγεθος αυτό αποτελεί μία έκφραση της σχέσης που υπάρχει μεταξύ των εσόδων, που είναι ευθέως ανάλογα με το θερμικό φορτίο, και του αρχικού κεφαλαίου, το οποίο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εμβαδόν του οικισμού. Το τελευταίο ισχύει γιατί αυξανόμενης της καλυπτόμενης επιφάνειας από το σύστημα τηλεθέρμανσης, αυξάνεται το μήκος του δικτύου των προμονωμένων αγωγών, το οποίο εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλό κόστος.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όσο πιο πυκνοδομημένος είναι ένας οικισμός, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα θερμικού φορτίου, τόσο βελτιώνεται η οικονομικότητα του συστήματος τηλεθέρμανσης.

Τα συστήματα συμπαραγωγής παρουσιάζουν γενικά καλύτερη οικονομικότητα από τα συστήματα τηλεθέρμανσης και σαφώς καλύτερη από τα συστήματα απλής ηλεκτροπαραγωγής (χωρίς ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας). Αυτό οφείλεται στην αξιοποίηση της απορριπτόμενης κατά τον κύκλο της ηλεκτροπαραγωγής θερμότητας, και συνεπώς στην σημαντική αύξηση των εσόδων, σε συνδυασμό με την αναλογικά πολύ μικρότερη αύξηση του αντίστοιχου αρχικού κεφαλαίου.

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι στις επενδύσεις σε συστήματα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα ενέχονται και παράγοντες που δεν είναι πάντα δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν οικονομικά και οι οποίοι σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος, τα κοινωνικά οφέλη, τα οφέλη για την εθνική οικονομία και το εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο. Για το λόγο αυτό οι σχετικές επενδύσεις θα πρέπει να αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη και όλα τα παραπάνω και όχι μόνο το ύψος του άμεσου οικονομικού οφέλους.

10.6 ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΗΛΕΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στη Νυμφασία της κοινότητας Βυτίνας στην Πελοπόννησο, λειτουργεί σύστημα τηλεθέρμανσης (πριν από το 1998) σε συνεργασία με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Το σύστημα αποτελείται από μία εστία καύσης που τροφοδοτείται με ξύλο με ατέρμονα κοχλία από διπλανό σιλό. Από την εστία τα ζεστά αέρια ζεσταίνουν το νερό μέσα στο καζάνι από όπου αρχίζουν σωληνώσεις διανομής σε όλο το χωριό. Οι σωληνώσεις είναι τουμποσωλήνες καλά μονωμένοι με πλαστικό περίβλημα. Έτσι δεν παρουσιάζεται σχεδόν καθόλου απώλεια θερμότητας κατά τη διαδρομή ή έστω μόνο μικρή απώλεια ανέρχεται το πολύ στους 2 °C.

Η κυκλοφορία γίνεται με κυκλοφορητή. Ο καπνός αφού περνά από φίλτρα εξέρχεται από καμινάδα, σημειώνεται ότι το σύστημα τροφοδοσίας

λειτουργεί ηλεκτρονικά αυτόματα, έτσι που η τροφοδοσία αρχίζει και πάει ανάλογα με την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας. Συνήθως το σύστημα είναι ρυθμισμένο στους 85 °C και μόλις κατέβει στους 70 °C ξαναδίνεται εντολή τροφοδοσίας για αύξηση θερμότητας.

Το σύστημα παρέχει λοιπόν θέρμανση καθώς και ζεστό νερό μέσω βραστήρα. Το κόστος κατασκευής ανήλθε σε 60 εκατομμύρια δραχμές. Άλλα 50 εκατομμύρια δραχμές χρειάστηκαν για κατασκευή αποθηκών, προμήθεια τρακτέρ, πλατφόρμας και μηχανήματος κοπής ξύλου.

Οι κάτοικοι του χωριού το 1998 ήταν ευχαριστημένοι, αν και δεν είχαν συνδεθεί όλα τα σπίτια. Η τηλεθέρμανση εξυπηρετούσε ακόμα το σχολείο, το κοινοτικό γραφείο, τον ξενώνα και την εκκλησία. Επίσης υπήρχε η δυνατότητα να θερμανθούν ακόμη μερικά ενοικιαζόμενα δωμάτια και να επεκταθεί το σύστημα για εξυπηρέτηση ενός μικρού θερμοκηπίου για τις ανάγκες του χωριού τους.

Δυνατότητα ανάπτυξης παρόμοιου συστήματος τηλεθέρμανσης έχει το Καρπενήσι του Νομού Ευρυτανίας, καθώς παρουσιάζει πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Βασικό στοιχείο είναι ο δριμύς χειμώνας να αντιμετωπίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αναβαθμίζεται η ποιότητα ζωής των ανθρώπων.

11. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

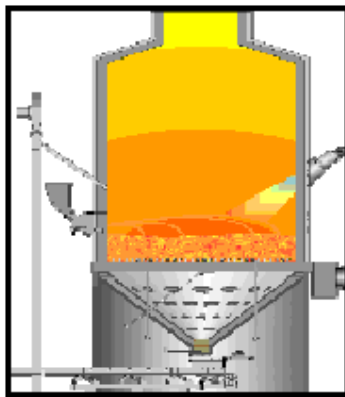
11.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ (FLUIDIZED BED TECHNOLOGY)

Πριν από μία συζήτηση πάνω στις αντιδράσεις αεριοποίησης, είναι ωφέλιμο να παρουσιαστεί μία σύντομη αναφορά στην τεχνολογία ρευστοποίησης που εμπλουτίζει τις αντιδράσεις του καυσίμου και τις διαδικασίες της αεριοποίησης σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Μία κλίνη ρευστοποίησης αποτελείται από ένα δοχείο το οποίο περιέχει ένα στρώμα από στερεά μικρά σωματίδια συνήθως (αλλά όχι αναγκαστικά) από αδρανές υλικό όπως η άμμος. Αέρας ή κάποιο άλλο μέσο εμφυσάται μέσω της ζώνης των στερεών για να παράγει μία επιπλέον ελαφρά πίεση (δύναμη) στα σωματίδια. Όταν η επιπλέον δύναμη του αέρα είναι επαρκής για να ξεπεράσει το βάρος των σωματιδίων, το στρώμα αρχίζει να αιωρείται στο ροή του αέρα. Περαιτέρω αύξηση της ροής του αέρα δημιουργεί ένα αποτέλεσμα δημιουργίας "μπουρμπουλήθρων" μέσα στο δοχείο το οποίο μοιάζει με ένα δοχείο νερού που βράζει, για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ο όρος "ρευστοποίηση" ('fluidization') ή "κλίνη ρευστοποίησης" ('fluidized bed'). Αυτό απεικονίζεται στο Εικόνα 11.1. Αυτή η δράση βρασμού παράγει τεράστιο στροβιλισμό μέσα στην κλίνη οδηγώντας σε σημαντική ανάμειξη του καυσίμου και του αέρα μέσα στο σύστημα και δημιουργεί πολύ καλά χαρακτηριστικά για να λάβουν χώρα αντιδράσεις καύσης ή αεριοποίησης. Επειδή το μίγμα της άμμου και του αέρα συμπεριφέρεται πολύ σαν ένα ρευστό, οποιαδήποτε ξένα αντικείμενα εισαχθούν στην κλίνη θα "επιπλεύσουν" ή θα "βυθιστούν" ανάλογα με την πυκνότητά τους, σαν να έπεφταν μέσα σε μία δεξαμενή νερού.

Στον αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης, το υλικό της κλίνης μπορεί να είναι άμμος ή κάρβουνο (char), ή κάποιος συνδυασμός. Το μέσο ρευστοποίησης είναι συνήθως αέρας, ωστόσο οξυγόνο και/ ή ατμός επίσης χρησιμοποιούνται. Το καύσιμο τροφοδοτείται στο σύστημα είτε υπεράνω της κλίνης είτε μέσα στην κλίνη, εξαρτώμενο από το μέγεθος και την πυκνότητα του καυσίμου και από το πώς επηρεάζεται από τις ταχύτητες της κλίνης. Κατά τη συνήθη λειτουργία, το μέσο της κλίνης διατηρείται σε μία θερμοκρασία

μεταξύ 1000°F και 1800°F. Όταν ένα σωματίδιο του καυσίμου εισάγεται σε αυτό το περιβάλλον, οι αντιδράσεις ξήρανσης και πυρόλυσης γίνονται γρήγορα, εκβάλλοντας όλα τα αέρια μέρη του καυσίμου σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Το υπολειπόμενο char οξειδώνεται εντός της κλίνης για να εξασφαλίσει την θερμική πηγή για τη συνέχιση των αντιδράσεων ξήρανσης και απ-εξάτμισης (de-volatilizing). Στα συστήματα που χρησιμοποιείται υλικό εσωτερικής κλίνης, τα σωματίδια ξύλου υπόκεινται σε έντονη δράση απόξεσης από την ρευστοποιημένη άμμο. Αυτή η δράση εγχάραξης τείνει να αφαιρέσει οποιεσδήποτε εναποθέσεις στην επιφάνεια (στάχτη, char, και άλλα) από το σωματίδιο και εκθέτει μία καθαρή επιφάνεια αντίδρασης στα περιβάλλοντα αέρια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής ενός σωματιδίου σε αυτό το σύστημα να είναι μόνο λίγα λεπτά σε αντίθεση με μερικές ώρες σε άλλους τύπους αεριοποιητών.



Εικόνα 11.1:Τυπική κλίνη ρευστού.

Η μεγάλη θερμική ικανότητα του υλικού εσωτερικής κλίνης συν την έντονη ανάμειξη σε συνδυασμό με τη ρευστή κλίνη καθιστά αυτό το σύστημα ικανό να χειρίζεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα και, συνήθως, πολύ χαμηλότερης ποιότητας καυσίμου. Η εμπειρία με τον αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης της Energy Products of Idaho (EPI) έδειξε την δυνατότητα να χειρίζεται καύσιμα με ποσοστό υγρασίας μέχρι και 55% και υψηλό περιεχόμενο σε στάχτες, σε υπερβολή 25%. Επειδή οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι χαμηλότερες σε μία ρευστή κλίνη από ότι σε άλλους αεριοποιητές η δυνατότητα τήξης των υπόλοιπων τεμαχίων καύσης και στάχτης σε υψηλές θερμοκρασίες μειώνεται, οπότε αυξάνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν καύσιμα με υψηλό ποσοστό υπολοίπων καύσης.

Οι ενεργειακές πυκνότητες σε έναν αεριοποιητή ρευστής κλίνης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του καυσίμου και έχει αναφερθεί ότι είναι τόσο υψηλός όσο τέσσερα εκατομμύρια BTU/hour/ft². Κανονικά, όσο στεγνότερο είναι το καύσιμο τόσο υψηλότερη είναι η ενεργειακή πυκνότητα και καλύτερη η ποιότητα του χαμηλού σε Btu παραγόμενου αερίου. Οι λόγοι για αυτή την εξάρτηση του καυσίμου θα κατανοηθούν καλύτερα από την αναφορά της διαδικασίας αεριοποίησης μέσω της ρευστοποιημένης κλίνης.

11.2 ΑΡΧΗ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Αρχικά, αεριοποίηση είναι η θερμική αποσύνθεση του οργανικού υλικού σε ένα περιβάλλον έλλειψης οξυγόνου παράγοντας ένα αέριο μείγμα που περιέχει καύσιμα αέρια, υγρά και πίσσες, κάρβουνο και αέρα, ή αδρανή ρευστοποιητικά αέρια. Τυπικά, ο όρος "αεριοποίηση" αναφέρεται στην παραγωγή αέριων συστατικών, ενώ η πυρόλυση, ή πυροδιάσπαση, χρησιμοποιείται για να περιγράψει την παραγωγή υγρών υπολοίπων και κάρβουνου. Το δεύτερο κανονικά συμβαίνει στην απόλυτη απουσία του οξυγόνου, ενώ οι περισσότερες αντιδράσεις αεριοποίησης λαμβάνουν μέρος σε ένα περιβάλλον στέρησης οξυγόνου.

Σε ένα αεριοποιητή, το σωματίδιο του ξύλου εκθέτεται σε υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται από τη μερική οξείδωση του άνθρακα, αρχικά. Καθώς το σωματίδιο θερμαίνεται η υγρασία εκβάλλεται. Αυτή μπορεί να κυμαίνεται από λιγότερο από 10% μέχρι και πάνω από 50% του βάρους του καυσίμου που εισάγεται στον αεριοποιητή. Περαιτέρω θέρμανση του σωματιδίου αρχίζει να εκβάλλει τα πτητικά αέρια. Για το ξύλο, αυτό το πτητικό περιεχόμενο μπορεί να είναι 75 - 80% του συνολικού ξηρού βάρους. Η εκβολή αυτών των πτητικών θα δημιουργήσει ένα ευρύ φάσμα υδρογονάνθρακων, από μονοξειδίο του άνθρακα και μεθάνιο μέχρι υδρογονάνθρακες μακριάς αλυσίδας περιλαμβάνοντας πίσσες, κριεζότα (creosotes) και βαριά έλαια. Μετά από τους 900 °F περίπου, το σωματίδιο του ξύλου μειώνεται σε στάχτη και κάρβουνο (char). Στις περισσότερες αρχικές διαδικασίες αεριοποίησης αυτό ήταν το επιθυμητό υποπροϊόν. Στην παραγωγή αερίου ωστόσο, το char εξασφαλίζει την απαραίτητη ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η θέρμανση και

η ξήρανση που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Τυπικά, το char έρχεται σε επαφή με αέρα ή οξυγόνο και ατμό για να παραχθεί CO και CO₂ και θερμότητα.

Η ποιότητα του παραγόμενου αερίου σε ένα σύστημα επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, τη διαμόρφωση του αεριοποιητή, καθώς και την ποσότητα του αέρα, του οξυγόνου και του ατμού που εισάγεται. Η απόδοση και ποιότητα του παραγόμενου αερίου καθορίζεται από την εγκαθιστείσα ισορροπία. Η ποιότητα του αερίου της εξόδου (BTU/ft³) καθορίζεται από την ποσότητα των πτητικών αερίων (H₂, CO, CH₄, C₂, κ.τ.λ.) στο σωλήνα συνεχής ροής του αερίου. Λαμβάνοντας υπόψη την ισορροπία του συστήματος, μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί πώς το περιεχόμενο της υγρασίας του καυσίμου μπορεί να επιδράσει στην ποιότητα του αερίου. Υποθέτοντας ότι σταθερή ποσότητα θερμότητας απελευθερώνεται από το char (με την προϋπόθεση ότι έχουμε σταθερή ροή αέρα), όσο περισσότερη υγρασία έχει το καύσιμο, τόσο περισσότερη θερμότητα καταναλώνεται για την εξάτμισή της. Έτσι παραμένει λιγότερη ενέργεια για αεριοποίηση και αντιληπτή θερμότητα, οπότε ο βαθμός του καυσίμου πρέπει να μειωθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή λιγότερων πτητικών και τη μείωση της ποιότητας και της ποσότητας του καύσιμου αερίου. Καθώς η έξοδος του συστήματος αυξάνεται, η θερμοκρασία λειτουργίας μειώνεται. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι, για να έχουμε μία σταθερή απελευθέρωση ενέργειας προερχόμενη από την οξειδωση, λόγω της σταθερής ροής αέρα, πρέπει να εισαχθεί περισσότερο καύσιμο στο σύστημα, είτε υγρό είτε ξηρό, και απαιτείται περισσότερη ενέργεια για τη αεριοποίηση και εξάτμιση, οπότε λιγότερη ενέργεια είναι διαθέσιμη για να ανυψώσει τις θερμοκρασίες του συστήματος δια μέσου της αύξησης της αντιληπτής θερμότητας. Σαν συνέπεια, το τμήμα της λανθάνουσας θερμότητας αυξάνεται σε δαπάνη της αντιληπτής θερμότητας. Το αποτέλεσμα αυτού είναι ότι καθώς αυξάνεται η αεριοποίηση, η καύση του αερίου της εξόδου αυξάνεται και το συνολικό περιεχόμενο θερμότητας βελτιώνεται. Οπότε, η υψηλότερη ποιότητα αερίου λαμβάνει χώρα στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ωστόσο, όταν οι θερμοκρασίες πέσουν πολύ χαμηλά, η αντίδραση οξειδωσης του char εμποδίζεται και η συνολική απελευθέρωση θερμότητας μειώνεται. Οι αποδόσεις του βέλτιστου αερίου αποκτούνται σε θερμοκρασίες λειτουργίας γύρω στους 1100°F με 1200°F.

Υψηλότερο περιεχόμενο θερμότητας του αερίου (BTU/ft³) μπορεί να αποκτηθεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες του συστήματος. Όμως η ολική απόδοση του καυσίμου σε αέριο μειώνεται από το τμήμα του άκαυστου char.

Με αυτή τη βασική κατανόηση των διαδικασιών της ρευστοποίησης και αεριοποίησης είναι δυνατό να κατανοηθούν καλύτερα οι σύνθετες διαδικασίες ενός συστήματος αεριοποιητή ρευστής κλίνης. Η πρώτη μελέτη του συστήματος αφορά τη ταχύτητα ρευστοποίησης στην κλίνη. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του μέσου της κλίνης και καθορίζει τη ροή του αέρα μέσα στο σύστημα. Οι υψηλότεροι ρυθμοί ροής του αέρα περιορίζονται από τις ταχύτητες εισόδου των σωματιδίων της κλίνης. Οι μικρότεροι ρυθμοί ροής καθορίζονται από τις κατώτατες ταχύτητες ρευστοποίησης στις οποίες λαμβάνει χώρα αποδεκτή ανάμειξη.

Για μία ορισμένη ποιότητα καυσίμου (περιεχόμενο σε υγρασία και αξία θερμότητας), η έξοδος από τον αεριοποιητή μπορεί να διαμορφωθεί σε μία αναλογία απόρριψης (turndown) 3 προς 1. Στη μέγιστη έξοδο τόσο ο ρυθμός τροφοδοσίας του καυσίμου όσο και ο ρυθμός ροής του αέρα είναι μέγιστοι. Ο αεριοποιητής λειτουργεί γύρω στους 1100 °F με 1200°F. Καθώς το καύσιμο μειώνεται, η έξοδος μειώνεται και η θερμοκρασία του συστήματος αυξάνεται (συνεχής ροή αέρα). Για να αντισταθμιστεί αυτό, η ροή του αέρα μειώνεται, μειώνοντας κατά συνέπεια τη συνολική ενέργεια που ελευθερώνεται από την οξείδωση του άνθρακα, και ρίχνοντας έτσι τις θερμοκρασίες πίσω στην περιοχή των 1200°F. Αυτή η ανασταλτική ενέργεια μπορεί να συνεχίζεται μέχρι η ροή του αέρα να μειωθεί στις ελάχιστες ταχύτητες. Συνεχές turndown πέραν από αυτό το σημείο επιτρέπει τη μείωση στην τροφοδοσία του καυσίμου μόνο με την προϋπόθεση μίας αντίστοιχης αύξησης στις θερμοκρασίες λειτουργίας. Θεωρητικά, αυτή η θερμοκρασία θα μπορούσε να αυξηθεί στην αδιαβατική θερμοκρασία της φλόγας, που συχνά φτάνει τους 3000°F. Όμως άλλοι λειτουργικοί περιορισμοί γίνονται υπερισχύουν, όπως οι θερμοκρασίες των υπολοίπων καύσης κάτω από 2000°F, υλικά κατασκευής, για παράδειγμα σωληνώσεις, καπνοσύρτες (dampers) κάτω από 1800°F, κ.τ.λ..

Επιπρόσθετη ρύθμιση της εξόδου μπορεί να επιτευχθεί τροποποιώντας το περιεχόμενο υγρασίας του καυσίμου. Όσο πιο βρεγμένο το καύσιμο τόσο μεγαλύτερο το τμήμα της διαθέσιμης θερμότητας του

συστήματος που απαιτείται για εξάτμιση. Συνεπώς, για ένα σταθερό ρυθμό ροής του αέρα, ένα πιο υγραμένο καύσιμο έχει σαν αποτέλεσμα μία χαμηλότερη ενεργειακή έξοδο για ίδιου μεγέθους μονάδες. Για σύγκριση, η τυπική έξοδος ενός αεριοποιητή με καύσιμο με 10% υγρασία θα πλησίαζε τα 2.5 MBTU/hour ανά μονάδα αέρα της κλίνης. Με 45% υγρασία του καυσίμου, η έξοδος θα ήταν 1.3 MBTU/hour, ή περίπου μισή από την ικανότητα του στεγνότερου καυσίμου. Η ποιότητα του αποδιδόμενου αερίου πέφτει από τα 175 BTU/ft³ στα 100 BTU/ft³. Ρυθμίζοντας την υγρασία του καυσίμου που εισάγεται, η έξοδος από τη μονάδα μπορεί να κυμαίνεται από το μέγιστο των 2.5 MBTU/hour/ft² (ξηρό καύσιμο) στο ελάχιστο των μόλις 0.45 MBTU/hour/ft² (υγρό καύσιμο) δημιουργώντας ένα φάσμα λειτουργίας σχεδόν 6 προς 1.

Για συστήματα εφοδιαζόμενα με αέρα, το περιεχόμενο θερμότητας του αποδιδόμενου αερίου είναι στην κατηγορία των 100 με 200 BTU/ft³ και τυπικά καλείται αέριο χαμηλού Btu (low-Btu gas [**LBG**]). Αποτελείται από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο. Με το υψηλό μίγμα από το άζωτο που εισάγεται με τον αέρα, η βέλτιστη ποιότητα **LBG** είναι μόνο 200 με 250 BTU/ft³. Σε κάποιες περιπτώσεις, η χρήση ενός άλλου μέσου για να αντικαταστήσει μερικό από τον αέρα αεριοποίησης θα μπορούσε να αυξήσει την ποιότητα του αερίου και να διευρύνει το άνοιγμα λειτουργίας. Ατμός, για παράδειγμα, θα εξασφάλιζε επιπρόσθετο δυναμικό για να υποβοηθήσει την παραγωγή μεθανίου από διοξείδιο του άνθρακα (αντίδραση μετάπτωσης νερού-αερίου [water-gas shift reaction]) και θα απομακρυνόταν πιο άμεσα από τα παραγόμενα αέρια μέσω ψύξης (cooling) και συμπύκνωσης (condensing), αυξάνοντας επομένως το δυναμικό της θερμικής αξίας του αερίου. Σε μερικές περιπτώσεις, η αυξανόμενη ποιότητα του αερίου καυσίμου θα δικαιολογήσει τη χρήση ατμού στη διαδικασία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα σύστημα εμφύσησης αέρα μπορεί να είναι απλούστερο και πιο αποτελεσματικό στη χρήση.

11.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Γενικά, είναι πιθανώς αποδεκτό ότι τα συστήματα αεριοποίησης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε σχεδόν εφαρμογή στην οποία φυσικό αέριο, πετρέλαιο (oil) ή κονιορτοποιημένο κάρβουνο χρησιμοποιούνται τώρα. Αέρια χαμηλού BTU μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανάβουν καμίνια τσιμέντου ή ασβέστη, περιστροφικοί στεγνωτήρες, ξηραντήρες λούστρου ξύλου ή ξηρά καμίνια, θερμάστρες αέρα, λέβητες ατμού, και στροβιλοφόρους κινητήρες ή μηχανές εσωτερικής καύσης παραγωγής ηλεκτρισμού.

Πιθανώς, η πιο απλή εφαρμογή για έναν αεριοποιητή ρευστής κλίνης είναι να ανάβει (fire) ή να συν-ανάβει (co-fire) ένα υπάρχοντα λέβητα ατμού. Αυτό είναι η πιο ελκυστική ευκαιρία όταν η ζήτηση ατμού βρίσκεται κοντά σε μία πηγή καυσίμου. Στην επεξεργασία τροφών, ξύλου, χαρτιού, υφασμάτων και σε πολλές άλλες βιομηχανίες, ένα σύστημα λέβητα βρίσκεται ήδη σε λειτουργία που θα μπορούσε να μετασκευαστεί για παραγωγή **LBG** από καύσιμα παραγόμενα από τα άχρηστα της μονάδας ή από εξωτερική προμήθεια. Σε επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, πολυάριθμο κονιορτοποιημένο κάρβουνο (PC) τροφοδοτεί λέβητες ισχύος παρέχοντας σοβαρές ευκαιρίες για συν-πυροδότηση με εναλλακτικά καύσιμα μέσω της αεριοποίησης.

Σε ένα λέβητα PC (pulverized coal), οι καυστήρες κάρβουνου ελευθερώνουν την ενέργεια καύσης με τη μορφή ζωνών έντονης φλόγας άμεσα μέσα στον κλίβανο. Ο σχεδιασμός του κλιβάνου χρησιμοποιεί την συγκεντρωμένη απελευθέρωση ενέργειας για να παράγει τον περισσότερο ατμό δια μέσω του τοιχώματος νερού στις επιφάνειες του κλιβάνου. Σχεδόν το ίδιο συμβαίνει στους λέβητες πετρελαίου και αερίου. Έξω από τον κλίβανο, τα υψηλής θερμοκρασίας αέρια της εξαγωγής συνεχίζουν να παράγουν ατμό και υπερθέρμανση δια μέσου των εναπομεινάντων τμημάτων του λέβητα. Λαμβάνοντας υπόψη την αντικατάσταση του κάρβουνου από το εναλλακτικό καύσιμο, η ικανότητα παραγωγής και οι συνθήκες υπερθέρμανσης του ατμού του λέβητα, τα δύο κρίσιμα στοιχεία για την μέγιστη απόδοση της μονάδας, καθορίζονται άμεσα από τους ρυθμούς απελευθέρωσης θερμότητας του καυστήρα και την κατανομή της θερμότητας. Για να διατηρήσουμε τις

συνθήκες εξόδου, η οποιαδήποτε αντικατάσταση του κάρβουνου πρέπει να υλοποιείται με ένα κατάλληλο καύσιμο το οποίο θα καίγεται με διαθεσιμότητα μέσα στον κλίβανο και στα επίπεδα καυστήρα που καθιερώθηκαν από το κάρβουνο. Σε μερικές περιπτώσεις, αυτό μπορεί να επιτευχθεί εισάγοντας ένα μέρος του εναλλακτικού καυσίμου άμεσα μέσα στο σύστημα τροφοδοσίας κάρβουνου μπροστά από τα κονιορτοποιημένα. Ενώ αυτό το σενάριο αντιπροσωπεύει την απλούστερη, χαμηλότερου κόστους προσέγγιση αυτού του τύπου μετασκευής, ωστόσο περιορίζεται από την ικανότητα των υπάρχοντων μηχανισμών κάρβουνου και μονάδων κονιορτοποίησης να χειριστούν μεγάλα τμήματα εναλλακτικών καυσίμων. Για 5-10% ποσοστά συμπυροδότησης, και πιθανώς μέχρι και 20% σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, αυτή η προσέγγιση είναι δυνατή και σε λειτουργία επί του παρόντος. Ωστόσο αυτό έχει περιορισμούς στα χαρακτηριστικά του καυσίμου, επίδραση στα κονιορτοποιημένα και την ουσιαστική ποιότητα του καυσίμου, ανά λίβρα (0,453 κιλά) και ανά κυβικό πόδι (1ft=30,48cm), συγκρινόμενη με το κάρβουνο. Επίσης, ίσως απαιτούνται τροποποιήσεις σε μερικά μέρη του συστήματος καύσης του κάρβουνου έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεταστροφή της λειτουργίας πίσω στο 100% της καύσης κάρβουνου, εάν υπάρχει η ανάγκη ή η επιθυμία για κάτι τέτοιο.

Ένα σύστημα αεριοποιητή ρευστής κλίνης προσεγγίζει μία μετασκευή λέβητα, έχει τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα να διατηρεί πλήρη ανεξαρτησία από το χειρισμό κάρβουνου και τον διαδικαστικό εξοπλισμό από το σύστημα αποθήκευσης μέχρι το λέβητα του κλιβάνου ή τους καυστήρες. Αυτό όχι μόνο διατηρεί την πλήρη ικανότητα για 100% καύση κάρβουνου σαν μία μελλοντική επιλογή, αλλά επίσης εξασφαλίζει επιπρόσθετη αξιοπιστία και αφθονία στο συνολικό σύστημα καύσης εξασφαλίζοντας ένα πλήρως ανεξάρτητο σύστημα διανομής καυσίμου στον κλίβανο. Συγχρόνως, ο αεριοποιητής ρευστής κλίνης μπορεί να χρησιμοποιεί μία ποικιλία καυσίμων, με περιεχόμενο υγρασίας τόσο υψηλό όσο 50% και υψηλό περιεχόμενο σε στάχτη. Έχοντας το βήμα αεριοποίησης να προηγείται της διανομής του καυσίμου στο λέβητα, οι περισσότερες ποικιλίες καυσίμου αποκλείονται, και ο λέβητας βλέπει μία σταθερή και ομοιόμορφη προμήθεια ενέργειας σαν **LBG**.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η δυναμική επιρροή στο λέβητα όταν αντικαθίσταται ένα μέρος του κάρβουνου με **LBG** από μία εναλλακτική πηγή καυσίμου, μία σύγκριση των δύο καυσίμων θα βοηθήσει. Από τον πίνακα που ακολουθεί μπορεί να διαπιστωθεί ότι η ενεργειακή αξία του κάρβουνου είναι διπλάσια αυτής του ξύλου (Btu/round). Ωστόσο, μέχρι τη στιγμή που το καύσιμο (ή καύσιμο που παράγει **LBG**) μετατρέπεται σε υποπροϊόντα καύσης με 20% ύπαρξη αέρα, το καύσιμο ξύλο με 25% υγρασία αντιπροσωπεύει μία υψηλότερη ενεργειακή αξία εν συγκρίσει με του κάρβουνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ξύλο απαιτεί λιγότερο αέρα καύσης από ότι το κάρβουνο ανά ισοδύναμη μονάδα ενέργειας εξαιτίας της αυξημένης ποσότητας οξυγόνου που ήδη υπάρχει μέσα στο ξύλο. Σαν αποτέλεσμα, τα αέρια της καύσης που παράγονται ανά μονάδα ενέργειας είναι στην πραγματικότητα χαμηλότερα για το ξύλο παρά για το κάρβουνο, και η έξοδος ενέργειας ανά μονάδα είναι μεγαλύτερη. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό δεν αληθεύει για το ξύλο σε επίπεδα υγρασίας γύρω στο 45%. Σε αυτά τα υψηλότερα επίπεδα υγρασίας, η ενεργειακή αξία του ξύλου είναι κάτω από αυτή του κάρβουνου και μία αρνητική επίδραση στον λέβητα θα ήταν πιθανή.

Στον παρακάτω Πίνακα 11.1 υποδεικνύεται η επίδραση στις εκπομπές CO₂ και SO₂ ανάμεσα στα καύσιμα του κάρβουνου και του ξύλου. Παρόλο που η παραγωγή CO₂ από την καύση ξύλου είναι υψηλότερη από ότι του κάρβουνου, η συνολική επίδραση στο περιβάλλον αναιρείται από τη φωτοσυνθετική προσφορά που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης του καυσίμου ξύλου, κατά τη διάρκεια της οποίας μετακινούνται στην πραγματικότητα παρόμοιες ποσότητες CO₂ από την ατμόσφαιρα και το μετατρέπουν σε οργανικά συστατικά.

Στην Εικόνα 11.2 φαίνεται η αρχή της αεριοποίησης. Η προσέγγιση του επιπρόσθετου αεριοποιητή επιτρέπει στους λέβητες ισχύος να καίνε ένα καθαρό βιοαέριο για να εκτοπιστούν τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται τώρα. Ο απομονωμένος αεριοποιητής είναι ανεξάρτητος από την ισορροπία της εγκατάστασης και η σύνδεση της γραμμής αερίου χαμηλού Btu δεν απαιτεί οποιοσδήποτε τροποποιήσεις στα μέρη πίεσης του λέβητα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ ΚΑΡΒΟΥΝΟ ΚΑΙ ΤΟ ΞΥΛΟ			
Καύσιμο	Κάρβουνο	Ξύλο	
Ξηρή ανάλυση: %			
Άνθρακας	74.00	49.7	
Υδρογόνο	5.1	5.4	
Θείο	2.3	0.1	
Οξυγόνο	7.9	39.3	
Άζωτο	1.60	0.20	
Χλώριο	0.00	0.00	
Στάχτη	9.1	5.30	
Σύνολο	100.00	100.00	
Θερμική αξία, Btu/lb, ξηρό	13230	8806	
Υγρασία, %, υγρό	5.2	25.0	45.0
Χαμηλή θερμική αξία, Btu/lb *	11.980	5929	4054
Αέριο καύσης παραγόμενο σε 20% ροή αέρα, lb/Mbtu *	1030	910	1042
CO ₂ παραγόμενο, lb/Mbtu *	215	231	247
SO ₂ , lb/Mbtu *	3.84	0.25	0.27
Αδιαβατική θερμοκρασία, F	3365	3530	3010

* Βασισμένα στην χαμηλότερη θερμική αξία του καυσίμου.

Πίνακας 11.1: Σύγκριση των καυσίμων του πετρελαίου και του ξύλου.

12. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

12.1 ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΑΠΟ ΤΟ ΘΥΝΝΟ ΤΟΥ ΦΡΑΓΚΟΣΥΚΟΥ

12.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο σύνθετο σύγχρονο κόσμο η ατμόσφαιρα δεν είναι κάτι θεωρητικό με σημασία μόνο για τους οικολόγους. Η αποσάθρωση των πεδιάδων, το κόψιμο των δασών, η εξάντληση των αγροτικών καθώς και των θαλάσσιων πηγών είναι πια πραγματικότητα. Η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας για την πλήρωση των αναγκών των πόλεων και των βιομηχανιών, καθώς και η όλο και περισσότερο μείωση των πηγών των καυσίμων αποτελούν μία μη αναστρέψιμη διαδικασία.

Η ουσία αυτής της μελέτης δεν βρίσκεται στην μετατροπή της μίας μορφής ενέργειας σε μία άλλη, ή στη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε οργανικό υλικό. Εδώ παρουσιάζεται η χρήση των φυσικών πηγών με τρόπο ανανεώσιμο, συντηρητικό, οικολογικό και οικονομικό, συνιστώντας μία βιώσιμη λύση χωρίς ταυτόχρονο υποβιβασμό του περιβάλλοντος.

Ο θύννος της φραγκοσυκιάς [Tuna (*Opuntia ficus indicata*)] αντιπροσωπεύει μία σημαντική πηγή αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας με τη μορφή βιομάζας. Επίσης είναι ένα από τα είδη που προσαρμόζονται καλύτερα σε οριακές οικολογικές συνθήκες, και για αυτό είναι δυνατή η αξιοποίηση της ενέργειας και του οργανικού υλικού αποσάθρωσης του (μαυρόχωμα).

Η φραγκοσυκιά Tuna ανήκει στη βοτανική οικογένεια των Κάκτων, στο γένος *Opuntia* και στο είδος *ficus indica*. Τα φυτά του γένους αυτού χαρακτηρίζονται από το ότι είναι θάμνοι χυμώδεις, καλά διακλαδωμένα, που μπορούν να φτάσουν αρκετά μέτρα ύψος και έχουν κύκλο ζωής περίπου 20 χρόνια.

Η αναζήτηση λύσης στην τροφική κρίση έχει οδηγήσει στην αύξηση της παραγωγής των αγροτοκτηπευτικών και της βιομηχανίας τροφίμων. Απέναντι σε αυτά τα προβλήματα είναι βολικό να σκεφτούμε την βοτανολογία σαν ένα μέσο λύσης. Τα σκουλήκια επιταχύνουν την επεξεργασία των οργανικών υπολειμμάτων, μέχρι τη μετατροπή τους σε προϊόντα μη ρυπαίνοντα και λιγότερο ογκώδη.

Η βιομάζα είναι μία μορφή αποθήκης ηλιακής ενέργειας που συνθέεται μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, και για αυτό είναι εφικτή η μετατροπή της σε καύσιμα στερεά, υγρά ή αέρια.

Βιοενέργεια είναι η ενέργεια που ανακτάται μέσω βιολογικών διαδικασιών, και μαζί με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια είναι εναλλακτικές, δεν ρυπαίνουν και είναι κατάλληλες για τις ανάγκες της αγροτικής βιομηχανίας. Από αυτές η τεχνολογία που χρησιμοποιεί βιοαέριο είναι η πιο αναπτυσσόμενη, βασίζεται σε διαδικασίες φυσικού υποβιβασμού που πραγματοποιούνται αναερόβια μέσω βακτηρίων, με τη διαδικασία χώνευσης που επιτρέπει την παραγωγή ενός αερίου πλούσιου σε μεθάνιο (CH_4).

Σε διάφορες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο της Χιλής, το Καθολικό Πανεπιστήμιο της Χιλής, το Πανεπιστήμιο Austral της Χιλής και το Πανεπιστήμιο Federico Santa Maria, καθώς και σε άλλες χώρες, συμπεραίνεται ότι η χρήση του βιοαερίου αποτελεί μία εναλλακτική εφικτή λύση από τεχνική και οικονομική άποψη. Σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία η χρήση του βιοαερίου είναι ήδη διαδεδομένη.

12.1.2 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η μελέτη προσπαθεί να δώσει μία οικολογική λύση στο πρόβλημα της γένεσης του σαρκώδους μέρους των φύλλων της φραγκοσουκιάς με το κλάδεμα και το φυσικό φύραμα. Εφαρμόζεται σε φυτείες καλλιέργειας φρούτων, στην ανατροφή των χοίρων καθώς και γενικότερα στην ανθρώπινη και ζωική διατροφή (φραγκόσουκα).

Η διαδικασία αρχίζει με τη συγκομιδή του σαρκώδους μέρους του φύλλου (παλέτα της φραγκοσουκιάς). Κομμένα μαζί με ζωικά λιπάσματα και άλλες παλέτες σε αποσύνθεση χρησιμοποιείται για την σίτιση των σκουληκιών και την παραγωγή βιοαερίου σε χωνευτήρες.

Τα σκουλήκια παράγουν μαυρόχρωμα το οποίο χρησιμοποιείται σαν λίπασμα στις ίδιες τις φυτείες και από αυτό αποκτάται μια συγκεντρωμένη πρωτεΐνη (αλεύρι από σκουλήκια).

Στα συστήματα χώνευσης αποκτούνται βιοαέριο, ίζημα και νερό. Το ίζημα και το νερό χρησιμεύει στη βοτανολογία για να διατηρήσει την υγρασία

των στρωμάτων των σκουληκιών καθώς επίσης και στη διατροφή τους με θρεπτικά στοιχεία διαλυμένα μέσα στις λάσπες.

Μέσω γεννητριών κατάλληλα εξοπλισμένων για τη λειτουργία τους με βιοαέριο είναι δυνατόν να προμηθεύσει με ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία αντλιών, στεγνωτήρων, γραφείων και εγκαταστάσεων.

Στην περίπτωση των οχημάτων χρησιμοποιείται Αέριο Φυσικά Απορροφούμενο (GNA) που βασίζεται σε μία τεχνολογία με την οποία το αέριο απορροφάται μέσω ενός πορώδους υλικού σε σχετικά χαμηλές πιέσεις, 500 με 600 psi (30-40 bar). Όταν το φυσικό αέριο γεμίσει ένα αποθηκευτικό δοχείο που περιέχει ένα απορροφητικό υλικό, η ενεργητική πυκνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη για την ίδια ποσότητα αερίου χωρίς απορροφητικό υλικό, όταν βρίσκονται στην ίδια πίεση. Συγκρινόμενο με το Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο, το GNA αποθηκεύει 2/3 της ποσότητας του αερίου αλλά στο 1/6 της πίεσης.

Το αέριο που προέρχεται από εκμετάλλευση του βιοαερίου δεν περιέχει βουτάνιο και προπάνιο, αλλά μόνο διοξείδιο του άνθρακα, νερό και μεθάνιο. Αυτό εξηγεί την αιτία για την οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η τεχνολογία με φυσικό αέριο ή αέριο των πόλεων.

8.300 kg ΥΓΡΗ ΒΑΣΗ	=1.000 kg ΣΤΕΓΝΗ ΒΑΣΗ (12% ΣΤΕΡΕΟ)
..	=200 kg (2.450.000 kcal)
..	=2.770 kg σκουλήκια =249 kg αλεύρι
..	=2.770 kg μαυρόχωμα
..	=2.846,8 kWh (g)
..	=9.490 kWh (αποδ. 30% σε μηχανές εσωτ. καύσης)
..	=7.304 L ανακτημένου νερού

Πίνακας 12.1: Αποδοτικότητες κατά προσέγγιση αποκτημένες από το σαρκώδες φύλλο της φραγκοσυκιάς (παλέτες).

Προϊόντα που αποκτούνται από τη διαδικασία:

- Κρέας για την ανθρώπινη διατροφή
- Αλεύρι από σκουλήκι, παρόμοιο με το αλεύρι από ψάρι σε αποσύνθεση
- Μαυρόχωμα, φυσικό λίπασμα
- Ενέργεια για θέρμανση, αέριο
- Ηλεκτρική ενέργεια για κινητήρες και εγκαταστάσεις
- Κόκκινη βαφή

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης
- Αποθήκευση της ενέργειας σε βιομάζα
- Ανάκτηση εδαφών και περιοχών άγονων και ξερών
- Ανάκτηση νερού
- Έντονη ζήτηση χειρονακτικής εργασίας
- Διαποίκιλη της παραγωγής

12.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΑΠΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

Σε λίγα χρόνια θα μπορούμε να γεμίζουμε το ντεπόζιτο του αυτοκινήτου μας με καλαμπόκι σε υγρή μορφή. Ο Στέφεν Πολ, φυσικός του Πανεπιστημίου Πρίνστον, βρήκε ένα τρόπο να παράγει αντικατάστατα της βενζίνης από καλαμπόκι, χαρτί (από φλούδες ξύλων) και άλλα βιομαζικά παράγωγα ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τα βλαβερά απόβλητα των μηχανών.

Περίπου το 70% των υγρών καυσίμων της ανακάλυψης του δρα Πολ προέρχεται από χρησιμοποιημένα υλικά, ενώ το υπόλοιπο είναι αιθανόλη και καλαμπόκι. Ο δρα Πολ ανακοίνωσε στην ετήσια συνεδρίαση της Αμερικανικής Χημικής Εταιρείας ότι τα καύσιμά του παράγουν 40-50% λιγότερους υδρογονάνθρακες (που αποτελούν κύρια πηγή μόλυνσης της ατμόσφαιρας), 20% λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα και 4% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα, ενώ δίνουν 92% της ενέργειας της βενζίνης.

12.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (H₂) ΑΠΟ ΦΥΚΗ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ

Οι ειδικοί προβλέπουν ότι σε μία δεκαετία θα οδηγούμε αυτοκίνητα και θα πετάμε αεροπλάνα που δεν θα μολύνουν την ατμόσφαιρα με ρύπους, θα παράγουν λιγότερο θόρυβο. Για το λόγο αυτό, πολλές χώρες χρηματοδοτούν την έρευνα για την εξέλιξη των κινητήρων που θα καίνε υδρογόνο.

Το φύκι με την ονομασία *Chlamydomonas reinhardtii* είναι ένα μικρό πράσινο χλωρόφυτο των λιμνών που παρουσιάζει ανεξέλεγκτο πολλαπλασιασμό και επομένως συνωστισμό στα ανώτερα στρώματα των στάσιμων υδάτων. Ήταν γνωστό εδώ και περίπου 60 χρόνια ότι διάφορα είδη φυκιών παράγουν υδρογόνο, σε απειροελάχιστες όμως ποσότητες. Ο βιολόγος Αναστάσιος Μελής, καθηγητής μικροβιολογίας στο Πανεπιστήμιο του Μπερκλีย์, με την ερευνητική του ομάδα ανακάλυψε έναν "διακόπτη" στον μεταβολισμό του μονοκύτταρου οργανισμού, το οποίο σε αναερόβιες συνθήκες (έλλειψη οξυγόνου) και με μόνη αναγκαία προϋπόθεση την απουσία θείου πυροδοτεί την παραγωγή υδρογόνου.

Στο εργαστήριο του υπάρχουν φιάλες που περιέχουν ένα πρασινωπό υγρό γεμάτο μπουρμπουλήθρες οι οποίες περνούν μέσα από σωλήνες που ξεκινούν από τα καλά κλεισμένα πώματα και καταλήγουν σε μία δεξαμενή συλλογής. Πρόκειται για σκέτο υδρογόνο το οποίο όταν καίγεται από την εξάτμιση βγαίνει τόσο καθαρό νερό που μπορείς ακόμα και να το πιεις. Ο κύκλος παραγωγής είναι εβδομαδιαίος, στο πρώτο μισό του διαστήματος και σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο η καλλιέργεια απλώς φωτοσυνθέτει, για να αρχίσει μετά να καίει τους υδατάνθρακες και τα άλλα καύσιμα που αποθήκευσε εκλύοντας υδρογόνο.

Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί ξανά και ξανά χωρίς τα φύκη να παθαίνουν κάποια βλάβη. Υπάρχουν βεβαίως και άλλοι τρόποι παραγωγής υδρογόνου, αλλά υπολείπονται σημαντικά αν εξετασθούν με βάση τα οικολογικά κριτήρια και συνεκτιμηθεί ο παράγων ασφάλεια. Πιστεύεται επίσης ότι μόλις λυθούν κάποια προβλήματα και η παραγωγή αυξηθεί, αναμένεται ότι θα δεκαπλασιαστεί, η παραγωγικότητα της μεθόδου θα είναι πλέον και οικονομικά συμφέρουσα. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, μία μικρή δεξαμενή θα

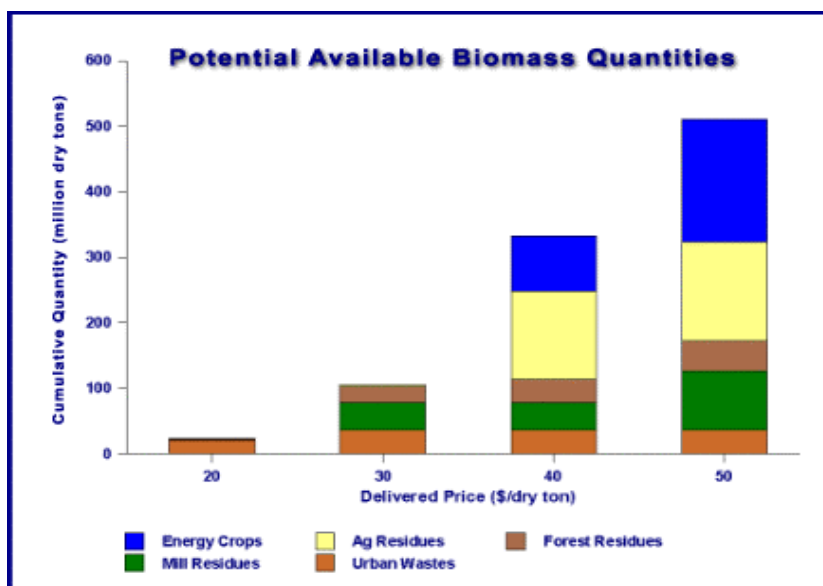
είναι τότε ικανή να καλύπτει τις ανάγκες σε **ενέργεια** και **καύσιμα** τουλάχιστον δέκα ανθρώπων.

13. Η ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

13.1 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Το Oak Ridge National Laboratory (Η.Π.Α.) εκτίμησε τις ποσότητες της βιομάζας που είναι ενδεχομένως διαθέσιμες σε τιμές κάτω από \$50 ανά ξηρό τόνο σε πέντε κατηγορίες πρώτων υλών: αστικά υπολείμματα ξύλου, πρωτογενή υπόλοιπα αλέσματος, δασικά υπόλοιπα, αγροτικά υπόλοιπα και ενεργειακά αφιερωμένες καλλιέργειες.

Εκτιμήθηκε ένα ετήσιο σύνολο 512 εκατομμυρίων τόνων ξηρής βιομάζας ισοδύναμης με 8.09 Quads ($\times 10^{16}$ BTUs) αρχικής μορφής ενέργειας που θα μπορούσε να είναι αρχικά διαθέσιμη με κόστος χαμηλότερο από \$50 ανά ξηρή μάζα υλικού. Αυτό σημαίνει τουλάχιστον 74 εκατομμύρια τόνους ξηρής βιομάζας (1.2 Quads) επί του παρόντος να χρησιμοποιείται σαν καύσιμο. Οι ποσότητες θα μπορούσαν ενδεχομένως να αυξηθούν σε 800 εκατομμύρια τόνους ξηρής μάζας (περίπου 12.4 Quads) τις επόμενες δύο δεκαετίες. Οι αυξήσεις απαιτούν επιπρόσθετη έρευνα, συντονισμένες αγροτικές και ενεργειακές πολιτικές και διάλογο με την περιβαλλοντική κοινότητα. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στις εκτιμήσεις και οι τάσεις που ίσως επηρεάσουν τις μελλοντικές ποσότητες συνοψίζονται παρακάτω.



Διάγραμμα 13.1: Ενδεχόμενες διαθέσιμες ποσότητες βιομάζας.

13.2 ΑΣΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΞΥΛΟΥ

Εκτιμάται ότι 36.8 εκατομμύρια τόνοι (0.63 Quads) ξηρών αστικών υπολειμμάτων ξύλου είναι ετησίως διαθέσιμα. Οι εκτιμήσεις βασίζονται μόνο στις ποσότητες ξύλου που διατίθενται στους χώρους υγειονομικής ταφής αστικών στερεών αποβλήτων, κατασκευαστικούς/κατεδαφιστικούς χώρους, και αποθηκευτικούς χώρους αχρήστων από όπου λαμβάνονται με ευκολία. Οι εκτιμημένες ποσότητες περιλαμβάνουν περίπου 4.7 εκατομμύρια τόνους (0.08 Quads) ξηρών υπολειμμάτων ξύλου που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για καύσιμο, και αποτελούνται από ξύλο που ανακυκλώνεται, που γίνεται λίπασμα (από φύλλα) ή που χρησιμοποιείται για άλλα προϊόντα. Οι ποσότητες των αστικών αποβλήτων θα μπορούσαν να αυξηθούν εάν σε αυτές συμπεριλαμβάνονταν μη ξυλώδη άχρηστα, όπως το χαρτί. Επιπρόσθετα αστικά απόβλητα ξύλου θα μπορούσαν να είναι διαθέσιμα, αλλά δεν εισέρχονται στη συνεχή ροή διαχείρισης αποβλήτων μέσω των χώρων υγειονομικής ταφής αστικών στερεών αποβλήτων και κατασκευαστικών/κατεδαφιστικών χώρων. Μία ουσιαστική αύξηση των διαθέσιμων αποβλήτων ξύλου φαίνεται απίθανη μέσα στις επόμενες δύο δεκαετίες, ακόμα και με την αύξηση του πληθυσμού, εξαιτίας των προσπαθειών για μείωση της παραγωγής των αχρήστων στην πηγή δημιουργίας τους και την αύξηση της ανακύκλωσης.

13.3 ΑΡΧΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Εκτιμάται ότι 90.5 εκατομμύρια τόνοι (1.5 Quads) ξηρών αρχικών υπολοίπων μηχανικής κατεργασίας παράγονται περίπου ετησίως. Από αυτά μόνο το 2% χρησιμοποιείται επί του παρόντος για ενέργεια, χαρτί, φύλλα κόντρα-πλακέ, σύνθετα ξύλινα προϊόντα και άλλες χρήσεις. Στο παρελθόν, καθώς οι τιμές της ξυλείας αυξάνονταν, αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες μηχανικής κατεργασίας που μείωναν τα υπολείμματα και νέες τεχνολογίες τελικών προϊόντων (όπως το προσανατολισμένο πλέγμα υλικού από πεπιεσμένο χαρτοπολτό - oriented strand board) που χρησιμοποιούν άχρηστα υλικά. Πιθανολογείται ότι αυτές οι τάσεις θα συνεχιστούν και στο

μέλλον, περιορίζοντας έτσι τα υπολείμματα τεχνικής κατεργασίας ακόμα και αν η πρωτογενής ξυλεία απαιτεί αύξηση.

13.4 ΔΑΣΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ

Εκτιμάται ότι 45 εκατομμύρια ξηροί τόνοι (0.76 Quads) δασικών υπολοίπων είναι διαθέσιμοι ετησίως σε τιμές κάτω από \$50 ανά ξηρό τόνο. Οι εκτιμημένες ποσότητες περιλαμβάνουν μόνο υπόλοιπα από κοπή, λέπτιμα-αραίωση (thinnings), σάπιων και διασώσιμων νεκρών ξύλων, ενώ δεν συμπεριλαμβάνεται η συγκομιδή των εμπορεύσιμων ειδών. Αυτή είναι η μεγαλύτερη κατηγορία της δασικής καταγραφής και θα μπορούσε ενδεχομένως να προσθέσει άλλα 90 εκατομμύρια τόνους ξηρής βιομάζας (1.5 Quads) σε τιμές κάτω από \$50 ανά ξηρό τόνο. Ωστόσο, η παρατεταμένη αύξηση της συγκομιδής των δασών για ενεργειακή χρήση πρέπει να εξεταστεί προσεχτικά, πριν την συμπερίληψη τέτοιων ποσοτήτων στους καταλόγους απογραφής των πόρων βιομάζας.

13.5 ΑΓΡΟΤΙΚΑ ΥΠΟΛΟΙΠΑ

Εκτιμάται ότι 150.7 εκατομμύρια ξηρών τόνων (2.3 Quads) ώριμων κοτσανιών καλαμποκιού και άχυρων σιταριού, τα μόνα αγροτικά υπόλοιπα που εξετάζονται εδώ, είναι διαθέσιμα ετησίως. Κατά μέσο όρο, αυτές οι μελέτες υποθέτουν ότι περίπου 40% του συνολικού υπολοίπου που παράγεται συλλέγεται, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα παραμένει για να συντηρήσει την ποιότητα του εδάφους. Οι ποσότητες των πηγών τροφοδοσίας θα μπορούσαν ενδεχομένως να αυξηθούν ουσιαστικά (ίσως και να διπλασιαστούν) μέσω του συνυπολογισμού των υπολοίπων άλλων αγροτικών σοδειών όπως οι σπόροι σόγιας, το κριθάρι, το ρύζι, η βρώμη, το βαμβάκι, και άλλα, μέσω αυξημένων αποδόσεων των σοδειών. Άλλες επιλογές όπως ειδικές καλλιέργειες για να παράγουν χημικά ξεχωριστής ποιότητας είτε σαν αφοσιωμένα πρωτογενή στοιχεία είτε επιπρόσθετα στα παραδοσιακά είδη διατροφής δεν έχουν ληφθεί υπόψη.

13.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΟΔΕΙΣ

Σε ένα πρόγραμμα συνεργασίας του Υπουργείου Γεωργίας και του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α., εκτιμήθηκε η ωφέλεια από την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών βιομάζας. Υπολογίστηκε ότι 188 εκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας (2.9 Quads) θα μπορούσε να είναι διαθέσιμη ετησίως σε ελεύθερες τιμές χαμηλότερες από \$50 ανά ξηρό τόνο μέχρι το έτος 2008. Η ανάλυση περιλαμβάνει όλη τη γη που είναι κατάλληλη για την παραγωγή ενεργειακών σοδειών η οποία συνήθως καλλιεργείται με παραδοσιακές σοδειές, ή είναι αδρανής, ή είναι βοσκοτόπι, ή βρίσκεται στο Πρόγραμμα Συντήρησης Προστατευμένης Περιοχής (CRP). Εκτιμάται ότι 42 εκατομμύρια acres της καλλιεργήσιμης γης (περίπου το 10% του συνολικού) θα μπορούσε να μετατραπεί σε παραγωγικές ενεργειακές καλλιέργειες συμπεριλαμβάνοντας 13 εκατομμύρια CRP acres. Η συγκομιδή των CRP acres θα απαιτούσε αλλαγή των ισχυόντων νόμων, και θα πρέπει να δομηθεί έτσι ώστε να διατηρήσει τα περιβαλλοντικά οφέλη του προγράμματος. Οι ποσότητες των εκτιμήσεων αντιπροσωπεύουν το μέγιστο που θα μπορούσε να παραχθεί με ένα κέρδος μεγαλύτερο από αυτό που θα μπορούσε να αποχτηθεί μέσω των υπάρχοντων χρήσεων. Η υιοθέτηση από τους κτηματίες των νέων καλλιεργειών βασίζεται σε διάφορους παράγοντες. Το μεγαλύτερο κέρδος θα ενθαρρύνει, αλλά δεν θα εγγυηθεί την υιοθέτηση μιας καινούργιας καλλιέργειας.

Οι αποδόσεις των ενεργειακών καλλιεργειών θα αυξηθούν με το χρόνο, αλλά το ίδιο και οι αποδόσεις των παραδοσιακών καλλιεργειών. Η αλληλεπίδραση της ζήτησης για τροφή, βοσκή και ίνες με τις παραδοσιακές αποδόσεις των καλλιεργειών, καθώς και τα κόστη παραγωγής αυτών θα καθορίσουν τον αριθμό των acres που προσδιορίζονται στην παραγωγή των παραδοσιακών καλλιεργειών. Η διεθνής ζήτηση για τροφή, βοσκή και ίνες αναμένεται ότι θα αυξηθεί στο μέλλον.

Η βιοτεχνολογία αναμένεται να αυξήσει ουσιαστικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών στο μέλλον, παρόλο που μελέτες (όπως αυτές του Office of Technology Assessment and the Resource Conservation Act) επισημαίνει ότι οι μέγιστες αποδόσεις πιθανότατα θα πραγματοποιηθούν μετά το 2020. Οι

ενδεχόμενες ποσότητες των ενεργειακών καλλιεργειών θα μπορούσαν να αυξηθούν στο άμεσο μέλλον, αλλά οι αυξήσεις θα οφείλονται στις αυξημένες αποδόσεις ανά acre και όχι στην αύξηση των acres. Ευκαιρίες να δημιουργηθούν ενεργειακές καλλιέργειες βιομάζας για να εξυπηρετούν πολλαπλές αιτίες δεν έχουν ληφθεί υπόψη σε αυτήν την ανάλυση.

14. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Η περιβαλλοντική επίδραση ενός επιμηκυμένου ενεργειακού προγράμματος βιομάζας αξίζει προσεκτική μελέτη. Παρόλο που η καύση των άχρηστων γενικά αποζημιώνει εν μέρει το περιβάλλον λύνοντας το πρόβλημα της διάθεσης τους, οι συνέπειες μίας κίνησης για παραγωγή μεγάλης κλίμακας ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί να μην είναι τόσο ήπια (benign), εκτός αν λαμβάνεται φροντίδα στην παραγωγή και χρήση βιομάζας.

14.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Μερικές από τις προτάσεις για να μειωθεί η επίδραση της παγκόσμιας θέρμανσης έχει ως βασική ανάγκη να ρυθμίσει (fix) ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) φυτεύοντας δέντρα σε μία μεγάλη κλίμακα. Ενώ υπάρχει μικρή αμφιβολία ότι η αποψίλωση και η αναφύτευση μεγάλων περιοχών με δέντρα θα φέρει μεγάλα περιβαλλοντικά οφέλη, η υιοθέτηση μίας πλατύτερης ενεργειακής στρατηγικής βιομάζας ίσως είναι ένας πιο αποτελεσματικός τρόπος ρύθμισης της ισορροπίας του CO₂ της ατμόσφαιρας.

Η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα από μία νέα δεντροφύτευση δασών είναι ένα τελικό μέτρο που θα "εξαγοράσει χρόνο" ρυθμίζοντας (fixing) το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα καθώς η ωρίμανση των δέντρων απαιτεί ως πούμε 40-60 χρόνια, ενώ η αντικατάσταση των φυσικών καυσίμων από καύσιμα βιομάζας προσφέρει μία λύση μεγαλύτερης διάρκειας, αφού η ανάπτυξη και καύση των βιοκαυσίμων σε μία σταθερή βάση είναι ουδέτερη σε CO₂. Το κόστος και η δυνατότητα για μείωση των εκπομπών του CO₂ με αυτό τον τρόπο εξαρτάται από την ικανότητα της μετατροπής ενέργειας κατά την ανάπτυξη και την καύση της βιομάζας, και από τον τύπο του συμβατικού καυσίμου που αντικαθιστάται. Το κάρβουνο είναι ένας κατάλληλος υποψήφιος για αντικατάσταση, αφού παράγει το περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας και γιατί πολλές από τις προχωρημένες τεχνολογίες "καθαρού κάρβουνου" (clean-coal) [καύση ρευστοποιημένης κλίνης "fluidized bed combustion",

καθαρισμός αερίων εξαγωγής "exhausted gas clean-up", κ.τ.λ.] μπορούν να υιοθετηθούν άμεσα για βιομάζα.

14.2 ΑΛΛΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΥΣΗΣ

Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό δεν αποτελούν ποτέ τα μόνα προϊόντα από τη χρήση των καυσίμων. Αναφέρουμε για παράδειγμα ότι, παρόλο που το bio-diesel παράγει 65% λιγότερο CO₂ συγκρινόμενο με το ισοδύναμο συμβατικό καύσιμο, το πλεονέκτημά του είναι μόνο 35% όταν άλλα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου όπως τα οξείδια του αζώτου και το μεθάνιο λαμβάνονται υπόψη. Γενικά, τα παραπροϊόντα είναι αποτέλεσμα των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, και τα περισσότερα καύσιμα περιέχουν επίσης κάποιο ποσοστό άκαυστου υλικού (στάχτη) που πρέπει να αφαιρεθεί από το κλίβανο ή το θάλαμο καύσης. Για πολλά καύσιμα απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό, την κατασκευή και την λειτουργία της βιομηχανικής εγκατάστασης, ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης καύση και να αποτρέπεται η εκπομπή δηλητηριωδών προϊόντων ατελούς καύσης. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα οικιακά και βιομηχανικά άχρηστα. Ενώ μία απλή φωτιά ξύλου μπορεί να καπνίζει πολύ, ένας προηγμένος σχεδιασμός φούρνου μειώνει δραστικά τις εκπομπές μολυσματικών ουσιών όπως είναι τα σωματίδια (particulates) και οι πολύ-αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs). Επίσης, τα βιοκαύσιμα είναι από τη φύση τους καθαρότερα από το κάρβουνο, με ουσιαστικά μηδενικό περιεχόμενο σε θείο. Το ομοιογενές ενεργειακό τους περιεχόμενο και η μεγαλύτερη αντιδραστικότητα τους διευκολύνει να βελτιστοποιηθεί ο σχεδιασμός των συστημάτων καύσης, κάτι που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη για εξοπλισμό "καθαρισμού" (scrubbing) για την εξάλειψη του διοξειδίου του θείου.

Τα βιοκαύσιμα είναι έτσι "καθαρά" ως προς τις εκπομπές αερίου του θερμοκηπίου (CO₂) και τις εκπομπές αερίων οξέων (SO₂). Ένα άλλο συστατικό της όξινης βροχής, οξείδια του αζώτου (NO_x), μπορεί να παραχθεί από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου, ειδικά όπου η ανάγκη για επάρκεια του καυσίμου οδήγησε σε υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης. Ωστόσο, το επίπεδό τους μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό χρησιμοποιώντας

τροποποιημένα συστήματα καύσης και/ ή καταλύτες που καθαρίζουν τα αέρια της εξάτμισης. Σημαντικές πρόοδοι έγιναν στις Η.Π.Α. όπου είναι διαθέσιμος εξοπλισμός με καταλυτικούς εναλλάκτες τοποθετημένους στις καμινάδες για ποικίλες εγκαταστάσεις, από φούρνους που καίνε ξύλα μέχρι και βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρισμού.

14.3 ΜΕΘΑΝΙΟ

Εκτός από την αποφυγή τυχαίων εκρήξεων οφειλόμενων στην μεταφορά μεθανίου από τους υπάρχοντες χώρους υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων μέσα σε κτίρια, η εξαγωγή και η καύση του αερίου από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων εξασφαλίζει ένα επιπλέον περιβαλλοντικό όφελος μετατρέποντας ένα δραστικό "**greenhouse gas**" (μεθάνιο) σε ένα πολύ λιγότερο επιβλαβές (διοξείδιο του άνθρακα). Ένα μόριο CH_4 είναι σχεδόν 30 φορές πιο αποτελεσματικό από ένα μόριο CO_2 στο να παγιδεύει την ακτινοβολούμενη θερμότητα της Γης. Έχει εκτιμηθεί ότι η χρήση του landfill gas στο Ηνωμένο Βασίλειο όταν δεν αφήνεται να διαφεύγει είναι ισοδύναμο με τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα που φτάνει στην ατμόσφαιρα από 38 έως 55 εκατομμύρια τόνους ετησίως, δηλαδή 10% των τωρινών εκπομπών του CO_2 της χώρα.

14.4 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Προτάσεις να χρησιμοποιηθεί η πλεονάζουσα αγροτική γη για ενεργειακές σοδειές, ειδικότερα ελαιοκράμβη και κοντοί θάμνοι, οδήγησαν σε εκφράσεις ανησυχίας γύρω από την επίπτωση αυτού στην αγροτική γη της Ευρώπης. Αυτές επικεντρώνονται σε μία πιθανή μείωση στη βιολογική ποικιλία και την ενδεχόμενη αύξηση της εντατικής καλλιέργειας με μεγάλη χρήση λιπασμάτων και μικροβιοκτόνων.

Σε απάντηση, οι προτείνοντες την χρήση βιομάζας απαντούν ότι πολλά από αυτά τα προβλήματα έχουν ήδη προβλεφθεί. Προτάσεις για ενέργεια από τη συγκομιδή δασικής γης έχουν ήδη λάβει υπόψη την πιθανότητα παρακείμενων αγροτεμαχίων με διαφορετικά είδη δέντρων και διάσπαρτη

αυτόχθονα βλάστηση, για να αποφευχθούν ξεσπάσματα αρρώστιας. Κλάδεμα μικρών θάμνων κάθε λίγα χρόνια ίσως να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χρήσιμων καταφυγίων. Πειράματα έδειξαν ότι η ποικιλία τόσο πουλιών όσο και ασπόνδυλων ζώων είναι μεγαλύτερη κάτω από μικρούς θάμνους από ότι σε ετήσια καλλιέργεια σοδειάς, και συμπεριλαμβάνοντας μικρές περιοχές με ανενόχλητο δάσος μπορεί να βελτιώσει επιπλέον την βιολογική ποικιλία.

Ενώ μερικά λιπάσματα και μικροβιοκτόνα είναι απαραίτητα για την επίτευξη οικονομικών αποδόσεων, προτείνεται ότι δάσος με θάμνους θα μπορούσε στην πραγματικότητα να βελτιώσει την ποιότητα του υπόγειου νερού, γιατί το εκτενές σύστημα των ριζών λειτουργεί σαν ένα βιοφίλτρο. Μία πιθανότητα που προσελκύει το ενδιαφέρον είναι η χρήση των θάμνων για τη θεραπεία γης με λάσπη κατεργασμένων αποβλήτων βοθρολυμάτων (sewage sludge). Η λάσπη θα εξασφάλιζε ένα λίπασμα αργής απελευθέρωσης, ενώ το περιεχόμενο της σε νερό θα μείωνε την απαίτηση για άρδευση. Στην Δανία εκτιμάται ότι 30.000 ha μικρών δέντρων ιτιάς (willow) θα μπορούσαν να διαχειριστούν τα βοθρολύματα που παράγονται από ένα πληθυσμό άνω των 5 εκατομμυρίων.

Ωστόσο, η έρευνα συνεχίζεται όσον αφορά την επίδραση των ενεργειακών καλλιεργειών, ειδικά με φροντίδα να ελαχιστοποιηθεί η χρήση μέσων όπως τα χημικά λιπάσματα, τα μικροβιοκτόνα και το νερό. Υπολογίζοντας το **αποδεκτό μέσο**, οι χώρες χρειάζεται να λάβουν υπόψη τους και εμπορικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Στην Αγγλία και την Ουαλία οι αρμόδιες αρχές οδηγούνται συνυπολογίζοντας την ανάγκη να **εξισορροπηθούν** τα οφέλη από τα σχέδια της ανανεώσιμης ενέργειας και τα οφέλη από τη διατήρηση της εξοχής στην τωρινή της μορφή.

14.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ

Στο πρόσφατο παρελθόν, μερικά σχέδια βιομάζας αντιμετώπισαν έντονη κριτική γιατί απαιτούσαν χρήση μεγάλης ποσότητας ενέργειας με τη μορφή λιπασμάτων, θερισμού και διαδικασίας. Στις χειρότερες περιπτώσεις, όπως η μετατροπή του πλεονάζοντος αραβοσίτου των Η.Π.Α. σε καύσιμο αιθανόλης, αποδείχτηκε ότι η ενεργειακή ισορροπία-ισολογισμός, δηλαδή ο

λόγος των εξερχόμενων προς τα εισερχόμενα, είναι κοντά στην μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει καθαρό ενεργειακό κέρδος εάν η ενέργεια από την αιθανόλη λαμβάνεται σαν η μοναδική έξοδος.

Ωστόσο, ο υπολογισμός των ενεργειακών ισορροπιών πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όλους τους σχετικούς παράγοντες. Είναι βέβαια σημαντικό να συνυπολογιστεί το ενεργειακό περιεχόμενο των εισερχομένων όπως καύσιμο για τα αγροτικά οχήματα και η χρήση των πλούσιων σε ενέργεια αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς και τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία. Το ίδιο βέβαια πρέπει να γίνει και με τα εξερχόμενα. Για παράδειγμα, η ζύμωση αμυλούχων σοδειών προς αιθανόλη παράγει χρήσιμα υποπροϊόντα όπως καθαρό CO₂, που χρησιμοποιείται στην παραγωγή αναψυκτικών, καθώς και τροφή βοδιών που έχουν και τα δύο αγοραστική και ενεργειακή αξία.

Φροντίδα πρέπει να ληφθεί ώστε να μελετηθεί εάν το σύστημα είναι πραγματικά βελτιστοποιημένο για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Για παράδειγμα, πολλές μελέτες "αχρήστων σε ενέργεια" σχεδιάστηκαν πρωταρχικά για να ξεφορτωθούν τα σκουπίδια, δίνοντας ελάχιστη προσοχή στην καθαρή ενεργειακή απόδοση. Η ανάλυση ενεργειακής ισορροπίας μπορεί να είναι χρήσιμη από αυτήν την άποψη προσδιορίζοντας περιοχές όπου η ενέργεια των εισερχομένων χρειάζεται να μειωθεί. Μία πρόσφατη εκτίμηση παραγωγής αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στη Ζιμπάμπουε έδειξε μία ευνοϊκή ενεργειακή ισορροπία **1.9:1**, αλλά συνέστησε βελτιώσεις που θα μπορούσαν να έχουν σαν αποτέλεσμα περισσότερο από το διπλασιασμό αυτής της αναλογίας, αυξάνοντας τη χρήση των **bagasse** (κατάλοιπο αποχύμωσης - ίνα ζαχαροκάλαμου) και μειώνοντας έτσι την ανάγκη για κάρβουνο προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη θερμότητα για την παραγωγική διαδικασία εκτός της εποχής θερισμού του καλαμιού. Όπου μόνο bagasse χρησιμοποιείται για να εξασφαλιστεί η ενέργεια για την παραγωγή αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο, βραζιλιάνικες μελέτες έδειξαν ότι η ενεργειακή ισορροπία για ολόκληρο τον κύκλο διαδικασίας μπορεί να υπερβεί το **6:1**, εξασφαλίζοντας έτσι ένα αξιόλογο ενεργειακό κέρδος.

Ένα βελτιστοποιημένο σύστημα ενέργειας επομένως θα τείνει να είναι χαμηλής εισόδου, ελαχιστοποιώντας τη χρήση πλούσιων σε ενέργεια μέσων ή συμβατικών καυσίμων όπως λίπασμα και καύσιμο για τρακτέρ, και

μεγιστοποιώντας την ανακύκλωση και την ανάκτηση ενέργειας μέσω της διαδικασίας. Πρόσφατες εκτιμήσεις των ενεργειακών ισορροπιών για ενεργειακές καλλιέργειες είχαν ενθαρρυντικά υψηλές τιμές. Ανάλυση βασισμένη σε αποδόσεις των Η.Π.Α. το 1993 προτείνει **10:1** για χορτώδεις (herbaceous) καλλιέργειες και **15:1** για καλλιέργειες ξύλου. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, για τεμαχισμένο ξύλο θάμνων διανεμημένο σε μία περιοχή μέχρι 25 μίλια, η μελέτη φτάνει σε **20:1** (1993). Περαιτέρω αυξήσεις θα μπορούσαν να είναι αποτέλεσμα βελτιωμένων αποδόσεων των καλλιεργειών και χρήσης λιγότερης ενέργειας (λιπάσματα όπως λάσπη κατεργασμένων αποβλήτων βοθρολυμάτων 'sewage sludge').

Η ενεργειακή ισορροπία ενός ενεργειακού συστήματος βιομάζας αποτελεί επίσης μία αντανάκλαση του περιβαλλοντικού οφέλους. Όσο μεγαλύτερη είναι η έξοδος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η μόλυνση που εκτοπίζεται. Όσο μικρότερη είναι η είσοδος, τόσο μικρότερες είναι οι επιπλέον απαιτήσεις που θέτονται στο περιβάλλον από το σύστημα βιομάζας. Στο παρελθόν, εκφράστηκαν φόβοι ότι οποιοδήποτε ενεργειακό πρόγραμμα βιομάζας μεγάλης κλίμακας θα κατανάλωνε ένα τόσο μεγάλο αριθμό επιπρόσθετων εισερχομένων που οι ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές συνέπειες θα εκτόπιζαν τα οφέλη. Επαρκής εμπειρία που έχει αποκτηθεί παγκοσμίως δείχνει ότι αυτό συμβαίνει σπανίως και δεν αποτελεί τον κανόνα, ιδιαίτερα εάν η είσοδος και η έξοδος του συστήματος έχουν εκτιμηθεί και βελτιστοποιηθεί σωστά.

15. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΔΑΣΙΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΛΗΨΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ

15.1 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Διακρίνονται τέσσερις βασικές μορφές δασών:

Παρθένα δάση, όπου δεν υπάρχει αισθητή ανθρώπινη επέμβαση και η εξέλιξη τους υπόκειται στους φυσικούς νόμους.

Φυσικά δάση, που ανταποκρίνονται στη φυσική σύνθεση. Πραγματοποιούνται καρπώσεις χωρίς σημαντική διαταραχή της εξέλιξης του δάσους, ενώ η φυσική αναγέννησή του επικουρείται και από μικρής κλίμακας τεχνητή αναγέννηση.

Τεχνητά δάση, τα οποία ιδρύθηκαν σε γυμνές εκτάσεις με τη χρήση αυτοχθόνων και μη φυτικών ειδών που είναι όμως προσαρμοσμένα στις συνθήκες της περιοχής.

Δασικές φυτείες, όπου σε γεωργικώς καλλιεργούμενα εδάφη φυτεύονται δέντρα μικρού περίτροπου χρόνου (χρόνου παραγωγής) με σκοπό τη χρήση τους ως βιομάζα.

Για να εκτιμήσει κανείς τις επιπτώσεις της απόληψης βιομάζας από τα δασικά οικοσυστήματα θα πρέπει να κατανοήσει πρώτα το μηχανισμό αύξησης της βιομάζας, ο οποίος στηρίζεται στην αποθεματοποίηση θρεπτικών στοιχείων του εδάφους και στις εισροές κατά τη διάρκεια ζωής των συστάδων.

Οι ανάγκες των δασοσυστάδων σε θρεπτικά στοιχεία δεν είναι σταθερές. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι υπάρχουν δασοπονικά είδη που κάνουν αποτελεσματικότερη χρήση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους σε σχέση με άλλα, δηλαδή σε συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες δημιουργούν περισσότερη βιομάζα ανά μονάδα χρόνου, ένας δείκτης που ονομάστηκε **οικολογικό κόστος**. Διαφορές στο μέγεθος αυτού του δείκτη παρατηρούνται και στα διάφορα θρεπτικά στοιχεία καθώς και σε διαφορετικής γονιμότητας εδάφη. *Για την παραγωγή βιομάζας έχει μεγάλη σημασία να χρησιμοποιούνται είδη με μικρό οικολογικό κόστος.*

15.2 ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ

Στα αδιατάρακτα οικοσυστήματα υπάρχει μία δυναμική κατάσταση ισορροπίας. Τόσο η βιομάζα όσο και τα θρεπτικά στοιχεία είναι σε μεγάλη έκταση σταθερά, δηλαδή όση βιομάζα συντίθεται (αφομοίωση) τόση αποσυντίθεται (καύση). Τα θρεπτικά στοιχεία μετακινούνται από το έδαφος προς τα διάφορα τμήματα της βιομάζας και αντίστροφα ανακυκλώνονται ως νεκρή ύλη διατηρώντας μία δυναμική ισορροπία. Οι διαταραχές μπορεί να αφορούν στη μεταβολή της ποικιλότητας των ειδών, της ποιότητας και ποσότητας βιομάζας, στην κατάσταση θρεπτικών στοιχείων, αλλά και στη δομή των οικοσυστημάτων.

Τα αίτια των διαταραχών (π.χ. πυρκαγιές δασών, βόσκηση από ζώα, υλοτομίες) δεν έχουν τόση σημασία όσο το μέγεθος τους, η ένταση, η συχνότητα, η διάρκεια και η εποχή εμφάνισής τους. Υπάρχουν είδη που μετά από μία διαταραχή οδηγούνται σε εξαφάνιση, ενώ αντίθετα άλλα ευνοούνται εξαιτίας διαταραχών.

Οι στρατηγικές διαχείρισης των οικοσυστημάτων εξαρτώνται άμεσα από την πορεία εξέλιξης της βιομάζας σε αυτά. Στο Διάγραμμα 15.1 παριστάνεται η μεταβολή της βιομάζας σε ένα παρθένο και αδιατάρακτο οικοσύστημα και σε διαχειριζόμενα με φθίνουσα βιομάζα, με αύξουσα ανθρωπογενή επίδραση και φθίνοντες περίτροπους χρόνους ή διάρκεια μεταξύ διαταραχών.

Η φθίνουσα τάση μπορεί να συνεπάγεται και μη αειφορική διαχείριση (ειδικά όσο μικραίνουν οι περίτροποι χρόνοι), αλλά δεν είμαστε σε θέση να το κρίνουμε από το διάγραμμα και μόνο. Οι δύο τελευταίες περιπτώσεις ανταποκρίνονται στην πρεμνοφυή διαχείριση με μεγαλύτερους και μικρότερους περίτροπους χρόνους αντίστοιχα.

Διάγραμμα 15.1: Εξέλιξη βιομάζας σε σχέση με τη συχνότητα εμφάνισης διαταραχών.

Δασική έρευνα και πράξη έχουν αποδείξει ότι η απόληψη χονδρού ξύλου δεν υποβαθμίζει το οικοσύστημα. Μόνο όταν οι καρπώσεις ξεπερνούν τις δυνατότητες που έχει ο δασικός τόπος υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης του. Στο Διάγραμμα 15.2 παριστάνονται τέσσερις στρατηγικές επιλογής της διάρκειας του περίτροπου χρόνου, ανάλογα με την πορεία αύξησης της βιομάζας. Αναλυτικά έχουμε:

1^η περίπτωση: Πρόκειται για τη θεωρητικά κατάλληλη κατάσταση όπου επιλέγεται ο άριστος περίτροπος χρόνος στο σημείο που η πορεία της μέσης προσαύξησης τέμνει εκείνη της τρέχουσας. Στην περίπτωση αυτή η παραγωγική ικανότητα του σταθμού διατηρείται.

2^η περίπτωση: Η τρέχουσα παραγωγή υπερβαίνει μεν πρόσκαιρα την παραγωγική ικανότητα του σταθμού, αλλά η μέση παραγωγή παραμένει συνεχώς κάτω του επιπέδου της παραγωγικής ικανότητας του σταθμού. Για να μην υπάρξει απώλεια παραγωγής επιλέγεται μικρότερος περίτροπος χρόνος (τομή παραγωγικής ικανότητας με τρέχουσα παραγωγή) με στόχο κατά τον επόμενο περίτροπο χρόνο να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα βελτίωσης της παραγωγής, όπως βελτίωση μίξης, πυκνότεροι φυτευτικοί σύνδεσμοι κ.λ.π..

3^η περίπτωση: Τόσο η τρέχουσα εξέλιξη της βιομάζας όσο και η μέση ξεπερνούν τις δυνατότητες του σταθμού. Εάν διαχειριστούμε το δάσος αυτό με βάση την τομή των δύο καμπυλών, τότε θα το οδηγήσουμε σε εξάντληση. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται είτε πρόσθετη βοήθεια (λίπανση, αλλαγή ειδών) είτε επιμήκυνση του περίτροπου χρόνου, προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση του σταθμού.

4^η περίπτωση: Το δάσος είναι τόσο υποβαθμισμένο (αραιό, ακατάλληλα είδη) που η βιομάζα του Δε φθάνει ποτέ τα επίπεδα που ο σταθμός μπορεί να παράγει. Απαιτούνται μέτρα βελτίωσης και συνήθως άμεση υλοτομία.

Διάγραμμα 15.2: Στρατηγικές δασικής διαχείρισης σε σχέση με την εξέλιξη της βιομάζας.

————: Τρέχουσα προσαύξηση (η παραγωγή βιομάζας ανά έτος).

-----: Μέση προσαύξηση (η βιομάζα που δημιουργήθηκε σε μία ηλικία για την ηλικία αυτή).

Τα δασικά οικοσυστήματα της χώρας μας είναι στην πλειοψηφία τους περισσότερο ή λιγότερο υποβαθμισμένα. Η δασική διαχείριση οργανώνεται ανάλογα με το βαθμό απόκλισης που παρουσιάζουν από την κανονική κατάσταση. Ο διαχειριστής ενός δάσους αποφασίζει αν πρέπει να μειώσει, να αυξήσει ή να κρατήσει σταθερούς τους ρυθμούς συσσώρευσης της βιομάζας (Διάγραμμα 15.3). Οι μεγάλοι χρόνοι παραγωγής στα δασικά οικοσυστήματα, η ποικιλία των σταθμών και η ποιότητα της βιομάζας απαιτούν μεγάλη προσοχή στη λήψη των αποφάσεων.

Διάγραμμα 15.3: Στρατηγικές δασικής διαχείρισης με συντήρηση, υποβάθμιση ή βελτίωση της παραγωγής και του οικοσυστήματος.

Η ανόρθωση των δασών πάντως δεν αποκλείει την υλοτομία, αντιθέτως συνήθως την προϋποθέτει προκειμένου να οδηγηθούν τα οικοσυστήματα στις κατάλληλες δομές. Έχει αποδειχθεί άλλωστε ότι η απόλυτη προστασία δεν είναι σε καμία περίπτωση ο ιδανικός τρόπος ανόρθωσης οικοσυστημάτων. Η συσσώρευση βιομάζας γίνεται σταδιακά. Στη χώρα μας αποθεματοποιείται ετησίως 0,45% του αποθέματος ξύλου με αυτόν τον τρόπο. Αυτό θα οδηγήσει σε δάση με κανονική δομή και συνεπώς και με βιομάζα σε 150 χρόνια περίπου. Υπάρχει δυνατότητα επιτάχυνσης της διαδικασίας ανόρθωσης με εντατικότερη καλλιέργεια, με αναδασώσεις γυμνών εδαφών και θαμνοτόπων, με συμπληρώσεις διακένων στα δασικά συμπλέγματα, με εμπλουτισμό της υπάρχουσας βλάστησης, αλλά και με τεχνικά έργα προστασίας από διαβρώσεις, πυρκαγιές, κ.λ.π.. Για το σκοπό αυτό προσφέρονταν στην χώρα μας τουλάχιστον 3,15 εκατομμύρια εκτάρια το 1992 σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας.

Η βιομάζα δεν ορίζεται μονοσήμαντα ως μία κατηγορία χημικών ενώσεων (κορμόξυλο, κλαδιά, φύλλωμα, χόρτα, ρίζες, καρποί, κ.λ.π.). τα δασικά οικοσυστήματα ακολουθούν κάποια εξελικτική πορεία που μπορεί μέσα σε ορισμένα πλαίσια να επηρεασθεί από το δασό-διαχειριστή. Μονόπλευρη απόληψη ενός δασοπονικού είδους μπορεί να οδηγήσει σε εξέλιξη δασοκάλυξης που αποτελείται από άλλα ίσως ανεπιθύμητα ή ακατάλληλα φυτικά είδη. Αυτό έγινε σε μεγάλο βαθμό στη χώρα μας με διάφορα δασοπονικά είδη όταν δεν υπήρχε επιστημονική διαχείριση. Η αλόγιστη βόσκηση συνέβαλε επίσης στη μείωση ειδών που δεν πρεμνοβλαστούν (π.χ. κωνοφόρα). Υπέρ-καρπώσεις ή και πυρκαγιές έδωσαν αυξητικό χώρο σε φωτόφυτα δενδρώδη, θαμνώδη και ποώδη είδη.

Η δασική υπηρεσία διαχειρίζεται τα λίγα δάση που μας έχουν απομείνει μέσα από ένα πλέγμα μέτρων με στόχο τη διατήρηση και ανόρθωσή τους. Η πολλαπλή χρήση των δασών επιβάλλει το συγκερασμό πολλών, συχνά αντιπθεμένων απόψεων, ενδιαφερόντων και συμφερόντων. Τους περιορισμούς τους θέτει το ίδιο το οικοσύστημα ανάλογα με την κατάσταση και το παραγωγικό δυναμικό του. Βελτιώσεις βέβαια μπορούν να γίνουν.

Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι που διαγράφονται σήμερα για τα δάση μας σε σχέση με τη βιομάζα είναι τα εξής:

1. Αδυναμία εκτέλεσης μη κερδοφόρων επεμβάσεων (προστασία, καλλιέργεια).
2. Επιλεκτική απόληψη μόνο των προϊόντων που έχουν ζήτηση στην αγορά.
3. Υποβάθμιση προϊόντων κατά την υλοτομία (κορμόξυλο διαμορφώνεται ως καυσόξυλο).
4. Υπέρβαση καρπώσεων (λαθραίες υλοτομίες, βοσκή, απόληψη υπολειμμάτων υλοτομιών) από μη εξουσιοδοτημένα πρόσωπα και πέραν των προβλεπομένων από τις μελέτες.
5. Πιέσεις διαφόρων ομάδων στο δάσος (αγρότες, υλοτόμοι, κυνηγοί, επισκέπτες).

Στα διαχειριζόμενα δασικά οικοσυστήματα η απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων που εμπεριέχονται στη βιομάζα πρέπει να είναι τόση όση αντικαθίσταται από τις εισροές. Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από τα ελληνικά δάση γίνεται με ένα ή περισσότερους από τους παρακάτω τρόπους:

1. Την υλοτομία και απομάκρυνση ξύλου (τεχνικού, καυσόξυλου, κ.λ.π.).
2. Τη βόσκηση.
3. Την κλαδονομή (κοπή κλαδιών και φυλλώματος ως ζωοτροφή).
4. Την απόληψη δασικού τάπητα.
5. Τη συγκομιδή καρπών, ρητίνης, ριζών, κ.λ.π..
6. Τις πυρκαγιές.
7. Τη διάβρωση που ακολουθεί οποιαδήποτε κακοδιαχείριση δασικών οικοσυστημάτων.
8. Την αύξηση της απελευθέρωσης διαλυτών θρεπτικών στοιχείων που ακολουθεί οποιαδήποτε επέμβαση.

Οι περιπτώσεις 7 και 8 οδηγούν άμεσα σε βασικά προβλήματα ρύπανσης και ευτροφισμού υδάτινων πόρων.

Σε αναδασώσεις γυμνών εδαφών παρατηρείται κατά τις πρώτες δεκαετίες συσσώρευση βιομάζας στο ξύλο, τα κλαδιά, τα φύλλα, τις ρίζες με αντίστοιχη μείωση θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος. Η χουμποποίηση προχωρεί αρχικά με βραδείς ρυθμούς, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται συχνά φαινόμενα μείωσης της ζωτικότητας των δέντρων ή ακόμα και ασθένειες λόγω της παροδικής μείωσης της γονιμότητας του εδάφους. Αυτές

παλαιότερα ονομάστηκαν "ασθένειας αναδασώσεων" και συνδέθηκαν με τη νομοτελειακή πτώση της ζωτικότητας των δέντρων μετά την αλματώδη αύξηση της νεαρής ηλικίας.

Ο χρόνος ολικής αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας και συνεπώς της απόδοσης των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος δάσους κυμαίνεται ανάλογα με το θρεπτικό καθεστώς και διαρκεί από λίγα έτη μέχρι και μερικές δεκαετίες. Με τη βοήθεια καλλιεργητικών αραιωτικών επεμβάσεων είναι δυνατή η επιτάχυνση αυτών των ρυθμών και η βελτίωση του συνολικού αποτελέσματος της δασικής φυτείας που οδηγεί στην ανόρθωση του τόπου.

Έρευνες σε νεαρά δρυο-δάση της Μακεδονίας έδειξαν ότι πολύ ισχυρές αραιώσεις έχουν ως αποτέλεσμα την αδυναμία της παραμένουσας συστάδας να συσσωρεύσει βιομάζα. Οι ποσότητες βιομάζας πρεμνοφυών δρυο-δασών κατά την ηλικία των 10-15 ετών δεν είναι άξιες λόγου και επομένως θα πρέπει μετά την αραιώση να παραμένουν επί τόπου.

Σχετικές έρευνες σε νεαρές αναδασώσεις μαύρης πεύκης έδειξαν ότι σε ηλικία 20 ετών, σε μέτριους σταθμούς, η αραιώση δεν μπορεί να υπερβαίνει ένα ποσοστό 35-40% του αποθέματος ξύλου χωρίς την ύπαρξη κινδύνου. Σε παρόμοιες συστάδες σχετικά με την κατανομή των θρεπτικών στοιχείων η έρευνα έδειξε ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων παρατηρούνται στην ιστάμενη βιομάζα ενδεχόμενη απόληψη τέτοιας βιομάζας με σύστημα αποψιλωτικής υλοτομίας θα οδηγούσε σε υποβάθμιση της γονιμότητας του εδάφους.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην απόληψη της βιομάζας ολόκληρων δέντρων από τη συστάδα. Γίνονται βέβαια απόπειρες επαναδιασποράς της βιομάζας από φύλλα και κλαδιά στο δάσος, ωστόσο κάτι τέτοιο είναι δύσκολο και δεν εφαρμόζεται εύκολα ως αντιοικονομικό.

15.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δασική βιομάζα ως βιολογικό προϊόν δεν είναι εύκολο να δημιουργηθεί πέρα από τις δυνατότητες του οικοσυστήματος. Επομένως υπάρχουν περιορισμοί στη συγκομιδή της εφόσον αποφεύγεται κατά το δυνατόν η ενεργειακή ανεξαρτησία στην παραγωγή.

Αύξηση παραγωγής δασικής βιομάζας πρέπει να επιτυγχάνεται μέσα από την αειφορική διαχείριση με καλλιέργεια- ανόρθωση των δασικών οικοσυστημάτων με παράλληλη συσσώρευση.

Ως παράδειγμα προς μίμηση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης οι οποίες ξεπέρασαν την ξυλένδεια που παρουσιάστηκε στο παρελθόν με επιθετική πολιτική αναδασώσεων και σήμερα υπάρχει πλεόνασμα σε πολλές περιοχές. Τα λάθη τους όπως και τα δικά μας δε θα πρέπει να μας αποτρέπουν από την παραπάνω τακτική αλλά να μας διδάσκουν.

Η δασική βιομάζα ίσως είναι πολύ περισσότερο μία αποθήκη θρεπτικών στοιχείων που μπορεί να μας δίνει θερμίδες μόνο εφόσον επιτευχθεί ένα κανονικό ύψος βιομάζας συγκεκριμένης δομής και σύνθεσης και μόνον ποσότητες που πλεονάζουν.

16. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

16.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Το ενδιαφέρον γύρω από την οικονομική ανάλυση των ανανεώσιμων πόρων (Renewable resources), έχει αυξηθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια. Ένας νέος όρος έχει γίνει θέμα καθημερινής ενασχόλησης, ο όρος της **"αποδεκτής ή ζωτικής ανάπτυξης"** (Sustainable Development). Δεν έχει διαμορφωθεί και τεκμηριωθεί ακόμα ο ορισμός αυτού του όρου, αλλά η ύπαρξη του υποδεικνύει ότι η ανθρωπότητα άρχισε να δείχνει έντονο ενδιαφέρον για μακροχρόνια ωφέλεια από τους ανανεώσιμους πόρους.

Το management των πόρων (resource management) που μέχρι σήμερα θεωρείτο "πολυτέλεια" και ήταν γνωστό μόνο στα αναπτυγμένα κράτη, άρχισε να γίνεται αναγκαίο για όλη την ανθρωπότητα. Ωστόσο η εφαρμογή των βασικών οικονομικών αρχών που αφορούν την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πόρων δύσκολα γίνονται κατανοητές και υλοποιούνται από αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις.

Η πραγματική κατάσταση που αφορά το ερώτημα της "αποδεκτής ή ζωτικής ανάπτυξης" απορρέει από τα περιβαλλοντολογικά και ενεργειακά προβλήματα που εμφανίζονται στην ανθρωπότητα. Τα προβλήματα αυτά είναι αποτέλεσμα των καθημερινών αποφάσεων, προσωπικών ή γενικών, που λαμβάνονται από κάθε έναν. Οδηγώντας το αυτοκίνητό μας για να πάμε για δουλειά, οργώνοντας το χωράφι μας για να το εκμεταλλευτούμε, ψαρεύοντας κατά τη διάρκεια των διακοπών, όλοι κάνουμε τις προσωπικές μας εργασίες συνεισφέροντας στις κοινές επιδράσεις στους παγκόσμιους ανανεώσιμους πόρους και το περιβάλλον.

Ένας τρόπος εντοπισμού του προβλήματος των πόρων μας οδηγεί στο να ασχοληθούμε με την έννοια των **"ανεξάρτητων ή εξωτερικών επιδράσεων"** (Externalities), οι οποίες είναι το αποτέλεσμα των ενεργειών από συγκεκριμένους ιδιώτες, επιχειρήσεις ή το κράτος και επιφέρουν οικονομικό όφελος ή ζημιά σε άλλους ιδιώτες, επιχειρήσεις ή κράτη. Ένα φαινόμενο τέτοιων επιδράσεων είναι η μόλυνση ή ρύπανση ενός διακρατικού

ποταμού από μία χώρα με άμεσα αποτελέσματα στις άλλες χώρες που διαπερνά μέχρι τις εκβολές του.

Μία άλλη σχετική έννοια είναι το φαινόμενο της **κοινής ιδιοκτησίας** (Common property). Ανταγωνιστές χρήστες μίας κοινής ιδιοκτησίας ενός πλουτοπαραγωγικού πόρου αποτυγχάνουν να προβλέψουν και να εκτιμήσουν το κόστος ή τη ζημιά που θα επιφέρει η χρήση τους στους άλλους χρήστες του ίδιου ανανεώσιμου πόρου. Όταν π.χ. ένας αλιέας χρησιμοποιεί μη αποδεκτές μεθόδους αλίευσης (διαφορετικό τύπο δικτυών, αλίευση σε εποχή αναπαραγωγής) επιφέρει υπερ-εκμετάλλευση ή και καταστροφή της βιομάζας και του αποθέματος, και έτσι δημιουργεί αύξηση του κόστους αλίευσης στους άλλους χρήστες της ίδιας περιοχής. Σήμερα υπάρχουν αποδοτικοί τρόποι περιορισμού αυτών των επιδράσεων, αλλά το **κοινωνικό κόστος** (Social Cost) παραμένει το κυριότερο θέμα για την οικονομική των πόρων. Μαθηματικά μοντέλα έχουν την δυνατότητα να ιεραρχούν αυτά τα σύνθετα προβλήματα και να προτείνουν λύσεις.

Στηριζόμενοι στην υπόθεση ότι οι εξωτερικές επιδράσεις στους πόρους κοινής ιδιοκτησίας συχνά μπορούν να οδηγήσουν σε υπερ-εκμετάλλευση (Over-exploration) καθώς και σε άλλα ανεπιθύμητα αποτελέσματα ανακύπτει το ερώτημα: Πώς μπορεί να αντιμετωπιστεί; Μία πρόταση που ίσως έδινε λύση είναι η **ιδιωτικοποίηση** των πόρων.

Οι οικονομολόγοι συχνά προτείνουν τους δασμούς και τους φόρους στους χρήστες σαν μία μέθοδο πρόληψης της καταστροφής ή και της εξαφάνισης κάποιων κοινής ιδιοκτησίας πόρων. Συχνά όμως παραβλέπεται ότι κάποιες κρατικές αρχές θα πρέπει να έχουν την δικαιοδοσία πάνω στους πόρους, να είναι ικανές να επιβάλλουν και να συλλέξουν τους φόρους. Έτσι μία αρχή θα μπορούσε αρχικά να συμπεριφέρεται σαν μοναδικός ιδιοκτήτης του φυσικού πόρου. Ωστόσο σήμερα δεν υπάρχει "**υπερεθνικός ιδιοκτήτης**" (International Owner) πόρων, αν και κάτι τέτοιο θα ήταν ακατανόητο. Το management των "**υπερεθνικών**" (**transboundary**) πόρων εμπεριέχει δυσκολίες που δεν περιορίζονται μόνο στα προβλήματα που απορρέουν από την εκμετάλλευση των εθνικών πόρων. Οι φόροι στους χρήστες των πόρων έχουν επίδραση στην "ενοικίαση" αυτών λόγω του κέρδους του κράτους.

Μία εναλλακτική λύση στο management των κοινής ιδιοκτησίας φυσικών πόρων είναι η κατανομή "**αναλογικών μεριδίων**" στους χρήστες

(Allocated user quotas). Και εδώ η ύπαρξη κρατικής ιδιοκτησίας των φυσικών πόρων είναι απαραίτητη, ενώ θα πρέπει να υπάρχει η βούληση και το θάρρος ώστε η πολιτεία να καταστεί ικανή να κατανείμει δίκαια και να επιβάλλει τα ανάλογα μερίδια. Η πιθανότητα εξαπάτησης στις αναλογίες είναι μεγάλη και κάτι τέτοιο θα έχει επίπτωση στην **αποδοτικότητα** του **management** των ανάλογων μεριδίων στην εκμετάλλευση των πόρων. Υπάρχουν αρκετά πρόσφατα παραδείγματα στα οποία τα κατανεμημένα συστήματα αναλογιών έχουν εφαρμοσθεί σε αλιευτικές επιχειρήσεις, αλλά όχι επιτακτικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα έχουν αποτύχει να ικανοποιήσουν τους επιθυμητούς στόχους του management.

Κάθε οικονομικά αποτελεσματικό σύστημα management των πόρων απαιτεί εξασφάλιση των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας των φυσικών πόρων ανεξαρτήτως αν πρόκειται για φυσικό πρόσωπο, για επιχείρηση, για το κράτος ή για έναν υπερεθνικό ιδιοκτήτη. Και σε αυτήν την περίπτωση είναι αδύνατο να γνωρίζουμε από την αρχή εάν ο ιδιοκτήτης του ανανεώσιμου φυσικού πόρου θα μπορούσε να τον συντηρήσει. Κάτω από ορισμένες συνθήκες ο ιδιοκτήτης του αποθέματος του φυσικού πόρου είναι λογικό να επιδιώκει την εκμετάλλευση του έως το κατώτατο επίπεδο, ή έως το επίπεδο πλήρους εξάλειψης και εξαφάνισης σε ακραίες περιπτώσεις. Ένα γνωστό παράδειγμα σε αυτήν την περίπτωση αποτελεί η βιομηχανία φαλαινών. Για αυτήν η αλίευση των φαλαινών μέχρι το σημείο της εξάλειψης θα ήταν προφανώς το καλύτερο που επιθυμούν οι φαλινοθήρες. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: Το απόθεμα των φαλαινών αποτελεί το πάγιο περιουσιακό στοιχείο της επιχείρησης, και είναι ανίκανο να αποφέρει περισσότερο από 2-5% ετησίως της αξίας του (αυτός είναι ο μέσος δείκτης ανάπτυξης του πληθυσμού των φαλαινών).

Κάθε ιδιοκτήτης ενός τέτοιου πάγιου περιουσιακού στοιχείου με ένα τόσο χαμηλό δείκτη απόδοσης θα επιθυμούσε να το ρευστοποιήσει και να το επενδύσει περισσότερο κερδοφόρα και παραγωγικά. "**Ρευστοποίηση**" στην περίπτωση των αποθεμάτων ενός πόρου σημαίνει πλήρη εκμετάλλευση της πηγής όσο γρηγορότερα είναι αυτό δυνατόν.

Το παραπάνω επιχείρημα είναι πολύ απλοποιημένο αλλά το φαινόμενο της εσκεμμένης βιολογικής υπερ-εκμετάλλευσης ενός ανανεώσιμου φυσικού πόρου που χαρακτηρίζεται από χαμηλούς δείκτες απόδοσης, δηλαδή από

χαμηλούς δείκτες βιολογικής ανάπτυξης, είναι διαδεδομένο φαινόμενο ιδιαίτερα στην σημερινή βιομηχανοποιημένη εποχή μας. Οι επενδυτές επιθυμούν να μεγιστοποιήσουν τα έσοδα από τις επενδύσεις τους. Εάν υπάρχει επένδυση με κέρδος 10% ετησίως κανένας δεν θα επιθυμούσε να τοποθετήσει κεφάλαιο σε επένδυση που αποφέρει μόνο 5% κέρδος. Επομένως εάν τα δάση, τα θαλάσσια θηλαστικά, οι βοσκότοποι παρουσιάζουν ανικανότητα να αναπληρωθούν από μόνα τους με υψηλούς δείκτες αναπλήρωσης και ανάπτυξης, οι ιδιοκτήτες που αποβλέπουν μόνο στο μέγιστο κέρδος θα προσπαθήσουν να υπερ-εκμεταλλευτούν αυτούς τους πόρους μέχρι πλήρους εξάλειψής τους.

Ίσως όσα αναφέρονται παραπάνω να αποτελούν μία ανορθόδοξη εξήγηση για την υπερ-εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, αλλά είναι γνωστό ότι κάτι τέτοιο εφαρμόζεται κυρίως από τους πλεονέκτες ιδιοκτήτες, οπότε με λίγη καλή θέληση αυτή η κατάσταση μπορεί να διορθωθεί. Ανάλογα με την παγκόσμια οικονομική κατάσταση είναι πιθανόν μακροχρόνια η συντήρηση των φυσικών πόρων να είναι πολυτέλεια και να παρέχεται από αυτούς που η επιβίωση τους δεν εξαρτάται μόνο από την άμεση εκμετάλλευση του φυσικού πόρου.

16.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στο δεύτερο τέταρτο του προηγούμενου αιώνα (20ου), του "Πετρελαϊκού Αιώνα", οι επιστήμονες άρχισαν να εξετάζουν με μεγαλύτερο ενδιαφέρον πώς θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον σε παγκόσμια κλίμακα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αφού βρίσκονται σε αφθονία αντίθετα με τους απολιθωμένους ορυκτούς πόρους του πλανήτη μας.

Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων αυτών πόρων απαιτεί χρόνο, αλλά το όφελος είναι μεγάλο. Είναι κοινά παραδεκτό ότι αυτοί οι πόροι, βασικά η βιομάζα και η ενέργεια του νερού, προσφέρουν το 20% της συνολικής χρησιμοποιούμενης ενέργειας στον πλανήτη μας.

Αξιόλογη πρόοδος σημειώθηκε από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 στις νέες ενεργειακές τεχνολογίες, οι οποίες θα γίνουν απαραίτητες όταν οι κοινωνίες αυξήσουν την πίστη τους στην χρησιμότητα των ανανεώσιμων πόρων. Ήδη αρκετές από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνταν για να

παράγουν ενέργεια εκείνη την περίοδο από την ηλιακή ακτινοβολία ήταν οικονομικά ανταγωνιστικές σε σχέση με τους ορυκτούς πόρους. Κάποιοι επιστήμονες δήλωναν τότε ότι: "Οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού από τον άνεμο, την ηλιακή ενέργεια και την βιομάζα αναμένεται να είναι ανταγωνιστικές από άποψη κόστους στην δεκαετία του 1990. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκά και η χρήση υγρών καυσίμων από βιομάζα θα είναι ανταγωνιστικά με την αλλαγή του αιώνα μας".

Το βέβαιο είναι ότι κάθε μορφή ανάπτυξης σχετίζεται άμεσα από τις τιμές στην αγορά ενέργειας και από τις ακολουθούμενες κυβερνητικές πολιτικές των χωρών. Μετά από μία περίοδο αμέλειας στην δεκαετία του 1980, πολλές κυβερνήσεις άρχισαν να υποστηρίζουν νέες ενεργειακές τεχνολογίες περισσότερο αποτελεσματικές προμηνύοντας την επερχόμενη επανάσταση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τα επόμενα χρόνια.

Τον "ακρογωνιαίο λίθο" ενός συμβατού και κοινά αποδεκτού ενεργειακού συστήματος αποτελεί η εκμετάλλευση της **ηλιακής ενέργειας**. Το ηλιακό φως όχι μόνο είναι διαθέσιμο σε μεγάλη ποσότητα, αλλά είναι και το πιο πλατιά διανεμημένο εν συγκρίσει με κάθε άλλον ενεργειακό πόρο. Η ηλιακή ενέργεια προσφέρεται για θερμότητα και για θέρμανση νερού. Υπολογίζεται ότι σε λίγα χρόνια θα χρησιμοποιείται ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας για τη θέρμανση σχεδόν όλου του χρησιμοποιούμενου νερού, ενώ τα νέα κτίρια θα έχουν το πλεονέκτημα της φυσικής θέρμανσης και ψύξης με αποτέλεσμα την μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας πάνω από 80%.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ελεύθερης εκμετάλλευσης και κοινής ιδιοκτησίας (Open Access and Common Property) και μπορεί να συνδυασθεί με μικρές βελτιώσεις στη δομή των κτιρίων και τον σχεδιασμό τους ώστε να καταστεί χρήσιμη. Στις Η.Π.Α. λειτουργούν τουλάχιστον 1.000.000 **ηλιακά συστήματα θέρμανσης**, ενώ έχουν χτιστεί 250.000 **ηλιακά σπίτια** τα οποία βασίζονται στις **φυσικές ροές ζεστού και δροσερού αέρα**. Ένα πειραματικό ηλιακό σπίτι έχει κατασκευαστεί και στη χώρα μας, στη νήσο Σέριφο.

Ένα άλλο είδος ενέργειας που κυριαρχεί σαν αποτέλεσμα της ηλιακής θέρμανσης της γήινης ατμόσφαιρας είναι η **αιολική**. Ο ηλεκτρισμός παράγεται από αεροτουρμπίνες που τοποθετούνται σε περιοχές με συχνούς και δυνατούς ανέμους. Η Η.Π.Α. υπολογίζεται ότι παράγει το 80% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια, ενώ η δεύτερη

χώρα με τη μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια είναι η Γερμανία, η οποία κάλυψε το 2% περίπου της ενέργειας που κατανάλωσε το 1990 από αεροτουρμπίνες.

Η αιολική ενέργεια έχει υπολογισθεί ότι σε πολλές χώρες μπορεί να καλύψει τουλάχιστον το 1/5 των αναγκών τους σε ηλεκτρισμό. Οι πιο ελπιδοφόρες περιοχές είναι στην Β.Ευρώπη, στην Β.Αφρική, στην Ν. Αμερική και στις δυτικές πολιτείες των Η.Π.Α..

Η πράσινη χλωρίδα παρέχει ένα άλλο πεδίο εφαρμογής της ηλιακής ενέργειας. Δια μέσου της διαδικασίας της **φωτοσύνθεσης** τα φυτά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε βιομάζα, η οποία εντοπίζεται σε δάση, σε ορυκτά, σε αγροτικά προϊόντα και ζωικές ύλες. Αποτελεί την πρωταρχική πηγή ενέργειας για σχεδόν το μισό κόσμο, περίπου 2.5 δισεκατομμύρια άνθρωποι στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Στα επόμενα χρόνια αναμένεται η ανάπτυξη της **βιοενέργειας** σε πολλές χρήσεις. Βέβαια πρέπει τα αναπτυσσόμενα κράτη να βρουν πρακτικούς και αποδοτικούς τρόπους χρήσης της βιομάζας ώστε να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες τους σε ενέργεια. Με πολλά δάση και εδάφη υπερεντατικά καλλιεργούμενα ενώ οι βιοτικές ανάγκες του ανθρώπου αυξάνονται και ο ανταγωνισμός στον πρωτογενή τομέα, κυρίως στους αγροτικούς πόρους, γίνεται πιο σκληρός, είναι ανόητο να συνεχιστεί η παραγωγή αιθανόλης από δημητριακά ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται έντονο το πρόβλημα της έλλειψης νερού.

Στο μέλλον η αιθανόλη είναι πιθανότερο να παράγεται από αγροτικές και δασικές πρώτες ύλες παρά από τα πολύτιμα σιτηρά. Οι επιστήμονες ακολουθώντας μία ενζυματική διαδικασία έχουν μειώσει το κόστος της παραγωγής αιθανόλης από ξύλο κατά 70% και αναμένεται να μειωθεί και άλλο. Στις επόμενες δεκαετίες η χρησιμότητα των υγρών καυσίμων που παράγονται από τη βιομάζα θα υπερτιμάται όσο η παραγωγή πετρελαίου θα μειώνεται.

Περισσότερο αποδοτική μετατροπή των αγροτικών και δασικών πρώτων υλών σε ενέργεια θα μπορούσε να αυξήσει το ρόλο αυτής της μορφής ενέργειας στο μέλλον, ιδιαίτερα στις χώρες που διαθέτουν τέτοιους φυσικούς πόρους. Θερμάστρες ξύλου και εστίες θέρμανσης με χρήση βιομάζας αναπτύσσονται και παράγονται συνεχώς αυξάνοντας τα επίπεδα

απόδοσής τους. Για μεγάλες ηλεκτρικές παραγωγές υπάρχουν τουρμπίνες αερίου με υψηλή απόδοση που κινούνται με βιομάζα και διατίθενται και σε μικρά και οικονομικά μεγέθη. Επίσης υποστηρίζεται ότι στο μέλλον αναπτυγμένα γεωργικά συστήματα γνωστά σαν "**αγροδασικά**" θα μπορούν να παράγουν καύσιμα, τροφή και οικοδομικά υλικά.

Μία άλλη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που προσφέρει περίπου το 1/5 της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού είναι ο **υδροηλεκτρισμός**. Αν και υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης οι **περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί** (environmental restrictions) την περιορίζουν σημαντικά.

Με τη δημιουργία των απαραίτητων φραγμάτων και δεξαμενών επιφέρονται διάφορες κοινωνικές και οικολογικές καταστροφές. Οι πλημμυρισμένες εκτάσεις και η ανθρώπινη μετοίκηση είναι οι βασικοί παράγοντες που προφυλάσσουν τα έθνη από την **υπερεκμετάλλευση** (over exploitation) των φυσικών πόρων και των δυνατοτήτων τους.

Μία άλλη μορφή ενέργειας που βασίζεται στους ανανεώσιμους φυσικούς πόρους είναι η **γεωθερμική** (geothermal energy), η θερμότητα που πυρήνα την γης. Αυτή δεν είναι ακριβώς ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και για αυτό το λόγο απαιτεί προσεκτική εκμετάλλευση έτσι ώστε να μην εξαφανισθεί η τοπική πηγή θερμότητας. Τα **γεωθερμικά εδάφη** μπορούν να παράγουν ισχύ περισσότερο από 90% σε διάρκεια χρόνου και έτσι μπορούν να παρέχουν ηλεκτρισμό ακόμα και όταν δεν υπάρχει ήλιος ή αέρας. Οι γεωθερμικές πηγές ενέργειας είναι τοπικές, αν και βρίσκονται σε πολλές περιοχές στη γήινη επιφάνεια. Σε παγκόσμια κλίμακα έχουν δημιουργηθεί εκμεταλλεύσιμες γεωθερμικής ενέργειας που καλύπτουν ενέργεια αξίας 5.600 MW. Το El Salvador παράγει 40% του ηλεκτρισμού του από την **γήινη φυσική θερμότητα**, η Nicaragua το 28% και η Κένυα το 11%.

Οι περισσότερες χώρες του Ειρηνικού Ωκεανού, της Ανατολικής Αφρικής και της Μεσογείου μπορούν να εκμεταλλευτούν την γεωθερμική ενέργεια. Ολόκληρη η χώρα της Ιαπωνίας εξαπλώνεται πάνω σε μία τεράστια θερμική πηγή ενέργειας που θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας.

Ενώ τα ορυκτά καύσιμα έχουν αποθεματοποιηθεί σε εκατομμύρια χρόνια η ανανεώσιμη ενέργεια είναι σε σταθερή ροή αναπληρούμενη όσο ο ήλιος λάμπει. Βέβαια δεν προβλέπεται ανασταλτικός παράγοντας στο άμεσο

μέλλον, αλλά οι διακοπές της φυσικής ηλιακής ακτινοβολίας σημαίνει ότι οι δυναμικές μορφές χρήσεις των ανανεώσιμων αυτών πηγών θα χρειαστεί να υποστηριχθούν από κάποια ενεργειακή αποθήκευση.

Η ενέργεια αποθήκευσης της βιομάζας και η υδροενέργεια είναι οι μόνοι τύποι που μπορούν να αποθηκευτούν εύκολα. Αναπτύσσοντας νέα και βελτιώνοντας τα ήδη υπάρχοντα συστήματα αποθήκευσης, έχουμε τις βάσεις για να οικοδομηθεί μία συμβατή ενεργειακή οικονομία. Για παράδειγμα, θερμότητα κάτω από το "**σημείο βρασμού**" του νερού μπορεί να αποθηκευτεί σε απλές δεξαμενές νερού, καυσίμων ή αλατιού. Τέτοια συστήματα αποθήκευσης μπορούν να καλύψουν το 85% της πραγματικής συλλαμβανομένης θερμότητας. Ήδη 30 μεγάλες εγκαταστάσεις "ηλιακές αποθήκες" έχουν πραγματοποιηθεί στην Ευρώπη, 10 από τις οποίες στη Σουηδία.

Οι παραδοσιακές θερμάνσεις προϋποθέτουν ένα εργοστάσιο που λειτουργεί με ορυκτό καύσιμο και παρέχει ατμό ή ζεστό νερό σε γειτονικά κτίρια. Τα εργοστάσια στη Σουηδία χρησιμοποιούν αποθηκευμένη ηλιακή ακτινοβολία για να προσφέρουν θέρμανση σε γειτονικά κτίρια σχολείων, γραφείων και διαμερισμάτων. Η αποθήκευση ηλεκτρισμού αποτελεί ένα μεγαλύτερο πρόβλημα. Συστήματα άντλησης για αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας τα οποία ανυψώνουν το νερό σε μία αποθήκη για να το ρίξουν σε έναν υδροστρόβιλο που θα παράγει ηλεκτρισμό χρησιμοποιούνται σήμερα σε πολλές περιοχές. Αλλά παρά την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων άντλησης και αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας, προβλέπεται περιορισμένη εφαρμογή τους εξαιτίας περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούνται από την κατασκευή υδροφραγμάτων και της μειωμένης ζήτησης τέτοιας μορφής ενέργειας.

Ένα άλλο λιγότερο εναλλακτικό σύστημα είναι αυτό που χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό για να συμπιέσει αέρα σε μία υπόγεια αποθήκη. Όταν η πίεση είναι η απαιτούμενη ο θερμαινόμενος αέρας εξορμά μέσα από μία τουρμπίνα. Όπως και η υδροάντληση η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα πετυχαίνει περίπου το 70% απόδοση. Ένα τέτοιο σύστημα που αποδίδει 290 MW λειτουργεί ήδη στη Γερμανία. Μία άλλη τεχνολογία των υπεραγωγών μαγνητισμού θα μπορούσε να προσφέρει οικονομική και υψηλής απόδοσης αποθήκευση ηλεκτρισμού κατά κάποιους επιστήμονες, αλλά θα μπορεί να

πραγματοποιηθεί μετά από λίγες δεκαετίες. Η αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες είναι μία περισσότερο ελαστική και ενδεδειγμένη λύση. Η χρήση των φωτοβολταϊκών στις κατοικίες μπορεί να ενσωματωθεί σε μπαταρίες όπως και αυτή των εργοστασίων που χρησιμοποιούν αιολική και ηλιακή ενέργεια. Επίσης οι μπαταρίες μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στις μεταφορές χωρίς μεγάλη αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης και κατανάλωσης.

Εάν ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνταν στις μεταφορές στις Η.Π.Α., η συνολική χρήση του ηλεκτρισμού θα αυξανόταν κατά 7%. Με τις τιμές του ηλεκτρισμού της προηγούμενης δεκαετίας τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι ανταγωνιστικά ανάλογα με τις τιμές των καυσίμων. Η πρόκληση είναι να μειωθεί το κόστος και να επεκταθεί ο κύκλος χρήσης των μπαταριών πέρα από το σημερινό όριο των 125 km. Μερικές μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες σχεδίαζαν την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικών δίδροχων κατά τη διάρκεια της περασμένης δεκαετίας.

Το **υδρογόνο** είναι ο καλύτερος υποψήφιος για μεγάλης κλίμακας αποθήκευση. Είναι η καθαρότερη καύσιμη ύλη (μπορεί να καεί αντί για πετρέλαιο, άνθρακα ή φυσικό αέριο), παράγοντας κατά την καύση του μόνο υδρατμούς και μικρές ποσότητες νιτρικών οξειδίων. Αυτές οι εκπομπές μπορούν σε χαμηλές θερμοκρασίες καύσης σχεδόν να εξαλειφθούν με ειδικά σχεδιασμένες μετατροπές. Η χημική βιομηχανία σήμερα παράγει υδρογόνο από ορυκτά καύσιμα αλλά αυτό θα μπορούσε επίσης να γίνει με **ηλεκτρόλυση** (electrolysis), διασπώντας τα μόρια του νερού (H_2O) σε υδρογόνο (H_2) και οξυγόνο (O_2) με μία ηλεκτρική εκκένωση. Οι Γερμανοί και οι Άραβες μηχανικοί αναπτύσσουν συστήματα ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιώντας ηλεκτρισμό από φωτοβολταϊκά κύτταρα. Οι επιστήμονες που υποστηρίζουν την εξέλιξη του ηλιακού υδρογόνου δεν δέχονται τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που συνδέονται με αγωγούς με τις πόλεις. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σε **μεταλλικές hydrides** (μεταλλική σκόνη που απορροφά το αεριώδες υδρογόνο) ή σε **πεπιεσμένα δοχεία** ή σε **υπόγειες αποθήκες** ώστε να παρέχουν ένα έτοιμο και προσιτό είδος ενέργειας.

Το υδρογόνο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή ηλεκτρισμού χωρίς να παράγει νιτρικά (αζωτούχα) οξείδια όταν συνδυαστεί χημικά με οξυγόνο σε "κυψελίδες καυσίμου". Οι κυψελίδες καυσίμου υδρογόνου είναι κατά 70% αποδοτικές σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι μηχανές

εσωτερικής καύσης συγκρινόμενες σπάνια μετατρέπουν το 25% της βενζίνης σε χρήσιμη ενέργεια.

Αυτό που επιδιώκεται είναι η μεγάλη αφθονία και ανανέωση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας. Είναι βέβαιο ότι οι συνδυασμοί των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην ηλιακή οικονομία θα μπορούσαν να ήταν διάφοροι. Οι ενεργειακές πηγές που χρησιμοποιούνται για να παράγουν ηλεκτρισμό ποικίλουν ανάλογα με το κλίμα και τους φυσικούς πόρους κάθε περιοχής. Η Β.Ευρώπη θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένα συνδυασμό παραγωγής ενέργειας από άνεμο, βιομάζα, ήλιο και νερό, ενώ η Β.Αφρική και η Μέση Ανατολή μπορεί να βασιστεί περισσότερο στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Το ξύλο, τα αγροτικά υπολείμματα, η ηλιακή ακτινοβολία και η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσαν να παρέχουν ενέργεια στην ΝΑ Ασία.

Σχετικά νέες τεχνολογίες χρειάζονται για την **αντικατάσταση** ενέργειας από τις κατορθωτές μορφές σε αυτές που χρησιμοποιούνται ή αναπτύσσονται. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας είναι γενικά μικρές και δομούνται ή σχεδιάζονται πιο εύκολα, αλλά απαιτείται μία δεκαετία για την ανάπτυξή τους. Ωστόσο η ανανεώσιμη ενέργεια είναι ήδη μπροστά από τις τεχνολογίες τήξης, στις οποίες έχουν σπαταληθεί μερικά δισεκατομμύρια δολάρια από κρατικά κεφάλαια χωρίς ακόμα να υπάρχει λεπτομερής σχεδιασμός για να λειτουργήσει ένα εργοστάσιο.

Η μεγάλη βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση μεταξύ των εναλλακτικών προτάσεων που θα μας επιτρέψει να ξεφύγουμε από την εξάρτηση των υγρών καυσίμων, είναι η βάση για την κατασκευή ενός υποστηρικτικού ενεργειακού συστήματος. Εάν για παράδειγμα οι ανάγκες των κατοικιών σε ηλεκτρισμό μειωθούν κατά 2/3, το κόστος επένδυσης για ένα εργοστάσιο κατασκευής φωτοβολταϊκών ορόφων για παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε να μειωθεί στο μισό. Ομοίως, ένα υψηλής απόδοσης αυτοκίνητο θα μπορούσε να πάει μακρύτερα και θα χρειαζόταν μικρότερες μπαταρίες εν συγκρίσει με ένα με μικρότερη απόδοση, μειώνοντας έτσι το κόστος και το βάρος. Έτσι η ανάπτυξη τεχνολογιών περισσότερο αποδοτικών είναι ένα κρίσιμο σημείο στην εμπορική αποδοτικότητα μίας οικονομίας που βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως οι ηλιακές τεχνολογίες.

Αν και τα πλούσια έθνη έχουν ένα πασιφανές πλεονέκτημα από την άποψη της τεχνολογικής γνώσης και της επένδυσης κεφαλαίων, οι

αναπτυσσόμενες χώρες σε πολλές περιπτώσεις έχουν εκτεταμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θα έχουν χαμηλότερο κόστος μετατροπής. Η ανανεώσιμη ενέργεια θα βοηθήσει επίσης στην προστασία των αναπτυσσόμενων χωρών από τις διακυμάνσεις στο χώρο της πετρελαϊκής αγοράς, η οποία έχει συμπληρώσει το αναπτυξιακό της πλάνο τα τελευταία χρόνια.

16.3.1 ΧΡΗΜΑΤΟΠΙΣΤΩΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΕΙΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κάμψη των διεθνών τιμών ενέργειας δημιούργησε ένα κλίμα εφησυχασμού και μία σχετική χαλάρωση στις προγενέστερες προσπάθειες για επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Μέσα σε ένα τέτοιο κλίμα έγιναν περιορισμένης έκτασης επενδύσεις στους τομείς αυτούς, εκτός από τις περιπτώσεις στις οποίες οι μεν επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας ήταν άμεσα συνδεδεμένες με επενδύσεις προστασίας του περιβάλλοντος ή τα οικονομικά οφέλη ήταν πολύ υψηλά ή οι δε επεμβάσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενισχύοντο οικονομικά.

Βασικά αίτια που παρεμπόδισαν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και την εφαρμογή συστημάτων της Ε.Ε. εκτός από τις χαμηλές τιμές της ενέργειας (πετρέλαιο και άλλα,) είναι:

- Μεγάλος αριθμός αδειών για παρεμβάσεις στους παραπάνω τομείς.
- Έλλειψη τεχνικής υποδομής για την υιοθέτηση και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών.
- Έλλειψη κανονισμών και διατάξεων για τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ύπαρξη ασαφειών στο νομοθετικό πλαίσιο.
- Δύσκαμπτο χρηματοπιστωτικό σύστημα και έλλειψη εμπιστοσύνης σε αυτό λόγω του περιοριστικού ύψους των κονδυλίων και του ετεροχρονισμού των πληρωμών μέσα από τα Εθνικά και Κοινοτικά Αναπτυξιακά Προγράμματα.
- Άλλες προτεραιότητες επενδύσεων, με αποτέλεσμα οι διαθέσιμοι πόροι να κατευθύνονται σε αύξηση ή διαφοροποίηση της

παραγωγικής διαδικασίας, διαφήμιση, κατάκτηση νέων αγορών, κ.λ.π..

Η εντατικοποίηση των τομέων αυτών απαιτεί ισχυρά οικονομικά κίνητρα από κρατικούς φορείς, ή την εφαρμογή νέων χρηματοπιστωτικών μηχανισμών μέσω των οποίων η όλη προσπάθεια και η πρωτοβουλία κινήσεων θα δοθεί σε κάποιους που θα είναι σε θέση να προσφέρουν αυτό που λείπει από την αγορά. Οι νέοι μηχανισμοί θα βοηθήσουν τον επιχειρηματία στο ρίσκο και το βάρος της επένδυσης.

Βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν τα οικονομικά κίνητρα και οι χρηματοπιστωτικοί μηχανισμοί είναι:

- Μειωμένο επενδυτικό ρίσκο για τον επενδυτή.
- Άμεση χορήγηση πόρων από χρηματοδοτικές πηγές εκτός της επιχείρησης για την οποία προορίζονται. Οι μέχρι σήμερα χρηματοδοτήσεις επενδύσεων μέσα από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα εμπεριέχουν γραφειοκρατική δυσκαμψία, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζουν και όχι να βοηθούν την πραγματοποίηση ενεργειακών επενδύσεων.

Στη διεθνή πρακτική έχουν αναπτυχθεί αρκετοί μηχανισμοί σε εναλλακτικά σχήματα, από τους οποίους αναλύονται παρακάτω οι πιο βασικοί:

16.3.2 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΡΙΤΟΥΣ (THIRD PARTY FINANCING)

Η χρηματοδότηση από τρίτους (T.P.F.), μέσω των επιμέρους εναλλακτικών σχημάτων, καταργεί τα περισσότερα εμπόδια για την υλοποίηση επενδύσεων μετατοπίζοντας το επενδυτικό ρίσκο και την εύρεση κεφαλαίου από τον τελικό χρήστη στην εταιρεία που διατίθεται να αναλάβει τέτοιου είδους επεμβάσεις. Η αποπληρωμή της επένδυσης επιτυγχάνεται μέσω της διαχρονικής εξοικονόμησης ενέργειας και της αντίστοιχης μείωσης των λειτουργικών δαπανών. Το οικονομικό όφελος μπορεί να καλύψει το αρχικό κεφάλαιο της επενδυτικής εταιρείας και τις επιπρόσθετες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού της επένδυσης.

Καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία μίας επένδυσης μέσω T.P.F. έχει η εταιρεία που θα αναλάβει την υλοποίηση και παρακολούθηση της επένδυσης. Οι παραπάνω εταιρείες στις Η.Π.Α., στον Καναδά και την Ευρώπη που ασχολούνται με αυτής της μορφής τα χρηματοπιστωτικά σχήματα είναι εξειδικευμένες εταιρείες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών (Energy Service Companies - ESCOs). Οι ESCOs είναι συνήθως εταιρείες τεχνικών συμβούλων θυγατρικές εταιρειών ηλεκτρισμού ή αερίου, εταιρείες τοπικής αυτοδιοίκησης που διαθέτουν ικανά και έμπειρα τεχνικά στελέχη, θυγατρικές εταιρείες Τράπεζας Επενδύσεων, εταιρείες κατασκευής ενεργειακού εξοπλισμού ή και κοινοπραξίες των ανωτέρω.

Ο μηχανισμός του T.P.F. εμπλέκει τα εξής συμβαλλόμενα μέρη:

- Τον τελικό χρήστη της επένδυσης.
- Τους προμηθευτές του εξοπλισμού της επένδυσης.
- Την εταιρεία παροχής υπηρεσιών ή ESCO.

Ο τελικός χρήστης έχει την υποχρέωση της αποπληρωμής της επένδυσης μέσω της μείωσης της ενέργειας που καταναλώνει ή της ενέργειας που παράγει και υπάρχουν διάφοροι τρόποι και διαδικασίες μεταβίβασης του οφέλους στα άλλα δύο μέρη.

Η εταιρεία ή οι εταιρείες πώλησης του εξοπλισμού μπορούν ταυτόχρονα να χρηματοδοτήσουν μέρος της επένδυσης. Επίσης, σε περιπτώσεις που η χρηματοδότηση δεν είναι μέσα στις δυνατότητες τους

συμβάλλουν στην ασφάλιση της επένδυσης σε ύψος ισοδύναμο με τη χρηματική αξία της εξοικονομούμενης ενέργειας για τη χρονική περίοδο του συμβολαίου. Σημειώνεται ότι οι εταιρείες πώλησης του εξοπλισμού δεν έχουν την υποχρέωση για τα παραπάνω, παρά μόνο στην περίπτωση που κι αυτές συμμετέχουν στα κέρδη που προκύπτουν από την επένδυση.

Τέλος, η ESCO αναλαμβάνει το σύνολο του κύκλου των εργασιών, δηλαδή τη μελέτη, τη χρηματοδότηση, την υλοποίηση, την παρακολούθηση και συντήρηση του εξοπλισμού. Η πηγή της αναγκαίας χρηματοδότησης είναι η ESCO που εξασφαλίζει με κάθε τρόπο τα απαιτούμενα κεφάλαια με τους πιο ευνοϊκούς όρους.

Βασικοί τύποι συμβολαίου T.P.F. όπως αυτά έχουν εφαρμοσθεί στις Η.Π.Α., στον Καναδά και σε περιορισμένη έκταση σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες είναι οι παρακάτω:

- Συμβόλαιο αμοιβαίου οφέλους.
- Συμβόλαιο πρώτων κερδών.
- Συμβόλαιο εγγυημένης εξοικονόμησης ενέργειας.
- Συμβόλαιο κοινοπραξίας εταιρειών.

Ενώ η όλη φιλοσοφία του T.P.F. φαίνεται απλή και αποδοτική και με βασικό πλεονέκτημα ότι ένας "τρίτος", π.χ. η ESCO υλοποιεί την επένδυση για λογαριασμό του χρήστη, στην πράξη έχει παρουσιάσει δυσκολίες. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες δυσκολίες:

- ♣ Στις εφαρμογές της E.E. να μην είναι ευχερής η εκτίμηση της μείωσης κατανάλωσης της ενέργειας όταν μεταβάλλεται η παραγωγική διαδικασία, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσχέρεια στην εκτίμηση του οφέλους.
- ♣ Στις εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι συνθήκες παραγωγής ενέργειας παρουσιάζουν πολυπλοκότητα που εμποδίζει την αντικειμενική εκτίμηση του οφέλους.

16.3.3 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΕΙΣ (GLOBAL GRANTS) - ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΚΟΙΝΟΤΙΚΕΣ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ

Στο πλαίσιο των επιχορηγήσεων της επένδυσης υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

- A. Η υπαγωγή στον αναπτυξιακό νόμο 1892/90, όπως τροποποιήθηκε με τον 2234/94, επενδύσεων για Ε.Ε. είτε για εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι επενδύσεις αυτές έχουν την δυνατότητα να επιδοτηθούν μέχρι και 40%.
- B. Η υπαγωγή επενδύσεων στα προγράμματα που ανακοινώθηκαν από τους φορείς διαχείρισης του επιχειρησιακού προγράμματος ενέργειας (1994-1999).

Το πρόγραμμα αυτό έχει διαμορφωθεί από το ΥΒΕΤ, που μεταξύ άλλων περιλαμβάνει δύο υποπρογράμματα που περιέχουν τα εξής μέτρα:

(I) Εξοικονόμηση ενέργειας

Ρύθμιση θεσμικών, οργανωτικών και κανονιστικών ζητημάτων και άλλες υποστηρικτικές δράσεις.

- Οικονομικά κίνητρα για την πραγματοποίηση επενδύσεων κυρίως από ενεργοβόρους καταναλωτές.
- Τεχνική υποστήριξη κυρίως σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

(II) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ρύθμιση θεσμικών, οργανωτικών και κανονιστικών ζητημάτων και άλλες υποστηρικτικές δράσεις.

- Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη εφαρμογών.
- Ανάπτυξη εφαρμοσμένης τεχνολογικής υποδομής και επιδεικτική υποστήριξη.
- Προσδιορισμός του εκμεταλλεύσιμου δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τεχνική και οικονομική άποψη.

16.3.4 ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ ΕΠΙΤΟΚΙΟΥ (SOFT LOANS)

Στο πλαίσιο των παραπάνω υποπρογραμμάτων καταβάλλεται προσπάθεια να αναπτυχθεί ο θεσμός του T.P.F. και της ESCOs. Το μέτρο αυτό συνίσταται στη χρηματοδότηση επενδύσεων με δάνεια που προσφέρονται με ιδιαίτερα ευνοϊκούς όρους, καθιερώθηκε από την επιχειρηματική πρακτική και αναφέρεται στα δάνεια με χαμηλό επιτόκιο ή ευνοϊκή περίοδο αποπληρωμής, με συγκεκριμένη όμως επενδυτική δραστηριότητα.

Η τελευταία συμπλήρωση είναι απαραίτητη για να διευκρινισθεί ότι τυχόν μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των όρων που προσφέρουν οι τράπεζες τις χορηγήσεις τους στο πλαίσιο του ανταγωνισμού δεν αποτελούν **ευνοϊκά δάνεια** (Soft Loans).

Με το ίδιο σκεπτικό, Soft Loans είναι και η δανειοδότηση των επιχειρήσεων στο πλαίσιο των αναπτυξιακών νόμων, δεδομένου ότι η επιδότηση του επιτοκίου κατά 40% (αφού η εξοικονόμηση ενέργειας θεωρείται ειδική επένδυση) για τα τρία πρώτα χρόνια αποτελεί εξαιρετική ευνοϊκό δανεισμό.

Δάνεια με επιδοτούμενο επιτόκιο δίνει σε ορισμένες περιπτώσεις και η **Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων**, όταν περιλαμβάνονται επενδύσεις ενεργειακών τεχνολογιών και περιβάλλοντος. Ωστόσο, τα συνήθη δάνεια της **ΕΤΕ** μπορούν να θεωρηθούν **Soft Loans** γενικότερα λόγω σημαντικής **διαφοράς επιτοκίου**.

Στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας υπάρχει η δυνατότητα χορήγησης οικονομικής ενίσχυσης υπό τη μορφή της επιδότησης επιτοκίου.

16.3.5 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΗ ΜΙΣΘΩΣΗ (LEASING)

Το Leasing είναι ένας θεσμός που λειτουργεί με επιτυχία στην Ευρώπη και την Αμερική από τη δεκαετία του 1970, ενώ στην Ελλάδα εισήχθη το 1986 με τη δημοσίευση του νόμου 1665/86.

Το Leasing προσφέρει πολλά **πλεονεκτήματα** στον επενδυτή όπως το ότι **δεν απαιτεί συμμετοχή του επενδυτή στη χρηματοδότηση**.

- Ο τρόπος πληρωμής προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες κάθε επενδυτικής πρότασης.
- Τα μισθώματα αποτελούν στοιχείο του λειτουργικού κόστους και εκπίπτουν από τα ακαθάριστα έσοδα της επιχείρησης.
- Οι διαδικασίες απόκτησης του εξοπλισμού είναι γενικά ταχύτερες και απλούστερες και δεν απαιτούνται πρόσθετες εγγυήσεις, αλλά η κυριότητα του εξοπλισμού παραμένει στην χρηματοδότη εταιρεία.

Δυστυχώς τα παραπάνω πλεονεκτήματα δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν στην Ελλάδα γιατί για επενδύσεις στην Ε.Ε. ο εξοπλισμός ενσωματώνεται με τις εγκαταστάσεις της παραγωγικής διαδικασίας, ενώ παράλληλα δεν υπάρχει ανάλογη αγορά μεταχειρισμένου υλικού. Όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επίσης δεν υπάρχει ανάλογος εξοπλισμός.

16.3.6 BOT (BUILT, OPERATE, TRANSFER)

Στην περίπτωση αυτή, ο ανάδοχος του έργου (η ESCO) συγκεντρώνει υπό την ευθύνη του το σύνολο των παρακάτω λειτουργιών:

- Μελέτη και κατασκευή του πλήρους έργου.
- Χρηματοδότηση του συνόλου της επένδυσης.
- Έναρξη λειτουργίας του έργου.
- Λειτουργία και συντήρηση του έργου για ικανό χρονικό διάστημα, κατά το οποίο ο ανάδοχος ανακτά τη δαπάνη κατασκευής.
- Παράδοση του έργου στον ιδιοκτήτη μετά την περίοδο λειτουργίας/ αποπληρωμής.

Η μορφή αυτή έχει εφαρμοστεί μόνο σε επενδύσεις που αφορούν ιδιοπαραγωγή και συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, απαιτείται όμως η τροποποίηση της σχετικής νομοθεσίας. Επίσης η μορφή αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση εγκατάστασης αιολικών πάρκων.

16.4 ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΚΕΣ) ΣΥΜΦΩΝΙΕΣ

Οι αναπτυξιακές (προγραμματικές) συμφωνίες συνήθως αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας σε ενεργοβόρους κλάδους της βιομηχανίας ή τον ενεργειακό εξοπλισμό που παράγουν βιομηχανίες (π.χ. ψυγεία, θερμοσίφωνες, κουζίνες, και άλλα).

Η συμφωνία υπογράφεται μεταξύ του δημόσιου φορέα και της επιχείρησης, η οποία αναλαμβάνει να προωθήσει τα προαναφερόμενα (π.χ. ολοκληρωμένο πρόγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας, βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών των παραγόμενων συσκευών, και άλλα) έναντι ορισμένων ανταλλαγμάτων (π.χ. επιδοτήσεις, δάνεια, διευκολύνσεις, και άλλα).

Ο θεσμός αυτός δεν έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα παρόλο που στο εξωτερικό έχει εφαρμοστεί και έχει επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα. Στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας του ΥΒΕΤ επισημαίνεται η αναγκαιότητα ανάπτυξης αυτού του θεσμού για παρεμβάσεις στην Ε.Ε..

16.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παραπάνω έγινε μία σύντομη αναφορά ορισμένων βασικών χρηματοπιστωτικών μηχανισμών που μπορούν να εφαρμοσθούν και να προωθήσουν τα ενεργειακά θέματα στην Ελλάδα.

Όπως σημειώθηκε υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί (π.χ. Venture Capital, ανάληψη συναλλαγματικού κινδύνου, και άλλα) καθώς και παραλλαγές (π.χ. Technology Performance Financing) που μπορούν να εφαρμοστούν.

Ορισμένοι από τους ανωτέρω μηχανισμούς παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες για την υλοποίησή τους και δεν έχουν αναπτυχθεί στην Ελλάδα. Ωστόσο, πιστεύεται ότι με τις δράσεις που έχουν ενταχθεί τόσο στο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης όσο και τις Κοινοτικές Πρωτοβουλίες, θα διευκολυνθεί η προώθησή τους με την προϋπόθεση δημιουργίας και του ανάλογου θεσμικού πλαισίου όπου αυτό απαιτείται.

17. Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

17.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Ο μεγαλύτερος παραγωγός βιομάζας είναι τα δάση. Άνω των 110 εκατομμυρίων τόνων βιομάζας (σε ξηρά ουσία) υπάρχει σήμερα στα ελληνικά δάση η οποία ανανεώνεται με σταθερούς ρυθμούς. Η **βιομάζα δασικής προέλευσης** που είναι διαθέσιμη για την παραγωγή ενέργειας διακρίνεται σε:

- ◆ Καυσόξυλα, ξυλάνθρακες(charcoal).
- ◆ Προϊόντα καθαρισμών των δασών για προστασία αυτών από τις πυρκαγιές, προϊόντα καλλιέργειας των δασών, αραιώσεις.
- ◆ Υπολείμματα υλοτομιών.
- ◆ Υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου.
- ◆ Βιομάζα από ενεργειακές φυτείες δασοπονικών ειδών μικρού περιήροπου χρόνου.

Στην χώρα μας η αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας συνίσταται κυρίως:

1. Στην παραδοσιακή χρήση του δασικού καυσόξυλου και των κλαδεμάτων που παράγονται από τις δενδροκομικές καλλιέργειας (γεωργικά καυσόξυλα) για κάλυψη οικιακών ενεργειακών αναγκών.
2. Στην παραγωγή και χρήση ξυλάνθρακων για παρασκευή φαγητού (ψησταριές).
3. Στην αξιοποίηση του πυρηνόξυλου που παράγεται ως υπόλειμμα κατά την παραγωγή του ελαιολάδου για κάλυψη ενεργειακών αναγκών οικιών, ελαιουργείων, πυρηνελαιουργείων, θερμοκηπίων, ξενοδοχείων, μικρομεσαίων επιχειρήσεων, καθώς και από τη ΔΕΗ τα τελευταία χρόνια για εμπλουτισμό του καυσίμου λιγνίτη στις μονάδες της στη Μεγαλόπολη.
4. Στην αξιοποίηση των υπολειμμάτων επεξεργασίας ξύλου που καταναλώνονται στις δασικές βιομηχανίες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους, αλλά και από άλλους χρήστες.

Η αξιοποίηση άλλων πηγών βιομάζας, όπως π.χ. υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών, γίνεται περιορισμένα, παρά το υψηλό τους

δυναμικό, και η συμβολή της πρωτογενώς παραγόμενης ενέργειας από αυτές δεν είναι σημαντική συγκρινόμενη με των προαναφερθέντων.

Το Γενικό Ισοζύγιο Ενέργειας του έτους 1996 για τη χώρα μας περιλαμβάνει για πρώτη φορά την παραγόμενη ενέργεια από βιομάζα-καυσόξυλα, και αναφέρει μία συμμετοχή 2.2% της ενέργειας από βιομάζα στην κατηγορία "διάθεση στη χώρα", που συνολικά για την Ελλάδα προσεγγίζει τους 25 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου, σύμφωνα με το Υπουργείο Ανάπτυξης το 1997.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν δηλωθεί στην EUROSTAT, για το έτος 1996, η συμβολή όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην πρωτογενή διάθεση της χώρας ανέρχεται σε 4.5%, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται από υδροηλεκτρικά, ενώ η συμβολή της ενέργειας από βιομάζα ανέρχεται σε 56% του συνόλου που παράγεται από όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).

Στα παραπάνω ποσοστά δεν έχει ληφθεί υπόψη η κατανάλωση 600.000 περίπου τόνων "καυσόξυλων από γεωργικές εκτάσεις" που καταναλώνονται στον οικιακό τομέα. Κατά την προηγούμενη δεκαετία η κατανάλωση καυσόξυλων από γεωργικές εκτάσεις για ενεργειακούς σκοπούς κυμάνθηκε μεταξύ 580.000 και 650.000 τόνων.

Η ετήσια παραγωγή ξυλανθράκων ανέρχεται σε 10-12.000 τόνους και πραγματοποιείται κυρίως σε παραδοσιακά ανθρακοκαμίνια, αφού λειτουργεί μόνο μία σύγχρονη μονάδα στην Πιερία. Ωστόσο εκτιμάται ότι η ετήσια κατανάλωση ανέρχεται σε 30.000 τόνους περίπου, με το 1/3 να καλύπτεται από εισαγωγές.

Η αξιοποίηση των υπολειμμάτων της επεξεργασίας του ξύλου για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ίδιας της βιομηχανίας είναι μία παλιά πρακτική. Όμως δεν λαμβάνει εκτεταμένα χώρα για λόγους σχετικούς με την τεχνολογική οργάνωση των βιομηχανιών ξύλου.

Σύμφωνα με στοιχεία του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) η ποσότητα των υπολειμμάτων που αξιοποιείται για παραγωγή ενέργειας ανέρχεται σε 80-100.000 τόνους ετησίως. Η κατανάλωση τους γίνεται κυρίως στις ίδιες τις βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου και ένα μικρό μέρος αξιοποιείται σε ασβεστοκάμινια (7-8.000 τόνοι) και άλλες χρήσεις.

Ο ρόλος του δάσους δεν περιορίζεται στην παραγωγή και προμήθεια ξυλείας για κατασκευές και παραγωγή ενέργειας. Αντιθέτως ασκεί μία πολλαπλά ευεργετική λειτουργία σε μία σειρά από τομείς, όπως είναι η συγκράτηση των εδαφών, η ρύθμιση της υδατικής δίκαιας, παρέχει καταφύγιο και τροφή στην άγρια πανίδα, κ.λ.π.. Επομένως η όποια αξιοποίηση του δάσους για παραγωγή βιομάζας θα πρέπει να συμβαδίζει με τις υπόλοιπες λειτουργίες του, στα πλαίσια ενός σωστού και ολοκληρωμένου σχεδιασμού.

Κατάλληλο για παραγωγή ενέργειας δεν είναι μόνο το καυσόξυλο αλλά και η ξυλεία από τα λεπτά κλαδιά, τα πρέμνα αλλά και το φύλλωμα, τα οποία έως τώρα παραμένουν στο δάσος. Ωστόσο ερευνητικές αναφορές σε κάποια οικοσυστήματα υποστηρίζουν ότι η απομάκρυνση από το δάσος των λεπτών κλάδων, των πρέμνων και του φυλλώματος επηρεάζει το ισοζύγιο των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος.

17.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Από τη συνολική έκταση της χώρας, που ανέρχεται σε 13.195.750 ha, η Πρώτη Εθνική Απογραφή Δασών κάλυψε 11.376.998 ha, δηλαδή ποσοστό 86,2% της συνολικής έκτασης, ενώ οι περιοχές (γεωργικές, αστικές και βιομηχανικές) ανέρχονται σε 1.818.742 ha, ποσοστό 13,8%. Από τη συνολική περιοχή που απογράφηκε τα δάση καλύπτουν 6.513.068 ha, ποσοστό 57,2% και από αυτά 3.359.186 ha χαρακτηρίζονται ως βιομηχανικά δάση με δυνατότητα παραγωγής εμπορεύσιμων προϊόντων ξύλου. Επιπροσθέτως, 3.153.882 ha αποτελούν τα μη βιομηχανικά (θαμνώδη) δάση, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για την κάλυψη αναγκών βόσκησης και καυσόξυλευσης, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην προστασία των εδαφών από τη διάβρωση. Στον Πίνακα 17.1 παρουσιάζονται οι επιφάνειες κατά κατηγορία χρήσης γης για το σύνολο της χώρας.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΣΕ ha	ΠΟΣΟΣΤΑ (%) ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	
		ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ	ΓΗ ΠΟΥ ΑΠΟΓΡΑΦΗΚΕ
Δάση	6.513.068	49,3	57,2
Βιομηχανικά δάση	3.359.186	25,4	29,5
Μη βιομηχανικά δάση	3.153.882	23,9	27,7
Λοιπές κατηγορίες χρήσης γης	4.863.930	36,9	42,8
Συνολική επιφάνεια που απογράφηκε	11.376.998	86,2	100
Επιφάνεια που δεν απογράφηκε	1.818.740	13,8	
Συνολική επιφάνεια της χώρας	13.195.740	100	

Πίνακας 17.1: Επιφάνειες κατά κατηγορίες χρήσης γης στο σύνολο της χώρας

Σύμφωνα με την απογραφή στα βιομηχανικά δάση έχουν ενταχθεί περιοχές ικανές να παράγουν τουλάχιστον 1 m³ ξύλου ανά εκτάριο ετησίως καθώς επίσης και δέντρα με κορμό ξυλείας κυτταρίνης τουλάχιστον 1,2 m. Ο συνολικός όγκος δέντρων στα βιομηχανικά δάση ανέρχεται σε 151.787.819 m³, στον οποίο συμπεριλαμβάνεται μία ποσότητα 13.680.687 m³ που αντιστοιχεί στον όγκο των κορυφών. Όσον αφορά στην ποιοτική σύνθεση (επιθυμητά, παραδεκτά, πενιχρά, απορριπτέα) του εμπορεύσιμου όγκου των βιομηχανικών δασών, εκτιμάται ότι μία ποσότητα 16.509.337 m³ από πενιχρά και απορριπτέα δέντρα πλατύφυλλων (οξιάς, δρυός, καστανιάς, πλατάνου, κ.ά.) είναι κατάλληλη για παραγωγή καυσόξυλων και ξυλανθράκων.

Όσον αφορά την ενεργειακή αξιοποίηση, δεδομένου ότι στα βιομηχανικά δάση τα 5/9 του εμπορεύσιμου όγκου προέρχονται από κωνοφόρα είδη και τα 4/9 από πλατύφυλλα και με συντελεστές μετατροπής του όγκου σε ξηρή ύλη 0,42 και 0,56 αντίστοιχα, προκύπτει ότι:

- ◆ Βιομάζα κορυφών: 6.597.131 tn ξηρής ύλης, ήτοι $30,028 \times 10^{12}$ kcal
- ◆ Βιομάζα πενιχρών & απορριπτέων: 9.245.229 tn ξηρής ύλης, ήτοι $42,528 \times 10^{12}$ kcal

Εντός των πλαισίων λοιπόν της Πρώτης Εθνικής Απογραφής Δασών και της ακρίβειας των παρεχομένων στοιχείων, η δυνάμενη άμεσα για ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζα εκτιμάται σε 15.842.360 tn ξηρής ύλης με αντίστοιχο ενεργειακό περιεχόμενο $72,556 \times 10^{12}$ kcal, το οποίο ισοδυναμεί με αυτό που θα ήταν δυνατό να μας αποδώσουν περίπου $6,4 \times 10^6$ tn πετρελαίου.

Βέβαια, οι όποιοι ποσοτικοί προσδιορισμοί για την υπάρχουσα δασική βιομάζα θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους κανόνες και τους περιορισμούς της δασοκομικής και της διαχείρισης για την αποφυγή της διατάραξης του οικοσυστήματος στα πλαίσια της **αειφορίας** των εκτάσεων δασικού χαρακτήρα.

17.3 ΧΡΗΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ

Μία περιοχή της χώρας μας που έχει μελετηθεί και παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη χρήση δασικής βιομάζας είναι ο Νομός Ευρυτανίας. Είναι νομός κατά κύριο λόγο ορεινός, με δασικές εκτάσεις περίπου 132.000 ha, δηλαδή ποσοστό 70% περίπου της συνολικής επιφάνειας. Στο νομό παράγονται περίπου 5.000 τόνοι καυσόξυλα ετησίως από τα Δασαρχεία, ενώ ταυτόχρονα συλλέγονται ατελώς για τις ανάγκες των κατοίκων από τα υπολείμματα των υλοτομιών περίπου 40.000 τόνοι ετησίως. Αναλογούν περίπου 2 τόνοι κατά μέσο όρο σε κάθε κάτοικο ετησίως (σύμφωνα με τα στοιχεία του '90).

Από το παραπάνω στοιχείο αντιλαμβάνεται κανείς ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας και πρώτης ύλης αν εφαρμοσθεί ένα δίκτυο τηλεθέρμανσης. Η κατασκευή και η λειτουργία μίας τέτοιας εγκατάστασης επηρεάζεται άμεσα από το μέγεθος του οικισμού που θα θερμανθεί, από την απόσταση μεταφοράς της βιομάζας, και άλλα.

Από το Νομό Ευρυτανίας προέρχονται και κάποια ελάχιστα στοιχεία που έχουμε υπόψη μας στον ελληνικό χώρο για τη δασική βιομάζα αείφυλλων

πλατύφυλλων που είναι δυνατόν να συγκομισθεί για παραγωγή ενέργειας. Η μέση ποσότητα δασικής βιομάζας (με διάμετρο κορμού < 15 cm σε ύψος 1,30 m από το έδαφος) ανέρχεται σε 157.162 tn σε μία έκταση 1966,5 ha. Δηλαδή η μέση ποσότητα χλωρής βιομάζας είναι 79,9 tn/ha. Η πρόταση απόληψης αυτής της βιομάζας έγινε για έκταση 1.552 ha και συνολική ποσότητα 125.799 tn και αφορά περίτροπο χρόνο 10 ετών. Έχουμε δηλαδή μία μέση ετήσια παραγωγή περίπου 8 tn/ha. Αν αυτή η ποσότητα συγκριθεί με τις ποσότητες βιομάζας που μπορούν να παραχθούν από ενεργειακές καλλιέργειες ανά μονάδα επιφάνειας κρίνεται σαφώς χαμηλότερη, 2-3 φορές περίπου. Αυτό όμως δεν υποβιβάζει την αξία της γιατί μπορεί να τροφοδοτήσει μονάδα τηλεθέρμανσης με υποστήριξη από βιομάζα άλλης προέλευσης.

Στον Ν. Ευρυτανίας υπάρχουν γύρω στα 50.000 αγροτεμάχια μικρής έκτασης (2-3 στρέμματα) διάσπαρτα μέσα στα ελατοδάση που πλέον δεν καλλιεργούνται. Η συνολική έκταση των "εγκαταλελειμμένων αγρών" προσεγγίζει τα 10.000 ha. Εάν η χρήση τους δε διασπά την ενότητα του δάσους και οι συνθήκες (κυρίως απόσταση και μεταφορά) είναι ευνοϊκές, θα μπορούσε ένα μέρος αυτών των εκτάσεων να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς. Αλλά και οι γεωργικές εκτάσεις του νομού που βρίσκονται σε οριακές αποδόσεις θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν με καλλιέργεια γεωργικών ή δασοπονικών ταχυαυξών ειδών για παραγωγή βιομάζας.

Τέλος, βάσει των μέχρι σήμερα στοιχείων για την Ευρυτανία πιστεύεται ότι υπάρχουν δυνατότητες για απόληψη σημαντικά μεγαλύτερων ποσοτήτων δασικών προϊόντων σε σχέση με τις παραγόμενες. Επομένως υπάρχουν περιθώρια συνολικής αξιοποίησης του δασικού πλούτου του νομού αυτού αλλά και πολλών άλλων νομών της χώρας που παρουσιάζουν έντονο δασικό αντικείμενο, μέσα στα οποία, λαμβανομένων υπόψη των κλιματικών συνθηκών και των ενεργειακών αναγκών, είναι δυνατή και η ενεργειακή αξιοποίηση της δασικής βιομάζας σε αειφορική βάση βεβαίως.

17.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΦΥΤΕΙΕΣ

Η εντατική εκμετάλλευση των δασών περιλαμβανομένης και της συγκομιδής βιομάζας (ιδιαίτερα λεπτών διαστάσεων για παραγωγή ενέργειας) δημιουργεί, όπως προαναφέραμε, κινδύνους υποβάθμισης του οικοσυστήματος λόγω απομάκρυνσης βασικών θρεπτικών συστατικών. Για το λόγο αυτό η εγκατάσταση τεχνητών φυτειών με στόχο την παραγωγή βιομάζας σε μεγάλες ποσότητες και μικρούς περίτροπους χρόνους αποτελεί μία εναλλακτική μορφή παραγωγής πρώτης ύλης.

Ο δυτικός πλατάνος και κυρίως τα πλατύφυλλα με πρεμνοβλαστική ικανότητα αναγέννησης παράγουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας σε πυκνούς φυτευτικούς συνδέσμους και χρόνο υλοτομίας (περίτροπος χρόνος) 2-5 χρόνια. Ο φυτευτικός σύνδεσμος εξαρτάται από το είδος του φυτευτικού υλικού, την ποιότητα του εδάφους και τη χρήση βιομάζας. Μικρότερος του 1m² ανά φυτό θεωρείται στενός και εξαντλούνται γρήγορα τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους.

Ενεργειακά οι φυτείες βιομάζας πλεονεκτούν έναντι πολλών γεωργικών καλλιεργειών με καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο περίπου **1:10** [κατανάλωση - παραγωγή (input - output)], ενώ οι περισσότερες γεωργικές καλλιέργειες παρουσιάζουν αναλογία περίπου **1:3**. Τέτοιες φυτείες εγκαθίσταται γενικά εκτός των φυσικών δασών σε εκτάσεις οριακές για τη γεωργία ή ως εναλλακτική καλλιέργεια γεωργικών εδαφών.

Η έρευνα στην Ελλάδα άρχισε το 1972 από το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών της Αθήνας, και η πρώτη φυτεία με αποκλειστικό σκοπό την παραγωγή βιομάζας έγινε το 1973 στη Μακρακώμη Φθιώτιδας με μονοετή σπορόφυτα πλατάνου. Το 1975 ιδρύθηκε το εργαστήριο Δασικής Γενετικής και Βελτίωσης Δασοπονικών Ειδών στην τότε Γεωπονοδασολογική Σχολή του Α.Π.Θ. και η έρευνα συνεχίστηκε στη Θεσσαλονίκη και επεκτάθηκε και σε άλλα δασοπονικά είδη, κυρίως ταχουαυξή πλατύφυλλα.

Τα κριτήρια με τα οποία γίνεται η επιλογή των ειδών που χρησιμοποιούνται σε φυτείες βιομάζας είναι τα παρακάτω:

- 1) Ταχύτητα αύξησης με σαφή έκφραση της ιδιότητας αυτής στα πρώτα χρόνια της ηλικίας τους.

- 2) Προσαρμογή στο περιβάλλον φύτευσης.
- 3) Ικανότητα ανάπτυξης σε πυκνούς φυτευτικούς συνδέσμους.
- 4) Ικανότητα αναγέννησης με πρεμνοβλαστήματα.
- 5) Δυνατότητα αγενούς πολλαπλασιασμού με μοσχεύματα.

Η χρήση παραγωγικής οικογένειας ενός φυτού μπορεί να αυξήσει σημαντικά την απόδοση σε επίπεδο που η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια να αποκτά οικονομική βάση.

Η αύξηση της παραγωγής με πρεμνοβλαστήματα αποδεικνύει ότι το κριτήριο "αναγέννηση με πρεμνοβλαστήματα" είναι ουσιαστικό, όχι μόνο για την αύξηση της παραγωγής αλλά και το κόστος που συνεπάγεται η απομάκρυνση των πρέμνων και η επανεγκατάσταση της φυτείας.

17.5 ΔΑΣΟΠΟΝΙΚΑ ΕΙΔΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι πλέον καταλληλότερες ενεργειακές καλλιέργειες για τις νοτιότερες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ειδικότερα για την Ελλάδα είναι:

Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες

- ◆ Δύο είδη πλατάνου (*Platanus orientalis*, *Platanus occidentalis*)
- ◆ Λεύκη (*Populus*)
- ◆ Ιτιά (*Salix*)
- ◆ Δύο είδη ευκαλύπτων (*Eucalyptus globulus* Labill, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh)
- ◆ Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.)

Γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

- ◆ Πολυετείς
 - Καλάμι (*Arundo donax* L.)
 - Μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU)
 - Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.)
- ◆ Ετήσιες
 - Γλυκό και ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L.)
 - Κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.)

ΠΛΑΤΑΝΟΣ

Δύο είδη του γένους παρουσιάζουν ενδιαφέρον από πλευράς προσαρμογής στο περιβάλλον και ταχύτητας αύξησης στη χώρα μας: ο αυτοφυής ανατολικός πλάτανος (*Platanus orientalis*) και ο αμερικάνικος πλάτανος (*Platanus occidentalis*). Τεχνητά υβρίδια αυτών αναπτύσσονται στα κέντρα Αξιού και Θεσσαλονίκης και παρουσιάζουν υβριδική ρώμη, δηλαδή υπεροχή σε σχέση με τα γονικά είδη, σε ποσοστό 26% για το ύψος και 33% για τη σθηθιαία διάμετρο.

Με φυτευτικό σύνδεσμο 1m x 1m και περίτροπο χρόνο 5 ετών, κατά τους τρεις περίτροπους χρόνους είχαμε τις παρακάτω παραγωγές ξηρής βιομάζας ανά εκτάριο και ανά χρόνο για κάθε είδος:

- *Platanus orientalis* 5.71, 8.90, 9.65 tn ξηρό βάρος/ ha/ χρόνος
- *Platanus occidentalis* 6.81, 11.10, 12.99 tn ξηρό βάρος/ ha/ χρόνος

Από τα παραπάνω φαίνεται η ουσιαστική αύξηση της παραγωγής μεταξύ της πρώτης υλοτομίας (σπορόφυτων) και της δεύτερης (πρεμνοβλαστημάτων) κατά 56.4% για τον ανατολικό πλάτανο και 63.5% για το δυτικό πλάτανο αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν δείχνουν ότι ο πλάτανος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή βιομάζας, τόσο για ενέργεια όσο και για άλλους σκοπούς όπως είναι η παραγωγή χαρτοπολτού, ινοσανίδων, μοριοσανίδων, κ.λ.π..

ΛΕΥΚΗ

Η έρευνα στην Ελλάδα αρχικά είχε σαν σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των κλώνων λεύκης σε αμιγείς και μικτές φυτείες, υπό διαφορετικές συνθήκες πυκνότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κλώνοι παρουσιάζουν διαφορετική ανταγωνιστική ικανότητα, η οποία ελέγχεται κληρονομικά. Με βάση τα δεδομένα αυτά επελέγησαν κλώνοι λεύκης κατάλληλοι για φυτεία βιομάζας καθώς και για παραγωγή ξύλου. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή βιομάζας είναι μεγαλύτερη στις μικτές φυτείες εν συγκρίσει με τις αμιγείς.

Τέλος διαπιστώθηκε ότι η απόδοση στον 5^ο περίτροπο χρόνο μειώθηκε σημαντικά σε σχέση με τους προηγούμενους τόσο στις μικτές όσο και στις αμιγείς φυτείες. Επομένως **η αναγέννηση φυτειών λεύκης με πρεμνοβλαστήματα δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 4 περίτροπους χρόνους.**

ΙΤΙΑ

Στη χώρα μας υπάρχουν αυτοφυή δέκα είδη του γένους της ιτιάς ενώ έχει εισαχθεί και καλλιεργείται το είδος *Salix babylonica*. Σε πειραματική φυτεία παραπάνω είδους στο κέντρο ταχυαυξών πλατύφυλλων στη Θεσσαλονίκη, με φυτευτικό σύνδεσμο 0.5m x 0.5m και 2 χρόνια περίτροπο χρόνο, η παραγωγή υπολογίστηκε σε 30 tn ξηρού βάρους/ ha ετησίως. Η ιτιά παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία στην επίδραση του περιβάλλοντος, για αυτό κρίνεται σκόπιμη η συνέχιση της έρευνας. Ας σημειωθεί ότι η παρουσία φυσικών υβριδίων δημιουργεί αυξημένη ποικιλότητα και δυνατότητες γενετικής βελτίωσης.

ΕΥΚΑΛΥΠΤΟΣ

Στην Ελλάδα έχουν εισαχθεί και αναπτύσσονται περίπου 50 είδη, ποικιλίες και υβρίδια του είδους. Η απόδοση κυμαίνεται από 4 έως 20 tn ξηρό βάρος/ ha ετησίως. Η ικανότητα των ευκαλύπτων να αναγεννιούνται με πρεμνοβλαστήματα, η δυνατότητα πολλαπλασιασμού τους με μοσχεύματα και η αποτελεσματικότητα γενετικής βελτίωσης, συντέλεσαν στην επιτυχημένη εφαρμογή προγραμμάτων παραγωγής βιομάζας για πολλαπλές χρήσεις.

Φυτεία στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος εγκαταστάθηκε σε έκταση της βιομηχανίας DIANA στην περιοχή Μάνγκανα Ξάνθης την άνοιξη του 1995.

Γενικά είδη του γένους του ευκαλύπτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή βιομάζας πολλαπλών χρήσεων. Λόγω Δε των περιορισμένων απαιτήσεων τους σε υγρασία και γονιμότητα του εδάφους είναι κατάλληλα για φυτείες σε οριακές για τη γεωργία εκτάσεις, αν και οι χαμηλές θερμοκρασίες και το pH του εδάφους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την επιβίωσή τους.

Ο *E. globulus* είναι απαιτητικός σε άρδευση και ευαίσθητος στο ασβέστιο, για αυτό περιορίζεται το εύρος της καλλιέργειάς του (μεσογειακές χώρες για παραγωγή χαρτοπολλτού). Αντιθέτως ο *E. camaldulensis* είναι πολύ ανθεκτικός στην ξηρασία και στις υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου.

Ενεργειακές εκτιμήσεις: με βάση τις αποδόσεις του ευκαλύπτου σε ξηρή βιομάζα και την αντίστοιχη θερμογόνο δύναμη, το εκτιμώμενο ενεργειακό δυναμικό ανέρχεται σε 1,29 ΤΙΠ/ στρέμμα/ έτος. [ΤΙΠ = Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου]

Πιθανές χρήσεις: ο ευκάλυπτος μπορεί να θεωρηθεί ως μία πολύ καλή ενεργειακή καλλιέργεια, καλά προσαρμοσμένη στις κλιματικές συνθήκες της νότιας Ευρώπης, ικανή να χρησιμοποιηθεί τόσο για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και σαν πρώτη ύλη για παραγωγή χαρτοπολλτού.

ΨΕΥΔΑΚΑΚΙΑ

Η ψευδακακία εξαιτίας του ταχύτατου ρυθμού ανάπτυξης (μικρού περίτροπου χρόνου), της υψηλής πυκνότητας του ξύλου και της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, σε σχέση με άλλα είδη, θεωρείται πολύ παραγωγικό φυτό σε βιομάζα.

Στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκαν πειράματα με αντικείμενο μελέτης την προσαρμοστικότητα και παραγωγικότητα του φυτού σε διάφορες κλιματικές και εδαφικές συνθήκες. Επίσης εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών επιπέδων λίπανσης, άρδευσης και πυκνοτήτων φύτευσης στις αποδόσεις του φυτού σε βιομάζα.

Μετά από δύο περίτροπους χρόνους, διάρκειας δύο ετών, οι αποδόσεις σε χλωρό και ξηρό βάρος κυμάνθηκαν από 0.39 - 2.0 τόνους/ στρέμμα/ έτος και από 0.24 - 1.34 τόνους/ στρέμμα/ έτος. Το ενεργειακό δυναμικό του φυτού κυμάνθηκε από 0.1 - 0.6 ΤΙΠ/ στρέμμα/ έτος. Η ανάπτυξη και η παραγωγικότητα σε βιομάζα επηρεάστηκαν από τις συνθήκες της κάθε περιοχής και από την πυκνότητα φύτευσης. Η τελευταία επηρέασε και τη δυνατότητα αναβλάστησης. Στα γόνιμα εδάφη παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση παραγωγής βιομάζας (25 -130%) κατά τη διάρκεια του δεύτερου περίτροπου χρόνου, ενώ στα άγονα παρατηρήθηκε μείωση στο τέλος του.

Ενεργειακές εκτιμήσεις: το ενεργειακό δυναμικό της ψευδακακίας είναι τυπικό των πλατύφυλλων φυτών και κυμαίνεται γύρω στα 19.44 MJ/kg (ξύλο).

Πιθανές χρήσεις: παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΑΛΑΜΙ

Το καλάμι παρουσιάζει μεγάλες προοπτικές τόσο ως ενεργειακό φυτό όσο και ως φυτό για διάφορες βιομηχανικές χρήσεις όπως παραγωγή χαρτοπολτού ή μορισανίδων. Θεωρείται ως ένα πολύ δυναμικό φυτό και πολλαπλασιάζεται κυρίως με ριζώματα, ενώ είναι δυνατόν να πολλαπλασιαστεί και με μοσχεύματα. Οι οικονομικές απαιτήσεις της καλλιέργειάς του ετησίως είναι πολύ χαμηλές, εξαιρώντας το κόστος εγκατάστασης και συγκομιδής.

Σε μελέτες στην Ελλάδα παρατηρήθηκε ότι το τελικό ύψος φυτείας δύο ετών έφτασε τα 5,80 m, ενώ καταγράφηκε χλωρό και ξηρό βάρος 5.8 και 3.1 τόνων/ στρέμμα. Η διακύμανση στις αποδόσεις οφείλεται στα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης. Η αζωτούχος λίπανση δεν διαφοροποίησε σημαντικά τις αποδόσεις.

Το γεγονός ότι τα προαναφερθέντα υψηλά μεγέθη παραγωγής έχουν ληφθεί από μη βελτιωμένους πληθυσμούς και χωρίς ιδιαίτερες καλλιεργητικές τεχνικές είναι ενδεικτικό της υψηλής δυναμικότητας του φυτού για παραγωγή βιομάζας. Σε συνθήκες υψηλής υγρασίας του εδάφους αναμένονται αποδόσεις άνω των 3 τόνων σε ξηρή βιομάζα.

Ενεργειακές εκτιμήσεις: η θερμογόνο δύναμη του καλάμιού έχει προσδιοριστεί σε 17.1 MJ/kg ξηρής ουσίας. Έτσι, βάσει των μέχρι σήμερα αποδόσεων σε ξηρό βάρος, εκτιμάται ότι κατά μέσο όρο το ενεργειακό δυναμικό του φτάνει τους 1,29 TΠΠ/ στρέμμα/ έτος.

Πιθανές χρήσεις: εκτός από τη χρήση του για ενεργειακούς σκοπούς χρησιμοποιείται για την κατασκευή μουσικών οργάνων, καλαθιών, πασσάλων για στήριξη φυτών, κ.λ.π.. Επίσης, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες, θεωρείται καλή πρώτη ύλη για παραγωγή χαρτοπολτού.

ΜΙΣΧΑΝΘΟΣ

Σαν φυτό χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλές αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή ουσία, χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (δεν απαιτεί τεχνητή ξήρανση)

και ανοχή σε ασθένειες και παθογόνα. Επιπλέον παρουσιάζει υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης νερού και νιτρικών.

Οι αποδόσεις του μίσχανθου διαφοροποιούνται ανάλογα με την περιοχή και τις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι αποδόσεις αυξάνουν σημαντικά μετά το δεύτερο χρόνο της καλλιέργειας. Γενικά οι αποδόσεις του στη Νότια Ευρώπη μπορούν να συναγωνιστούν με επιτυχία τις αντίστοιχες αποδόσεις σε ξηρή ουσία φυτειών ιτιάς μικρού περίτροπου χρόνου, που αποτελεί μία τυπική καλλιέργεια για τις χώρες αυτές. Στην Ελλάδα πειραματικά προκύπτει ότι για μέσο ύψος της φυτείας περίπου 3 m η παραγωγή ξηρής ουσίας κυμαίνεται από 2.63 έως 3.2 τόνους/ στρέμμα/ έτος και το εκτιμώμενο ενεργειακό δυναμικό στα 1,38 ΤΙΠ/ στρέμμα/ έτος. Στον καθορισμό των αποδόσεων σημαντικό ρόλο παίζει η άρδευση, ενώ τα αζωτούχα λιπάσματα δεν είχαν ιδιαίτερα αποτελέσματα.

Η συγκομιδή πραγματοποιείται τέλη Νοέμβρη με τέλη Φλεβάρη, όταν το φυτό ξεραίνεται με φυσικό τρόπο στον αγρό, αλλά προς τα τέλη της περιόδου συγκομιδής στην Ελλάδα οι αποδόσεις σε ξηρή ουσία μειώνονται σημαντικά, έως και 50%.

Ενεργειακές εκτιμήσεις: τα στελέχη του έχουν πολύ μεγάλη θερμιδική αξία (μέση τιμή 4.360 kcal/kg ξηρού βάρους), παρόμοια με αυτή του ξύλου (4.700 kcal/kg ξηρού βάρους). Η περιεκτικότητα σε τέφρα των στελεχών είναι σχετικά χαμηλή (μέση τιμή 1,64% επί του ξηρού βάρους), αυξάνοντας τη θερμιδική αξία. Τα φύλλα είναι κατώτερης ποιότητας καύσιμο (4.056 kcal/kg ξηρού βάρους) λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητάς τους σε τέφρα (μέση τιμή 7,66% επί του ξηρού βάρους).

Πιθανές χρήσεις: εξετάζεται η πιθανότητα χρησιμοποίησής του ως ενεργειακής καλλιέργειας αλλά και για την κατασκευή δομικών υλικών.

ΑΓΡΙΑΓΚΙΝΑΡΑ

Η αγριαγκινάρα είναι ένα είδος αγκαθιού που καλλιεργείται σε κάποιες περιοχές της μεσογείου. Χρησιμοποιείται σαν είδος διατροφής αλλά περιέχει και ορισμένες πρωτεΐνες κατάλληλες για παρασκευή τυριού. Έχει σχήμα ρόδακα και την άνοιξη αναπτύσσονται οι διακλαδώσεις, ενώ το εύρωστο ριζικό του σύστημα προσστατεύει τα εδάφη από διάβρωση. Η συγκομιδή του πραγματοποιείται το καλοκαίρι με την ξήρανση των υπέργειων μερών.

Από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια αποδεικνύεται ότι η αγριαγκινάρα είναι ένα φυτό με πολύ καλή προσαρμοστικότητα και μεγάλες αποδόσεις. Στην Ελλάδα το τελικό ύψος του φυτού φτάνει τα 2,6 m. Η παραγωγή ξηρής ουσίας, ανάλογα με την πυκνότητα φύτευσης επί των γραμμών, κυμάνθηκε από 1,7 έως 3,3 τόνους/ στρέμμα. Οι αντίστοιχες τιμές του ενεργειακού δυναμικού κυμάνθηκαν μεταξύ 0,69 και 1,29 ΤΙΠ/ στρέμμα.

Σε πειράματα στην Ελλάδα που διενεργήθηκαν από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) μελετήθηκαν τα παρακάτω:

- Διαδοχικές χειμερινές κοπές, με στόχο α) τη μελέτη της απόδοσης σε χλωρή βιομάζα για ζωοτροφή κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο, και β) την επίδραση διαδοχικών χειμερινών κοπών στην ανάπτυξη και την τελική απόδοση σε βιομάζα κατά την τελική συγκομιδή του φυτού τους θερινούς μήνες.
- Πυκνότητες φύτευσης, με στόχο τη μελέτη της επίδρασης της πυκνότητας των φυτών στην ανάπτυξη και τις αποδόσεις της καλλιέργειας. Η πυκνότητα έχει σημαντική επίδραση στις αποδόσεις τόσο σε χλωρή βιομάζα όσο και σε ξηρή ουσία. Η υψηλή πυκνότητα 5.000 δέντρα/ στρέμμα έδωσε σχεδόν διπλάσιες αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα και ξηρή ουσία (4,8 τόνους/ στρέμμα και 3,1 τόνους/ στρέμμα αντίστοιχα) σε σχέση με τη χαμηλή πυκνότητα 1.000 δέντρα/ στρέμμα (2,5 τόνους/ στρέμμα και 1,7 τόνους/ στρέμμα αντίστοιχα).
- Αζωτούχος λίπανση, με στόχο τη μελέτη της επίδρασης τριών επιπέδων λίπανσης (0, 5 , 10 kg/ στρέμμα) στις τελικές αποδόσεις. Η αζωτούχος λίπανση είχε μικρή επίδραση στις τελικές αποδόσεις. Μόνο η απουσία λιπάσματος έχει δίνει χαμηλότερες αποδόσεις.

Στην Ελλάδα την εποχή της συγκομιδής (αρχές Αυγούστου) η απόδοση σε χλωρή βιομάζα φτάνει τους 4,1 τόνους/ στρέμμα και σε ξηρή ουσία τους 2,8 τόνους/ στρέμμα.

Ενεργειακές εκτιμήσεις: η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 3.474 kcal/kg για τα φύλλα και τα βράκτια και σε 5.912 kcal/kg για τους σπόρους, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε έλαια. Τα φύλλα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, περίπου 14%, ενώ στα υπόλοιπα φυτικά μέρη το

ποσοστό της τέφρας κυμαίνεται μεταξύ 3,3% και 5,3%. Με βάση τη θερμογόνο δύναμη των διάφορων φυτικών τμημάτων και τις αποδόσεις τους σε ξηρή βιομάζα, το ενεργειακό περιεχόμενο της καλλιέργειας ποικίλει από 0,6 έως 1,2 ΤΙΠ/ στρέμμα.

Πιθανές χρήσεις: η αγριαγκινάρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ζωοτροφή το χειμώνα, επειδή παράγει μεγάλες ποσότητες φύλλων. Τα στελέχη της χρησιμοποιούνται σαν πρώτη ύλη για παραγωγή χαρτοπολτού και οι σπόροι της για παραγωγή ελαίων. Οι σπόροι αντιπροσωπεύουν το 13,2% της συνολικής βιομάζας, με περιεκτικότητα σε έλαια 25%. Μία νέα σημαντική προοπτική για την καλλιέργειά της είναι η αξιοποίησή της για ενεργειακούς σκοπούς (καύση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας).

ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ

Μονοετές φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα, υψηλό ποσοστό σε διαλυτά σάκχαρα και κυτταρίνες και σχετικά χαμηλές απαιτήσεις άρδευσης και λίπανσης. Προσαρμόζεται εύκολα στις κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες. Τα τελευταία χρόνια μελετάται ευρύτατα για παραγωγή αλκοόλης από τα στελέχη του.

Οι αποδόσεις του ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή, τις κλιματικές συνθήκες, τη γονιμότητα του εδάφους και τις καλλιεργητικές τεχνικές. Το χλωρό βάρος του δύναται να ανέλθει στους 14,1 τόνους/ στρέμμα στην Ελλάδα.

Στη χώρα μας καλλιεργήθηκε για σειρά ετών με τους παρακάτω αντικειμενικούς σκοπούς:

- Μελέτη παραγωγικότητας του φυτού σε περιθωριακά εδάφη και επίδραση των διαφόρων καλλιεργητικών τεχνικών στις τελικές αποδόσεις.
- Μελέτη της παραγωγικότητας του φυτού σε γόνιμα και άγονα εδάφη καθώς και επίδραση διαφόρων καλλιεργητικών τεχνικών στις τελικές αποδόσεις.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το γλυκό σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε όλη την Ελλάδα, σε χαμηλό αλλά και μεγαλύτερο υψόμετρο (έως τα 900 m), σε εύφορα αλλά και σε υποβαθμισμένα εδάφη. Βέβαια τα

αποτελέσματα παραγωγής σε βιομάζα και σάκχαρα είναι σαφώς καλύτερα στα εύφορα. Σημαντικό ρόλο στην παραγωγή παίζει η άρδευση, ενώ η λίπανση δεν είχε ιδιαίτερα αποτελέσματα. Τέλος, η αυξημένη πυκνότητα των φυτών λειτουργεί αρνητικά στην απόδοση.

Οι μέγιστες αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή ουσία έφτασαν τους 12 και 3,2 τόνους/ στρέμμα αντίστοιχα.

Αποδόσεις: η αναλογία σε σάκχαρα ποικίλει από 9 έως 13,2% επί του χλωρού βάρους των στελεχών, οι δε αποδόσεις με βάση την παραγωγή φτάνουν τους 1,2 τόνους/ στρέμμα. Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα που βασίζονται στο χλωρό βάρος των στελεχών και στην περιεκτικότητά τους σε σάκχαρα, θεωρητικά μπορεί να εξασφαλιστεί παραγωγή **675 λίτρων αιθανόλης/ στρέμμα**.

Επιπλέον, μετά την επεξεργασία της πρώτης ύλης μένουν μεγάλες ποσότητες υπολείμματος (bagasse) υψηλής θερμογόνου δύναμης, οι οποίες μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες τόσο της παραγωγής όσο και της μετατροπής του σόργου σε αλκοόλη.

Πιθανές χρήσεις: στην Ευρωπαϊκή Ένωση πραγματοποιούνται έρευνες με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης του γλυκού σόργου για την παραγωγή βιοαιθανόλης σαν καύσιμο μεταφορών.

ΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΟ ΣΟΡΓΟ

Αντίθετα με το γλυκό σόργο, το κυτταρινούχο σόργο έχει σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα και το ενεργειακό του δυναμικό βασίζεται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητά του σε λιγνοκυτταρινούχα συστατικά.

Στην Ελλάδα οι αποδόσεις σε ξηρό βάρος φτάνουν τους 2,8 τόνους/ στρέμμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κυτταρινούχο σόργο παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στο πλάγιασμα, το οποίο αποτελεί φαινόμενο που επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου.

Πιθανές χρήσεις: καλλιεργούνται διάφορα υβρίδια, κάτω από διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές, με σκοπό την αξιολόγηση της παραγωγικότητας και της πιθανότητας χρήσης τους, σαν πρώτη ύλη, για την παραγωγή χαρτοπολτού και για ενεργειακούς σκοπούς.

ΚΕΝΑΦ

Το κενάφ είναι ένα ετήσιο φυτό μικρής ημέρας, με κυτταρίνες υψηλής ποιότητας. Τα στελέχη του αποτελούνται από ένα κεντρικό δακτύλιο με ίνες μικρού μήκους και το φλοιό με ίνες μεγάλου μήκους. Από τις τελευταίες μπορεί να παραχθεί χαρτί ανώτερης ποιότητας. Είναι φυτό τροπικών και υποτροπικών κλιμάτων που ευδοκιμεί σε εδάφη αμμοπηλώδη, ουδέτερης αντίδρασης, καλά στραγγιζόμενα, με οργανική ουσία καλής ποιότητας. Μπορεί ωστόσο να προσαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος εδαφοκλιματικών συνθηκών.

Πλεονεκτήματα του φυτού αποτελούν:

- Η εύκολη εγκατάσταση της φυτείας (με σπόρο).
- Η εύκολη συγκομιδή (με συμβατική συλλεκτική μηχανή).
- Οι υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα.

Μειονεκτήματα του φυτού είναι:

- Τα υψηλά επίπεδα άρδευσης που απαιτούνται για να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις.
- Οι ποικιλίες που δίνουν υψηλές αποδόσεις είναι συνήθως οι όψιμες ποικιλίες, ο σπόρος των οποίων δεν προλαβαίνει να ωριμάσει. Έτσι ο παραγωγός θα πρέπει να αγοράζει κάθε χρόνο το σπόρο που θα χρησιμοποιήσει.
- Στα πρώτα στάδια της καλλιεργητικής περιόδου το φυτό δυσκολεύεται να ανταγωνιστεί τα ζιζάνια.

Στην Ελλάδα μελετήθηκε η προσαρμοστικότητα του κενάφ στις κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας και η επίδραση διαφόρων πυκνοτήτων φυτών στην ανάπτυξη και στις τελικές αποδόσεις. Διαπιστώθηκε ότι οι υψηλότερες αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα και ξηρή ουσία αποδόθηκαν στις όψιμες ποικιλίες κάτω από τη μεγαλύτερη πυκνότητα φυτών (32.000 δέντρα/ στρέμμα). Η παραγωγή σπόρου ήταν δυνατή μόνο στις πρώιμες ποικιλίες, γιατί στις όψιμες δεν είχαν αρκετό χρόνο να ωριμάσουν. Επίσης, το κενάφ κατατάσσεται στα φυτά μέσης ανθεκτικότητας στην αλατότητα του εδάφους και του νερού άρδευσης, και οι αποδόσεις ξηρής ουσίας μειώνονται με χαμηλούς ρυθμούς αυξανόμενης της αλατότητας.

Μετά από μία σειρά εξειδικευμένων επενδυτικών ενεργειών το κενάφ θα μπορούσε να παίξει έναν πολύ σοβαρό ρόλο για το χώρο της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας, πάνω στους τομείς της εναρμόνισης με την **Κ.Α.Π.** και τη συνθήκη του **GATT**, της αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών, της ενίσχυσης του αγροτικού εισοδήματος και του περιορισμού της εκροής συναλλάγματος.

Πιθανές χρήσεις: το κενάφ καλλιεργείται κάτω από διαφορετικές τεχνικές, με σκοπό την αξιολόγηση της παραγωγικότητας και της πιθανότητας χρήσης του ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτοπολλτού και για ενεργειακούς σκοπούς.

17.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα ερευνητικά αποτελέσματα προκύπτει ότι είναι δυνατή η εγκατάσταση φυτειών για παραγωγή βιομάζας με ταχύαυξη πλατύφυλλα δασοπονικά είδη. Η απόδοση των φυτειών εξαρτάται τόσο από την ποιότητα του εδάφους, τη λίπανση, την άρδευση, το φυτευτικό σύνδεσμο, τη διάταξη του φυτευτικού υλικού, τις περιποιήσεις, κ.λ.π., όσο και από τη χρήση του κατάλληλου γενετικού υλικού. Η επιλογή αυτή εξασφαλίζει προσαρμογή στο περιβάλλον φύτευσης και μεγιστοποίηση της απόδοσης ποσοτικά και ποιοτικά. Επίσης προκύπτει ότι οι υπολογισμένες αποδόσεις σε ξηρό βάρος ανά χρόνο και ανά εκτάριο επιτρέπουν την εφαρμογή ενός προγράμματος φυτειών βιομάζας για παραγωγή ενέργειας οικονομικά βιώσιμου. Ωστόσο η υλοποίηση ενός προγράμματος προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων εκτάσεων και φυσικά αγοράς για τη διάθεση του προϊόντος.

Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης ευνοεί τη φύτευση γεωργικών εκτάσεων με δασοπονικά είδη με ικανοποιητική επιδότηση, αλλά συγχρόνως πρέπει να αντιμετωπιστούν ορισμένα κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα. Ο γεωργός για να αποφασίσει την αλλαγή της γεωργικής καλλιέργειας πρέπει να εξασφαλίσει ικανοποιητικό εισόδημα και απασχόληση. Για αυτό η φυτεία πρέπει να παράγει εμπορεύσιμη βιομάζα σε σύντομο χρόνο (μικρός περίτροπος χρόνος), σταθερή ετήσια παραγωγή και δυνατότητα άμεσης διάθεσης των προϊόντων.

Η γενετική άποψη είναι θετική για τις προοπτικές παραγωγής βιομάζας από φυτείες μικρού περιόδου χρόνου με ταχυσυζή δασοπονικά είδη σε γεωργικές εκτάσεις. Είναι επίσης σαφές ότι οι φυτείες πρέπει να είναι ευέλικτες από πλευράς παραγωγής και διάθεσης προϊόντων. Δηλαδή η παραγωγή πρέπει να έχει δυνατότητα πολλαπλών χρήσεων (π.χ. ενέργεια, χαρτοπολτός, ινοσανίδες). Μία ενδιαφέρουσα πρόταση είναι η αξιοποίηση φυτειών βιομάζας, μικρών σχετικά εκτάσεων, με τη μετατροπή της παραγωγής σε ηλεκτρική ενέργεια και άμεση διάθεση στο δίκτυο της ΔΕΗ με τη χρήση προσωρινού μετρητή.

Σε γεωργικώς καλλιεργούμενα εδάφη στη χώρα μας (αναχώματα μεγάλων ποταμών, πεδιάδες με αρδευτικά δίκτυα, κ.λ.π.) έχει εφαρμοσθεί με μεγάλη επιτυχία η λευκοκαλλιέργεια, όχι μόνο σε δημόσιες αλλά και σε ιδιωτικές εκτάσεις. Η παραγωγή σε τέτοια εδάφη είναι εντυπωσιακή. Έχουν αναφερθεί ετήσιες αποδόσεις πάνω από 50 m³/ ha/ έτος. Τα επιτεύγματα αυτά συνοδεύονται και από μικρούς χρόνους παραγωγής (περίτροπους χρόνους).

Ασφαλώς φυτείες βιομάζας για ικανοποίηση αναγκών θέρμανσης σε επίπεδο ατομικών αναγκών ή οικισμών αποτελούν εναλλακτική λύση με πολλές δυνατότητες σε αειφορική βάση. σε όλες τις περιπτώσεις οι φυτείες πρέπει να καταλαμβάνουν ικανή συνεχόμενη έκταση τόσο για τη μείωση του κόστους όσο και για την εξασφάλιση αειφορίας στην παραγωγή.

18. ΕΡΓΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΤΗΝ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) πραγματοποίησε στα πλαίσια διαφόρων προγραμμάτων επιδεικτικά έργα αξίας άνω των 1,2 δισεκατομμύρια δραχμών. Τα έργα αυτά αφορούν θέρμανση θερμοκηπίων με άχυρο και άλλα υπολείμματα γεωργικής προέλευσης, κάλυψη αναγκών θερμότητας και ηλεκτρισμού βιομηχανιών με τα υπολείμματά τους, τηλεθέρμανση από δασικά υπολείμματα, καθώς και παραγωγή οργανοχουμικών λιπασμάτων από λύματα πτηνοτροφίας, κατά οικονομικότερο τρόπο, έτσι:

1. Σε τέσσερα εκκοκκιστήρια βαμβακιού αντικαταστάθηκε ήδη το πετρέλαιο και το μαζούτ από τα υπολείμματα εκκοκκισμού, τα οποία χρησιμοποιούνται για κάλυψη των αναγκών θερμότητας ενώ σε ένα από αυτά και ηλεκτρισμού.
2. Στην κοινότητα Νυμφασίας της Βυτίνας έγινε εγκατάσταση τηλεθέρμανσης με δασικά υπολείμματα.
3. Στη Νάξο, το Βελεστίνο, στις Σέρρες και την Κέρκυρα εγκαταστάθηκαν συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με άχυρο ή άλλα υπολείμματα βιομάζας (τσόφλια αμυγδάλων, πυρηνόξυλο ελαιουργείων, ροκανίδια).
4. Σε κιβωτοποιία, στην περιοχή της Βέροιας, εγκαταστάθηκε μονάδα παραγωγής θερμότητας, για κάλυψη των αναγκών της, με τα υπολείμματα που παράγονται κατά την παραγωγή των κιβωτίων.
5. Στην περιοχή των Μεγάρων, εγκαταστάθηκε μονάδα παραγωγής οργανικών λιπασμάτων από την επεξεργασία των πτηνοτροφικών αποβλήτων, η οποία εκτός από τις ευνοϊκές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποφέρει σημαντικό εισόδημα στο Δήμο και συμβάλει στην εξοικονόμηση συναλλάγματος, καθώς και ηλεκτρισμού, που απαιτείται για την παραγωγή χημικών λιπασμάτων, ίσης λιπαντικής αξίας. Η μονάδα αυτή ανήκει σε Α.Ε. της οποίας ο κύριος μέτοχος (80%) είναι ο Δήμος Μεγάρων ενώ το υπόλοιπο 20% των μετοχών ανήκουν σε ιδιωτικό φορέα.

Τα παραπάνω έργα έχουν σαν συνέπεια την εξοικονόμηση μερικών χιλιάδων τόνων πετρελαιοειδών, καθώς και μερικών εκατομμυρίων κιλοβατώρων ηλεκτρισμού ετησίως.

Στα πλαίσια επίσης του Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης προβλέπεται η πραγματοποίηση έργων για ΑΠΕ περίπου 24 δις δραχμών, με τη βιομάζα σε πρωταγωνιστικό ρόλο σε τηλεθερμάνσεις, ηλεκτροπαραγωγές, βιομηχανικές εφαρμογές, καθώς και στην παραγωγή βιοαιθανόλης από ενεργειακές καλλιέργειες σαν καύσιμο μεταφορών.

Επίσης το ΚΑΠΕ, στα πλαίσια διαφόρων προγραμμάτων αξιοποίησης βιομάζας στην Ε.Ε., έχει δρομολογήσει διάφορα ερευνητικά προγράμματα καθώς και εφαρμογές που έχουν σχέση με τις ενεργειακές καλλιέργειες και με την παραγωγή καυσίμων από βιομάζα.

Από τα προγράμματα αυτά σημαντικότερα είναι τα παρακάτω:

- Ø Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική (πυρολυτική) επεξεργασία της βιομάζα.
- Ø Παραγωγή βιοαιθανόλης, που θα χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμη ύλη στα αυτοκίνητα.

Με τα έργα αυτά ελπίζεται ότι θα ξεκινήσει, σε πρώτη φάση, η πρόσμιξη βιοαιθανόλης με βενζίνη (που μπορεί να φτάσει μέχρι και 25%), η οποία εκτός από την αντίστοιχη εξοικονόμηση θα δώσει αμόλυβδη βενζίνη με αυξημένη οκτάνια, με ευνοϊκές περιβαλλοντικές ενεργειακές και γεωργό-οικονομικές επιπτώσεις.

Σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης θα χρησιμοποιηθεί κυρίως το ζαχαρούχο σόργο, του οποίου οι μέχρι σήμερα αποδόσεις στη χώρα μας είναι από τις υψηλότερες στον αναπτυγμένο κόσμο. Το γεγονός αυτό θα παίξει σημαντικό ρόλο στο κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον ίδιο σκοπό και ο αραβόσιτος.

Με τα έργα αυτά και με μία σειρά άλλων που θα ακολουθήσουν, πιστεύεται ότι ανοίγει ο δρόμος για την αξιοποίηση της βιομάζας στη χώρα μας, με όλες τις ευεργετικές οικολογικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις που συνεπάγεται μία τέτοια αξιοποίηση. Το πόσο μακριά θα φτάσει η αξιοποίηση της βιομάζας και με τι ταχύτητα θα εξαρτηθεί από τις διεθνείς και ευρωπαϊκές συγκυρίες, κυρίως όμως από τις αποφάσεις του

πολιτικού κόσμου. Πιστεύεται ότι η χώρα μας μπορεί να οδηγηθεί σε ενεργειακή αυτάρκεια βασισμένη στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως στη βιομάζα.

Στον τομέα της βιομάζας υπάρχουν σήμερα αξιόλογες ποσότητες αδιάθετων γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων, οι οποίες μαζί με τα οικιακά απορρίμματα, την κτηνοτροφική κοπριά και τις ενεργειακές καλλιέργειες, επαρκούν για να καλύψουν το σύνολο των ενεργειακών αναγκών της χώρας, **με την προϋπόθεση ότι είναι δυνατή η παραγωγή υγρών καυσίμων.**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄
8.6

ΟΡΙΣΜΟΙ

- BOD - ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ
- COD - ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ
- TOD - ΟΛΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ
- ThOD - ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

Οι παραπάνω παράμετροι αποτελούν τις συνήθεις εργαστηριακές μεθόδους μέτρησης του οργανικού περιεχομένου των λυμάτων. Παρακάτω θα αναφέρουμε αναλυτικά κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους.

1. BOD - ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

(Biological Oxygen Demand)

Αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη παράμετρο του οργανικού φορτίου και εφαρμόζεται τόσο για λύματα όσο και για επιφανειακά ύδατα. Ο συνήθεις χρόνος που απαιτείται για αυτόν τον προσδιορισμό είναι 5 ημέρες και σε αυτήν την περίπτωση η παράμετρος ονομάζεται BOD₅. Αυτό που μετράται ουσιαστικά είναι η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς κατά την βιοχημική οξείδωση της οργανικής ύλης. Παρόλη την ευρεία χρήση του, το BOD τεστ παρουσιάζει κάποιους σημαντικούς περιορισμούς όπως: μεγάλος χρόνος πειράματος, απενεργοποίηση των μικροοργανισμών από την παρουσία τοξικών ουσιών και μέτρηση μόνο των βιο-διασπώμενων ουσιών.

Η περίοδος επώασης είναι συνήθως 5 ημέρες στους 20 °C, ωστόσο μεταβολές των δύο πιο πάνω συνθηκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όταν επιλεγεί μία θερμοκρασία για το τεστ πρέπει να παραμείνει σταθερή σε όλη τη διάρκειά του. Ο υπολογισμός του BOD γίνεται από μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου στην αρχή και μετά το πέρας των 5 ημερών.

Γενικά το τεστ (**BOD₅**) περιλαμβάνει την προσθήκη μίας ποσότητας του νερού σε μία φιάλη (όγκου συνήθως 300 ml), τη συμπλήρωση με νερό αραίωσης και την τοποθέτησή της σε θερμοκρασία 20 °C.

Σε αυτήν την περίπτωση το **BOD₅** υπολογίζεται από την σχέση:

$$BOD\left(\frac{mg}{l}\right) = \{(DO_b - DO_j) \frac{\acute{o}gkoV\acute{o}ceiou}{ml\acute{d}eigmatov}\} - (DO_b - DO_s)$$

όπου: DO_b και DO_j είναι οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου που βρίσκονται στο κενό - blank (περιέχει μόνο διαλυτικό νερό) και στα διαλύματα του δείγματος αντίστοιχα στο τέλος της περιόδου επώασης. Το DO_s αντιπροσωπεύει το διαλυμένο οξυγόνο που αρχικά βρίσκεται στο μη διαλυμένο δείγμα.

Καθώς η τιμή του DO_s πλησιάζει το DO_b ή όταν το BOD είναι μεγαλύτερο του 200 mg/L ο δεύτερος όρος είναι πολύ μικρός και σχεδόν ασήμαντος.

Η βιοχημική οξείδωση είναι μία αργή διεργασία και θεωρητικά απαιτεί άπειρο χρόνο για την ολοκλήρωσή της. Μέσα σε μία περίοδο 20 ημερών η οξείδωση είναι κατά 95 - 99% ολοκληρωμένη, ενώ σε διάρκεια 5 ημερών (όσο χρειάζεται για τον προσδιορισμό του BOD η οξείδωση είναι κατά 60-70% ολοκληρωμένη. Η θερμοκρασία λαμβάνεται τις περισσότερες φορές ίση με 20°C, που είναι η θερμοκρασία των αργά κινούμενων ποταμών και επιτυγχάνεται εύκολα.

Σε διαφορετικές θερμοκρασίες θα αποκτηθούν διαφορετικά αποτελέσματα λόγω της θερμοκρασιακής εξάρτησης των βιοχημικών ρυθμών αντίδρασης.

Εάν επιθυμείται ο προσδιορισμός σε θερμοκρασία διαφορετική των 20°C τότε η σταθερά ταχύτητας στη θερμοκρασία **T** (°C), **K_T**, μπορεί να προσδιοριστεί από το νόμο του Van't Hoff - Arrhenius:

$$K_T = K_{20} \Theta^{(T-20)}$$

Το Θ λαμβάνει τιμή 1,056 για θερμοκρασίες 20 - 30°C και 1,135 για θερμοκρασίες 4- 20°C. Ωστόσο η παραπάνω εξίσωση δεν εφαρμόζεται για θερμοκρασίες υψηλότερες των 27°C.

Η μεταβολή του BOD_5 με τον χρόνο δίνεται από την σχέση:

$$BOD_t = y_t = L - L_t = L (1 - 10^{-Kt})$$

Όπου L : αρχική, ολική τιμή BOD

L_t : BOD που παραμένει στο πέρας των t ημερών

K [day]⁻¹: σταθερά εξαρτώμενη από το είδος του λύματος συνήθως 0,1[day]⁻¹

Η επίδραση της τιμής της σταθεράς K στην μεταβολή του BOD παρουσιάζεται στο Διάγραμμα A.1 που ακολουθεί.

Διάγραμμα A.1: Η επίδραση της τιμής της σταθεράς K στη μεταβολή του BOD με τον χρόνο.

2. COD - ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

(Chemical Oxygen Demand)

Όπως και το προηγούμενο τεστ χρησιμοποιείται τόσο για λύματα όσο και για επιφανειακά ύδατα. Το ισοδύναμο οξυγόνο της οργανικής ύλης που μπορεί να οξειδωθεί μετρείται χρησιμοποιώντας ένα ισχυρό χημικό οξειδωτικό αντιδραστήριο σε ένα όξινο μέσο. Έχει βρεθεί ότι κατάλληλο για αυτή τη

χρήση είναι το διχρωμικό κάλιο. Η οξειδωση λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία βρασμού παρουσία θειούχου αργύρου ως καταλύτη σε χρονικό διάστημα δύο ωρών. Ο προσδιορισμός του **COD** πρέπει να γίνεται μαζί με τον προσδιορισμό του **BOD₅** αφού με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζονται οι μη βιοδιασπόμενες οργανικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη. Επίσης η χρήση του COD τεστ είναι χρήσιμη όταν τοξικοί ρυπαντές βρίσκονται στα λύματα εμποδίζοντας τη δράση των μικροοργανισμών. Η τιμή του COD είναι μεγαλύτερη αυτής του BOD₅ για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Για τους περισσότερους τύπους λυμάτων υπάρχει σχέση μεταξύ COD και BOD₅ κάτι που μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο μετά τον αρχικό προσδιορισμό και τον δύο, αφού ο προσδιορισμός του COD απαιτεί λιγότερο χρόνο 3 ωρών σε σχέση με τις 5 ημέρες που απαιτεί το τεστ του BOD₅.

3. TOD - ΟΛΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

(Total Oxygen Demand)

Σε αυτό το τεστ οι οργανικές ενώσεις κυρίως και σε μικρότερο ποσοστό οι ανόργανες ουσίες μετατρέπονται σε σταθερά τελικά προϊόντα μέσα σε θάλαμο καύσης χρησιμοποιώντας ως καταλύτη πλατίνα. Το TOD καθορίζεται από την καταγραφή του περιεχόμενου οξυγόνου σε ρεύμα αζώτου. Αυτό το τεστ εκτελείται γρήγορα και μπορεί να συσχετιστεί με το COD.

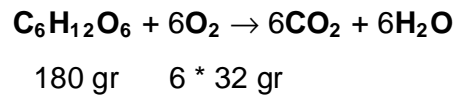
Ο καθορισμός των σταθερών σχέσεων μεταξύ των διάφορων μετρήσεων του οργανικού περιεχομένου εξαρτάται κυρίως από τη φύση του λύματος και την πηγή του. Γενική συσχέτιση των διαφόρων μετρήσεων φαίνεται στο Διάγραμμα Α.2 που ακολουθεί.

Το πιο δύσκολο να συσχετιστεί με τα υπόλοιπα είναι το BOD₅ τεστ. Για τυπικά ακατέργαστα οικιακά λύματα ο λόγος (BOD₅)/(COD) κυμαίνεται μεταξύ του 0.4 και 0.8, ενώ ο λόγος (BOD₅)/(TOD) κυμαίνεται μεταξύ του 1.0 και 1.6.

4. ThOD - ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ

(Theoretical Oxygen Demand)

Είναι το οξυγόνο που απαιτείται θεωρητικά για την οξείδωση κάποιας οργανικής ουσίας. Ο υπολογισμός της γίνεται από τον μοριακό τύπο της ουσίας αυτής. Για τη γλυκόζη π.χ. το ThOD είναι:

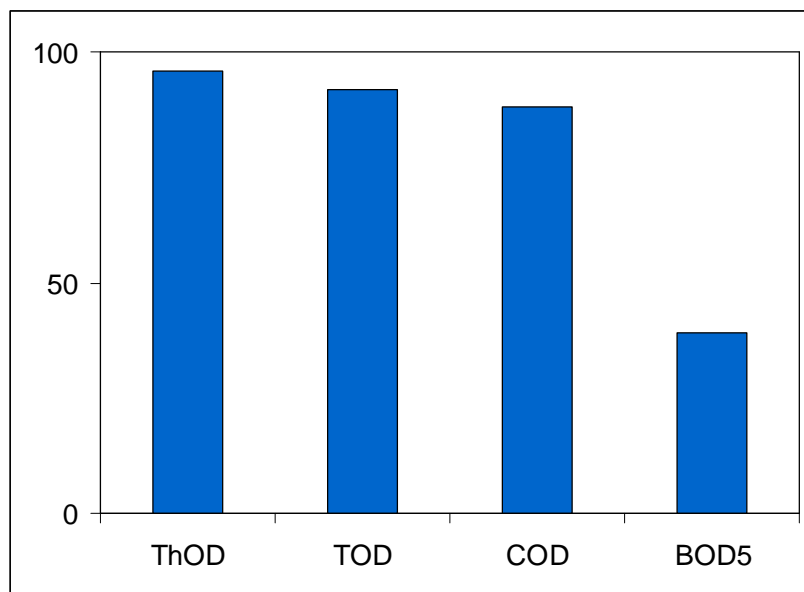


ThOD = 192 gr/mole γλυκόζης

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι για ένα συγκεκριμένο απόβλητο ισχύει:

$$\mathbf{BOD_5 < BOD_L < TOD < ThOD}$$

Αυτό φαίνεται και στο Διάγραμμα A.2 που ακολουθεί:



Διάγραμμα A.2: συσχέτιση οργανικών περιεχομένων αποβλήτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄
8.6

Στο Παράρτημα Β΄ παρουσιάζονται τα Διαγράμματα Β.1 έως Β.12 που δείχνουν την εξάρτηση της σχετικής συχνότητας F της αναμενόμενης ημερήσιας παραγωγής βιομάζας P από το χρόνο παραμονής στην δεξαμενή HRAP για κάθε μήνα του χρόνου αντίστοιχα (με προσομοίωση Monte Carlo για δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας στο Νότιο Αιγαίο).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄

Στο Παράρτημα Γ' γίνεται αναφορά κάποιων μονάδων που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εργασία καθώς και οι δεκαδικές υποδιαιρέσεις και τα δεκαδικά πολλαπλάσια που χρησιμοποιούνται στις μονάδες γενικά.

- $1 \text{ Quad} = 1 \times 10^{16} \text{ Btus}$
- $1 \text{ Btu} = 1.055 \times 10^3 \text{ Joule}$
- $1 \text{ Joule} = 1 \text{ kg} \times \text{m}^2 / \text{sec}^2 \quad [\text{S.I.}]$
- $1 \text{ Joule} = 0,2389 \text{ cal}$
- $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ Joule}$
- $1 \text{ GJ} = 1 \times 10^9 \text{ Joule}$
- $1 \text{ PJ} = 1 \times 10^{15} \text{ Joule}$
- $1 \text{ EJ} = 1 \times 10^{18} \text{ Joule}$
- $1 \text{ kWh} = 3.600 \times 10^6 \text{ Joule}$
- $1 \text{ Watt} = 1 \text{ J} / \text{sec} = 1 \text{ kg} \times \text{m}^2 / \text{sec}^3 \quad [\text{S.I.}]$
- $1 \text{ TWh} = 1 \times 10^{12} \text{ Wh}$
- $1 \text{ pkWh} = 1 \times 10^{-12} \text{ kWh}$
- $1 \text{ ha (εκτάριο)} = 1.000 \text{ στρέμμα}$
- $1 \text{ στρέμμα} = 1.000 \text{ m}^3$
- $1 \text{ T (τόνος)} = 1.000 \text{ kg}$
- $1 \text{ ft} = 30,48 \text{ cm}$
- $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$

I Επίσης σημειώνεται ότι η νομισματική αναλογία είναι:

$1 \text{ ευρώ} = 340,75 \text{ δραχμές}$

ΔΥΝΑΜΗ	ΠΡΟΘΕΜΑ (διεθνές)	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ
10^{-18}	atto	a
10^{-15}	fento	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	milli	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^1	deka	da
10^2	hecto	h
10^3	kilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Renewable energy: power for a sustainable future**, edited by Godfrey Boyle, Oxford University Press, 1996
2. **Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου Για Τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας**, Θεσσαλονίκη. Τόμος Β΄
3. Πτυχιακή Εργασία Με Θέμα: **Σχεδιασμός Διεργασιών Αντιρρύπανσης**, Των Σπουδαστών Γκίκα Νικολάου, Ζαλώνη Ιάκωβου Και Ηλιοπούλου Αλεξάνδρας, Πάτρα 2002
4. **Πρακτικά Συζήτησης Στρογγυλής Τράπεζας & Ημερίδας Του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)**
5. **Πρακτικά Διημερίδας: "Δυνατότητες συμβολής της Βιομάζας στη γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας" (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)**
6. Ενημερωτικό Φυλλάδιο Της **Ελληνικής Εταιρείας Βιομάζας**: "Η συμβολή σου στην προστασία του περιβάλλοντος - Συστήματα θέρμανσης με καύση ξύλου"
7. Εφημερίδα **"Αγγελιοφόρος"** Αρ. φύλλου 36 (45), Οκτώβριος 2001
8. Περιοδικό **"ΒΗΜΑΓΑΖΙΝΟ"** αριθμός 69, 3 Φεβρουαρίου 2002
9. <http://www.nrel.gov/research>
10. http://www.teihan.gr/ape_new/general/ikonomikanf.htm
11. <http://bioenergy.ornl.gov/>
12. <http://www.ambiente-ecologico.com>

13. <http://www.energyproducts.com/>