

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ-ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΟΡΓΑΝΩΣΗ &amp; ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

597

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ  
ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ



00140599

ΜΑΚΡΙΝΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2000

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ.ΕΙΣ.	40599.
ΣΕΜΦ.	24242 à 2276
ΤΑΞ.	333.953.9 ΜΑ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
&  
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

1.5 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
<b>2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b> .....	<b>11</b>
2.1 ΒΙΟΜΑΖΑ – ΜΙΑ ΤΕΡΑΣΤΙΑ ΑΠΟΘΗΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	11
2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	13
2.2.1 Καύση.....	15
2.2.1.1 Καυστήρες.....	18
2.2.1.2 Αποτεφρωτήρες αστικών απορριμμάτων.....	19
2.2.2 Αεριοποίηση.....	21
2.2.3 Πυρόλυση.....	24
2.2.4 Αέριο σύνθεσης.....	27
2.2.5 Αναερόβια χώνευση.....	28
2.2.5.1 Βιοαέριο.....	28
2.2.5.2 Αέριο Χωματερής.....	29
2.2.6 Ζύμωση.....	31
2.3 ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	34
2.3.1 Θέρμανση χώρων.....	34
2.3.1.1 Σύστημα καύσης.....	34
2.3.1.2 Σύστημα διανομής θερμότητας.....	36
2.3.1.3 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	37
2.3.2 Παραγωγή ηλεκτρισμού από αεριοστρόβιλους.....	37
2.3.3 Παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση.....	38
2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	39
2.4.1 Ενέργεια από αεριοστρόβιλους.....	39
2.4.2 Κυψέλες καυσίμου από βιομάζα.....	40
2.4.3 Παραγωγή καυσίμου με φωτοβιολογικό τρόπο.....	41
2.5 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	42
2.5.1 Υπολείμματα ξυλείας.....	43
2.5.2 Γεωργικά υπολείμματα.....	45
2.5.3 Ζωικά απόβλητα.....	48
2.5.4 Αστικά απορρίμματα.....	50
2.5.5 Ενεργειακές καλλιέργειες.....	51
2.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	54
2.6.1 Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας.....	56
2.6.2 Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας.....	58
2.6.3 Τεχνολογικό δυναμικό βιομάζας.....	59
2.6.4 Οικονομικό δυναμικό βιομάζας.....	60
<b>3. ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ</b> .....	<b>61</b>
3.1. ΣΤΟΧΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	61
3.2 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	62

3.2.1 Καταγραφή χρήσεων γης.....	63
3.2.2 Καταγραφή βιολογικών συστημάτων .....	64
3.2.3 Καταγραφή της προσφερόμενης βιομάζας.....	65
3.2.4 Καταγραφή της τεχνολογικά αξιοποιήσιμης βιομάζας .....	66
3.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	67
3.3.1 Πηγές πληροφοριών .....	67
3.3.2 Συγκεντρωθέντα στοιχεία.....	67
3.4 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	69
3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	70
3.5.1 Προσδιορισμός οικιστικής γης .....	70
3.5.2 Προσδιορισμός γεωργικής γης .....	71
3.5.3 Προσδιορισμός δασικής γης.....	72
3.5.4 Προσδιορισμός κτηνοτροφικής γης.....	74
3.6 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ .....	74
3.6.1 Τύποι βιομάζας.....	74
3.6.2 Προσδιορισμός του θεωρητικού δυναμικού.....	76
3.6.3 Προσδιορισμός του διαθέσιμου δυναμικού.....	77
3.6.4 Προσδιορισμός του τεχνολογικού δυναμικού.....	78
<b>4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....</b>	<b>79</b>
4.1 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	80
4.1.1 Δομή των πινάκων .....	82
4.1.2 Επικοινωνία μεταξύ των πινάκων.....	88
4.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	93
4.2.1 Χρήσεις γης.....	93
4.2.2 Δυναμικό βιομάζας.....	94
4.2.3 Τεχνολογική αξιοποίηση βιομάζας.....	94
<b>5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>95</b>
5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....	95
5.2 ΑΣΤΙΚΗ ΓΗ.....	97
5.2.1 Κατανομή πληθυσμού.....	97
5.2.2 Παραγωγή αστικών απορριμμάτων .....	99
5.2.3 Παραγωγή αστικών λυμάτων .....	101
5.3 ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΓΗ.....	102
5.3.1 Κατανομή καλλιεργήσιμης γης.....	102
5.3.2 Στρεμματικές αποδόσεις καλλιεργειών .....	103
5.3.3 Παραγόμενη και διαθέσιμη βιομάζα.....	105
5.4 ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗ ΓΗ.....	111

## ΠΙΝΑΚΕΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

---

5.4.1 Κατανομή πληθυσμού.....	111
5.4.2 Δυναμικό κτηνοτροφίας.....	113
5.5 ΔΑΣΙΚΗ ΓΗ.....	115
5.5.1 Κατανομή δασικών ειδών.....	115
5.5.2 Δυναμικό βιομάζας από δασική ύλη.....	117
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	119
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

*Πίνακες*

Πίνακας 1. Ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κράτη-μέλη της Ε.Ε. (πηγή EUROSTAT).....	6
Πίνακας 2. Σημερινή κατάσταση και προοπτικές των ΑΠΕ στην Ελλάδα [8].....	8
Πίνακας 3. Μέσο ενεργειακό περιεχόμενο καυσίμων.....	12
Πίνακας 4. Μέση σύσταση RDF [12].....	16
Πίνακας 5. Κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αεριοποίησης.....	24
Πίνακας 6. Αποδόσεις αιθανόλης.....	32
Πίνακας 7. Ορισμοί των σημαντικότερων γεωργικών υπολειμμάτων.....	47
Πίνακας 8. Σύσταση αστικών απορριμμάτων.....	51
Πίνακας 9. Ετήσια απόδοση διάφορων καλλιεργειών.....	52
Πίνακας 10. Δυναμικό βιομάζας για την προμήθεια ενέργειας για το 2050.....	55
Πίνακας 11. Προσδιορισμός της διαθέσιμης βιομάζας.....	62
Πίνακας 12. Προσδιορισμός των χρήσεων γης.....	63
Πίνακας 13. Βιολογικά συστήματα ανά κατηγορία.....	64
Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες των υπολειμμάτων.....	66
Πίνακας 15. Απαραίτητα τεχνολογικά δεδομένα.....	66
Πίνακας 16. Κατάλογος διαθέσιμων δεδομένων.....	68
Πίνακας 17. Πληροφορίες του δασικού χάρτη.....	72
Πίνακας 18. Τύποι υπολειμμάτων ανά βιολογικό πόρο.....	75
Πίνακας 19. Πίνακες της βάσης δεδομένων.....	80
Πίνακας 20. Περιγραφή των πινάκων της βάσης.....	82
Πίνακας 21. Περιγραφή συνδέσεων μεταξύ των πινάκων της βάσης.....	89
Πίνακας 22. Ποσότητες απορριμμάτων και ενεργειακό περιεχόμενο στο σύνολο της Ελλάδας.....	100
Πίνακας 23. Παραγόμενα απορρίμματα από τους μεγαλύτερους Δήμους.....	100
Πίνακας 24. Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες σιτηρών.....	106
Πίνακας 25. Χαρακτηριστικά κλαδεμάτων & ελαιοπυρήνα.....	108
Πίνακας 26. Συνολικά παραγόμενα γεωργικά υπολείμματα και ενεργειακό περιεχόμενο ..	110
Πίνακας 27. Χαρακτηριστικά ζωικών υπολειμμάτων.....	114

Σχήματα

Σχήμα 1. Εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (1992) [1].....	3
Σχήμα 2. Θερμοχημικές διεργασίες αξιοποίησης της βιομάζας.....	14
Σχήμα 3. Τεμάχια συμπυκνωμένου RDF.....	17
Σχήμα 4. Καυστήρας σταθερής κλίνης.....	18
Σχήμα 5. Καύση των αστικών απορριμμάτων στις Ευρωπαϊκές χώρες.....	20
Σχήμα 6. Σύστημα αεριοποίησης της βιομάζας.....	22
Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής πυρολιτικής διεργασίας.....	25
Σχήμα 8. Διεργασίες και προϊόντα από την ταχεία πυρόλυση της βιομάζας.....	26
Σχήμα 9. Σύστημα περισυλλογής του παραγόμενου αερίου σε χωματερή [18].....	30
Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής παραγωγής αιθανόλης από ταπίοκα [22].....	32
Σχήμα 11. Τυπική μονάδα θέρμανσης με βιομάζα για οικιακή χρήση.....	34
Σχήμα 12. Μικρής κλίμακας καυστήρας εμπορικού συστήματος τηλεθέρμανσης.....	35
Σχήμα 13. Ολοκληρωμένο σύστημα βιομάζας – αεριοστροβίλου με ψεκάσμο ατμού.....	38
Σχήμα 14. Αυτοματοποιημένη κοπή και συλλογή δασικής ύλης.....	43
Σχήμα 15. Μονάδα παραγωγής ατμού με καυστήρα ξύλου.....	44
Σχήμα 16. Υπολείμματα δασικών προϊόντων.....	45
Σχήμα 17. Υπολείμματα γεωργικών προϊόντων.....	47
Σχήμα 18. Υπολείμματα κτηνοτροφικών προϊόντων.....	50
Σχήμα 19. Αλγόριθμος προσδιορισμού της οικιστικής γης.....	71
Σχήμα 20. Αρχική μορφή του δασικού χάρτη.....	73
Σχήμα 21. Αλγόριθμος προσδιορισμού του θεωρητικού δυναμικού.....	76
Σχήμα 22. Αλγόριθμος προσδιορισμού του διαθέσιμου δυναμικού.....	77
Σχήμα 23. Αλγόριθμος προσδιορισμού του τεχνολογικού δυναμικού.....	78
Σχήμα 24. Κατανομή χρήσεων γης ανά Νομό.....	96
Σχήμα 25. Μεταβολή του πληθυσμού στην περιοχή της πρωτεύουσας.....	98
Σχήμα 26. Κατανομή του πληθυσμού ανά Νομό.....	99
Σχήμα 27. Παραγόμενα απορρίμματα και περιεχόμενη ενέργεια.....	101
Σχήμα 28. Κατανομή γεωργικών καλλιιεργειών.....	103
Σχήμα 29. Καλλιιεργούμενες εκτάσεις σιτηρών για το σύνολο της χώρας.....	104
Σχήμα 30. Στρεμματική απόδοση βρώμης.....	105

Σχήμα 31. Ποσότητες αχύρου σιτηρών.....	106
Σχήμα 32. Κατανομή διαθέσιμου άχυρου σιτηρών ανά τύπο καλλιέργειας.....	107
Σχήμα 33. Ενεργειακή πυκνότητα από το παραγόμενο άχυρο των σιτηρών.....	107
Σχήμα 34. Κατανομή της διαθέσιμης ενέργειας από τις δενδρώδεις καλλιέργειες .....	109
Σχήμα 35. Υπολείμματα ελιάς και διαθέσιμη ενέργεια.....	110
Σχήμα 36. Κατανομή του συνολικού ενεργειακού περιεχομένου υπολειμμάτων .....	111
Σχήμα 37. Κατανομή του πληθυσμού των ζώων.....	112
Σχήμα 38. Πυκνότητα πληθυσμού πουλερικών.....	113
Σχήμα 39. Διαθέσιμη βιομάζα από το σύνολο των ζώων πλην των αγελάδων .....	114
Σχήμα 40. Διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας από αγελάδες.....	115
Σχήμα 41. Κατανομή κωνοφόρων δέντρων.....	116
Σχήμα 42. Κατανομή πλατύφυλλων δέντρων.....	117
Σχήμα 43. Κατανομή θεωρητικής και διαθέσιμης βιομάζας από πεύκη.....	118

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Από τη θέση αυτή, θεωρώ υποχρέωση μου να απευθύνω ένα θερμό ευχαριστώ προς όλους εκείνους τους ανθρώπους, οι οποίοι δεν σταμάτησαν να με υποστηρίζουν, ενισχύουν και παροτρύνουν να φέρω σε πέρας την παρούσα εργασία, με την οποία κλείνει ένας διετής κύκλος προσπάθειας για την ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή, κ. Διονύση Ασημακόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας εργασίας. Η υποστήριξη του, τόσο σε επιστημονικό όσο και σε ανθρώπινο επίπεδο ήταν συνεχής και καθοριστική για να ξεπεράσω όσα προβλήματα προέκυψαν κατά την περίοδο των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να γνωρίσω από πιο κοντά το χώρο της έρευνας που διενεργείται στα πανεπιστημιακά ιδρύματα, μέσω της συνεργασίας που μου πρότεινε.

Ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να κάνω στον Καθηγητή, κ. Εμμανουήλ Κούκιο, για την επιστημονική και υλική υποστήριξη της προσπάθειας αυτής. Επίσης ευχαριστώ πολύ και όλα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας ΒΙΟΤΟΠΟΣ που δραστηριοποιείται υπό την επίβλεψη του για την παροχή πολύτιμου επιστημονικού υλικού για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας, και κυρίως τους Δημοσθένη Βοϊβόντα, Γεώργιο Αραμπατζή, Μαρίνα Λάτσα, και Ελίνα Μανώλη για την πολύτιμη βοήθειά τους τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο. Επίσης απευθύνω ένα

μεγάλο ευχαριστώ στους συμφοιτητές μου Χάρη Δεμερτζή και Σταμάτη Καλλίγερο για την συνεχή συμπαράσταση τους τα δύο χρόνια που διήρκησε το μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη ΔΕΠ που βοήθησαν στη δημιουργία και τη λειτουργία του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού προγράμματος, προσφέροντας την ευκαιρία για μεταπτυχιακές σπουδές στην Ελλάδα.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Χαρακτηριστικό των σύγχρονων κοινωνιών είναι η εκτεταμένη χρήση της ενέργειας. Ωστόσο, πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν ως αφετηρία την υπερβολική χρήση ενέργειας. Έτσι έχει αρχίσει εκστρατεία για την προώθηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, οι οποίες είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον. Επιπλέον όμως παρουσιάζουν και το πλεονέκτημα της συνεχούς ανανέωσιμης, δεδομένου ότι πρόκειται για ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο.

Σε αυτά τα πλαίσια, στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια προσδιορισμού του ενεργειακού δυναμικού που προκύπτει από τη βιομάζα. Με τον όρο αυτό καλύπτεται το σύνολο των απορριμμάτων και αποβλήτων του ανθρώπου και των ζώων, αλλά και τα παραπροϊόντα της δασικής και γεωργικής γης. Για το σκοπό αυτό δημιουργείται βάση δεδομένων, για τον προσδιορισμό του θεωρητικού και διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας. Ταυτόχρονα, ο χρήστης μπορεί να αντλήσει πληροφορίες για την εξέλιξη της τεχνολογίας στο χώρο της βιομάζας.

Από τη μελέτη που έγινε για την Ελλάδα προέκυψαν ότι υπάρχουν σημαντικά αποθέματα ενέργειας, τα οποία όμως ακόμα δεν αξιοποιούνται στο βαθμό που θα έπρεπε. Οι λόγοι είναι κυρίως οικονομικοί, αλλά ενισχύονται από την ελλιπή ενημέρωση για τα οφέλη που προσφέρει η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Η εκτεταμένη χρήση των στερεών συμβατικών αλλά και πυρηνικών καυσίμων είναι από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των σύγχρονων βιομηχανικών κοινωνιών. Η ενέργεια θεωρείται η βάση της ανάπτυξης, διανομής και επεξεργασίας της τροφής, των επικοινωνιών, των κατασκευών και των μεταφορών. Η εκμετάλλευση της ενέργειας δεν αποτελεί όμως αποκλειστικό χαρακτηριστικό ούτε των εκβιομηχανισμένων κοινωνιών, ούτε των τελευταίων αιώνων.

Η δύναμη που αποδίδεται από την αξιοποίηση της ενέργειας ήταν γνωστή από χιλιάδες χρόνια. Η φωτιά, αρχικά, χρησιμοποιήθηκε για θέρμανση, φωτισμό και μαγείρεμα, ενώ αργότερα η χρήση της επεκτάθηκε στην εξόρυξη και την κατεργασία μετάλλων, όπως ο χαλκός και ο σίδηρος, ή για την κατασκευή κεραμικών. Η ισχύς των ζώων αξιοποιήθηκε για τις μεταφορές και τη γεωργία, ενώ ο άνεμος ήταν για αιώνες η κινητήριος δύναμη για τις μεταφορές με πλοία. Το ξύλο, ο άνεμος, τα ζώα και το νερό αποτέλεσαν τις μοναδικές πηγές ενέργειας πάνω στις οποίες στήριζαν την ανάπτυξή τους πολιτισμοί και κοινωνικές δομές, για ολόκληρους αιώνες [1].

Η Βιομηχανική Επανάσταση έφερε τη μεγάλη αλλαγή στην εξάρτιση των κοινωνιών από την ενέργεια. Ο συνδυασμός της εξόρυξης του κάρβουνου για καύσιμο, της

ανάπτυξης της μεταλλουργίας για την παραγωγή μηχανών και η δημιουργία ατμομηχανών για τις μεταφορές αποτέλεσε τη βάση με την οποία τροφοδοτήθηκε η εκβιομηχάνιση. Ο 20<sup>ος</sup> αιώνας χαρακτηρίστηκε από σημαντικές αλλαγές στη δομή των κοινωνιών, με σημαντικότερη, ίσως, την εξάρτηση που προκλήθηκε από την ενέργεια. Ο ηλεκτρισμός, οι μηχανές εσωτερικής καύσης, τα υγρά και αέρια καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια ήταν από τα σημαντικότερα επιτεύγματα του αιώνα. Αποτέλεσμα των προηγούμενων τεχνολογικών ανακαλύψεων ήταν η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας. Παράλληλα αναπτύχθηκαν οι επικοινωνίες, οι υπηρεσίες προώθησης της πληροφορίας και άλλες οικονομικές δραστηριότητες, οι οποίες τελικά έκαναν ακόμα μεγαλύτερες τις απαιτήσεις των σύγχρονων κοινωνιών για ενέργεια.

Ωστόσο τις τελευταίες δεκαετίες, και ιδιαίτερα μετά το 1970, αναγνωρίστηκε ότι η βιομηχανοποίηση προκάλεσε και εξακολουθεί ακόμα να δημιουργεί σημαντικές αλλοιώσεις στο περιβάλλον, ιδιαίτερα λόγω της αυξημένης κατανάλωσης καυσίμων. Ταυτόχρονα για πρώτη φορά ο όρος "ενεργειακή κρίση" έκανε την εμφάνισή του. Η σημερινή τεχνολογία, όμως, καθιστά εφικτή την ουσιαστικότερη εκμετάλλευση των προσφερόμενων ενεργειακών πόρων, ενώ παράλληλα υπάρχουν πλέον οικονομικές μέθοδοι για την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ευρύτερη κλίμακα.

## **1.2 Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση**

Το 1980 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας κυμαίνονταν στους 7,073 ΜΤΟΕ ενώ το 1995 έφτασε τους 8,967 ΜΤΟΕ, σημείωσε δηλαδή ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 23 % περίπου [2]. Στα μεγέθη αυτά περιλαμβάνεται και η κατανάλωση "παραδοσιακών" καυσίμων, τα οποία ανέρχονται στο 14% του παγκόσμιου συνόλου. Αντίστοιχη αύξηση που σημειώθηκε στις εκπομπές CO<sub>2</sub> ήταν 14%.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται τα μερίδια της κάθε μορφής ενέργειας που χρησιμοποιείται, όπως είχε διαμορφωθεί στις αρχές της δεκαετίας του 90. Το πετρέλαιο (33 %) και ο άνθρακας (23 %) εξακολουθούν να κατέχουν τις πρώτες θέσεις, ωστόσο το μερίδιό τους περιορίζεται σταδιακά λόγω της εξάπλωσης της χρήσης του φυσικού αερίου (19%). Η υδροηλεκτρική και πυρηνική ενέργεια αποτελούν ένα μικρό ποσοστό, που δεν ξεπερνά το 12 %, ενώ η βιομάζα κατέχει το υπόλοιπο μερίδιο (14 %). Η τελευταία εξακολουθεί να αποτελεί κυρίαρχο καύσιμο, είτε με την παραδοσιακή του μορφή, είτε μέσω της αξιοποίησής της στις πλέον σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές.



Σχήμα 1. Εκτιμώμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (1992) [1]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας στον κόσμο. Το 1996, η καταναλισκόμενη ενέργεια στην Ε.Ε. έφτασε περίπου το 15 % του παγκόσμιου συνόλου, όταν ο πληθυσμός της, 373 εκατομμύρια, έφτανε μόλις το 6.5 % του παγκόσμιου πληθυσμού. Σε απόλυτα μεγέθη, η κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε. ήταν 1.417 ΜΤΟΕ, από τα οποία μόλις το 5.3 % καλύπτεται από ανανεώσιμες μορφές ενέργειας [2].

Την ίδια περίοδο, η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα σημείωσε αύξηση της τάξης του 27 %, φτάνοντας τους 25.4 ΜΤΟΕ το 1996. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά κάτοικο ανέρχονται σε 7,8 t/κάτοικο, όταν το αντίστοιχο μέγεθος για την Ε.Ε. φτάνει τους 8,4t/κάτοικο, ενώ σε παγκόσμια κλίμακα είναι μόλις 3.8 t/κάτοικο [2].

### 1.3 Προβλήματα από την κατανάλωση ενέργειας

#### 1.3.1 Εκπομπές CO<sub>2</sub>

Η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση συμβατικών μορφών ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα την συνεχή παραγωγή CO<sub>2</sub>, το οποίο σχηματίζεται από κάθε διεργασία καύσης. Το CO<sub>2</sub>, όπως επίσης το μεθάνιο, οι υδρατμοί, οι χλωριωμένοι

υδρογονάνθρακες και άλλες μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις δεν επιτρέπουν στην ακτινοβολία που αποβάλλει η γη να φύγει στο διάστημα, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση ενέργειας, η οποία επηρεάζει αναπόφευκτα τις κλιματολογικές συνθήκες [3]. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 0,3 °C περίπου ανά δεκαετία.

Για τον περιορισμό των εκπομπών του CO<sub>2</sub> έχουν δραστηριοποιηθεί φορείς σε όλα τα επίπεδα εξουσίας. Από οικολογικές οργανώσεις μέχρι κυβερνητικά κλιμάκια έχουν προσπαθήσει να βρουν τρόπους για τον περιορισμό των εκπομπών και την εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η προσπάθεια κορυφώθηκε με το πρωτοκόλλο του Κιότο [4], όπου τα κράτη που μετείχαν, δεσμεύτηκαν να λάβουν μεταξύ άλλων όλα τα απαραίτητα μέτρα για:

- τη βελτιστοποίηση της χρήσης της ενέργειας σε όλους τους τομείς της οικονομίας, και
- τον περιορισμό των εκπεμπόμενων αερίων του "θερμοκηπίου", σε όλους τους τομείς κατανάλωσης ενέργειας

Με τη διακρατική συμφωνία του Κιότο τέθηκαν συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια μέσα στα οποία τα κράτη που υπέγραψαν, πρέπει να δείξουν αποτελέσματα συμβατά με τα συμφωνηθέντα.

### 1.3.2 Όξινη Βροχή

Το πρόβλημα της όξινης βροχής συνδέεται άμεσα με τις εκπομπές οξειδίων του θείου και του αζώτου, από την καύση κυρίως ορυκτών καυσίμων. Η παρουσία των οξειδίων αυτών στην ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με την υπάρχουσα υγρασία προκαλεί το σχηματισμό των αντίστοιχων οξέων. Αυτά τελικά κατακρημνίζονται μέσω των βροχοπτώσεων και καταστρέφουν τη χλωρίδα αλλά προκαλούν και σημαντικές αλλοιώσεις σε κτήρια και μεταλλικές κατασκευές.

Η όξινη βροχή μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας βελτιωμένα καύσιμα απαλλαγμένα από θείο ή προσθέτοντας στις μονάδες καύσης τον κατάλληλο εξοπλισμό απορρύπανσης των καυσαερίων. Ωστόσο, η προσθήκη μηχανισμών απορρύπανσης στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μειώνουν το βαθμό απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Το πρόβλημα μπορεί επίσης να αντιμετωπιστεί με χρήση εναλλακτικών καυσίμων, ουσιαστικά φιλικότερων προς το περιβάλλον [1].



### 1.3.3 Επάρκεια ενεργειακών πόρων

Η αμφιβολία για την επάρκεια ενεργειακών πόρων ξεκίνησε με την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973. Οι χώρες του OPEC για πρώτη φορά εφάρμοσαν ενιαία τιμολογιακή πολιτική, με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των τιμών των καυσίμων. Οι μελέτες της περιόδου εκείνης έδειχναν ότι τα αποθέματα πετρελαίου εξαντλούνταν, οπότε επικράτησε η λογική του περιορισμού της κατανάλωσης με τον τρόπο αυτό.

Σήμερα, το πρόβλημα της ανεπάρκειας καυσίμων δεν υφίσταται, τουλάχιστον όχι υπό την έννοια της εξάντλησης των αποθεμάτων [1]. Οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν πλέον την αξιοποίηση αποθεμάτων που πριν από δύο δεκαετίες θεωρούνταν απροσπέλαστα ή ήταν παντελώς άγνωστα. Περισσότερο από όλα προβληματίζει το γεγονός της οικονομικής εξάρτησης που προκαλεί η εισαγωγή ορυκτών καυσίμων από τις παραγωγούς χώρες.

### 1.4 Η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Για την ικανοποίηση των σύγχρονων ενεργειακών απαιτήσεων έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, τα οποία ταυτόχρονα στοχεύουν στη διατήρηση του φυσικού πλούτου και περιβάλλοντος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει πλέον την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τέτοιο βαθμό, ώστε σημαντικά ποσοστά από τις ενεργειακές ανάγκες σε παγκόσμια κλίμακα να καλύπτονται με αυτό τον τρόπο. Συνοπτικά, τα σημαντικότερα οφέλη από τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εντοπίζονται σε [5]:

- **Περιβαλλοντικά οφέλη:** Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό των επιπτώσεων στον αέρα, το νερό και τα οικοσυστήματα που προκαλούν τα συμβατικά καύσιμα.
- **Οικονομικά οφέλη:** Η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα μιας χώρας συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη των κρατών, βοηθούν την προστασία του περιβάλλοντος και συμβάλλουν στην απεξάρτηση από τις εισαγωγές συμβατικών καυσίμων.

- **Κοινωνικά οφέλη:** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, λόγω της στροφής της εφαρμογής της έρευνας προς την κατεύθυνση αυτή. Επιπλέον, απαλλάσσουν την κοινωνία από τις συνέπειες που προκαλεί η υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης παραμένει χαμηλή, παρόλο που αφενός το υπάρχον δυναμικό είναι αξιόλογο, και αφετέρου υπάρχουν οι τεχνολογικές δυνατότητες για την αξιοποίησή τους. Σήμερα μόνο το 5.3 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [2]. Το ποσοστό αυτό είναι χαμηλό σε σχέση με τους στόχους που έχουν τεθεί από τη “Λευκή Βίβλο”. Μέχρι το 2010, αναμένεται ο διπλασιασμός της συνεισφοράς από ανανεώσιμες πηγές στο ενεργειακό σύστημα της Ε.Ε. Ο βαθμός διείσδυσης των ΑΠΕ ποικίλλει από χώρα σε χώρα (Πίνακας 1), κυρίως λόγω των διαφορών που παρουσιάζονται στις γεωγραφικές και κλιματολογικές συνθήκες, αλλά και στις εθνικές προτεραιότητες που θέτουν τα κράτη-μέλη. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ΑΠΕ είναι σημαντικές και επιτρέπουν πλέον οικονομικά βιώσιμες επενδύσεις σε ενεργειακές εφαρμογές τόσο σε περιφερειακό όσο και τοπικό επίπεδο [6].

Πίνακας 1. Ποσοστό διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κράτη-μέλη της Ε.Ε. (πηγή EUROSTAT)

Χώρα	1990	1994
Αυστρία	22.1	24.1
Βέλγιο	1.0	0.8
Γαλλία	6.4	7.2
Γερμανία	1.7	1.9
Δανία	6.3	7.0
Ελλάδα	7.1	7.2
Ιρλανδία	1.6	2.2
Ισπανία	6.7	6.2
Ιταλία	5.3	6.4
Λουξεμβούργο	1.3	1.3
Μεγ. Βρετανία	0.5	0.6
Ολλανδία	1.3	1.4
Πορτογαλία	17.6	17.5
Σουηδία	24.7	24.0
Φινλανδία	18.9	19.3
Ευρωπαϊκή Ένωση	5.0	5.4

Με βάση τη “Λευκή Βίβλο” για τις ΑΠΕ, η βιοενέργεια καλείται να παίζει πρωταρχικό ρόλο στη σχεδιαζόμενη αναδιοργάνωση του ενεργειακού συστήματος μέχρι το 2010. Για το σύνολο της Ε.Ε. μέχρι το 2010, η παραγόμενη ενέργεια από βιομάζα αναμένεται να φτάσει τους 135 ΜΤΟΕ, ποσοστό που θα καλύπτει το 8.5 % της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας, ενώ το μερίδιό της σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας θα φτάσει το 74 %, σε σχέση με το 60 % που ήταν το 1995 [7].

#### 1.4.1 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του πίνακα 1, το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα κυμαίνεται στο 7.2 % (στοιχεία 1994, EUROSTAT). Μέχρι τότε η αξιοποίηση και η χρήση των ΑΠΕ περιορίστηκε:

- στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από πρωτοβουλίες της ΔΕΗ, με μικρά υδροηλεκτρικά έργα, αιολικά και κάποια φωτοβολταϊκά πάρκα σε απομονωμένες περιοχές,
- στην παραγωγή θερμότητας από βιομάζα σε αγροτικές περιοχές της χώρας, και
- στη διαδεδομένη θέρμανση νερού από ηλιακούς συλλέκτες.

Από τότε μέχρι σήμερα έχει διαμορφωθεί το κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους επενδυτές να προχωρήσουν στη δημιουργία μονάδων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ προσφέροντας φορολογικά και επενδυτικά κίνητρα.

Οι προοπτικές για την Ελλάδα, όπως καθορίζονται με βάση τη “Λευκή Βίβλο” προβλέπουν αύξηση του ποσοστού συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα. Συγκεκριμένα μέχρι το 2005 αναμένεται διπλασιασμός της ισχύουσας κατάστασης ενώ για το 2010 το ποσοστό θα τριπλασιαστεί. Παράλληλα, αναμένεται ότι μέχρι το 2005 το φυσικό αέριο θα καλύπτει το 10 % της ζήτησης σε πρωτογενή ενέργεια.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η υπάρχουσα κατάσταση και οι προοπτικές για το 2005 και 2010.

Πίνακας 2. Σημερινή κατάσταση και προοπτικές των ΑΠΕ στην Ελλάδα [8]

Τεχνολογία	Σημερινή Κατάσταση (1998)	Προοπτικές	
		2005	2010
Αιολική ενέργεια	39 MW	800–1.000 MW	1.500–2.000 MW
Μεγάλα Υδροηλεκτρικά	2.784 MW	3.100 MW	3.250 MW
Μικρά Υδροηλεκτρικά	42 MW	150–200 MW	300–400 MW
Φωτοβολταϊκά	0,3 MW	30–40 MW	150–200 MW
Ηλιακοί Συλλέκτες	2.300.000 m <sup>2</sup>	5.500.000– 7.000.000 m <sup>2</sup>	9.000.000– 11.000.000 m <sup>2</sup>
Βιομάζα	900 ktoe	1.600–1.800 ktoe	2.300–2.700 ktoe
Γεωθερμία	3 ktoe	80–100 ktoe	160–200 ktoe

### 1.5 Στόχος της παρούσας εργασίας

Στην Ελλάδα, η συμβολή της ενέργειας από βιομάζα παρουσιάζει ιστορικά μεγάλο ενδιαφέρον. Ενώ στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα αποτελούσε την πρώτη ενεργειακή πηγή, η τεχνολογική ανάπτυξη που ακολούθησε το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οδήγησε σε ουσιαστική παρακώνισή της. Από το 1980 παρουσιάστηκε ωστόσο ουσιαστική επιβράδυνση αυτής της πτωτικής τάσης, σαν αποτέλεσμα τόσο των πετρελαϊκών κρίσεων που προηγήθηκαν, όσο και της εμφάνισης νέων τεχνολογιών [7].

Σήμερα διακρίνονται δύο τύποι εκμετάλλευσης της βιοενέργειας. Ο πρώτος αφορά στην παραδοσιακή χρήση της βιομάζας για την παραγωγή θερμότητας από καυσόξυλα (περίπου 1 ΜΤΟΕ) ενώ ο δεύτερος αφορά στην αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή θερμότητας από τεχνολογικά σύγχρονα συστήματα καύσης στις αγροβιομηχανίες και την παραγωγή βιοαερίου από τα απόβλητα. Πολύ πρόσφατα έχουν εμφανιστεί και συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας από βιομάζα. Παρόλο που η βιομάζα παραμένει υποβαθμισμένη στον ελληνικό χώρο, αποτελεί την τρίτη κατά σειρά ενεργειακή πηγή μετά το πετρέλαιο και το λιγνίτη.

Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας του ελληνικού χώρου εκτιμάται ότι ανέρχεται στο 50 % των ενεργειακών αναγκών [7]. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, το ποσοστό διείσδυσης μόλις που καλύπτει το 5 % των αναγκών. Οι υπάρχουσες τεχνολογικές δυνατότητες όμως επιτρέπουν την αξιοποίηση μιας πληθώρας ενεργειακών πόρων που

προέρχονται από φυτικά και δασικά παραπροϊόντα και υπολείμματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, αστικά απορρίμματα και απόβλητα ενώ σημαντική είναι η συνεισφορά των ενεργειακών φυτειών.

Στην παρούσα εργασία θα γίνει απόπειρα λεπτομερούς καταγραφής των ενεργειακών πόρων που προκύπτουν στον ελληνικό χώρο, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αξιόπιστο σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με ενεργειακές επενδύσεις από βιομάζα. Το σύστημα αυτό θα βασιστεί σε μία βάση δεδομένων όπου θα ενταχθούν όλα εκείνα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για να καταγραφεί λεπτομερώς το ενεργειακό δυναμικό στο χώρο παραγωγής του. Το εργαλείο θα έχει σαν αντικείμενο αναφοράς τη μικρότερη διοικητική υποδιάρθρωση, δηλαδή την Κοινότητα (ή το Δήμο), με τη μορφή που είχε πριν από την εφαρμογή του σχεδίου "Καποδιστριας".

Προκειμένου να υλοποιηθεί ο παραπάνω στόχος, δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων "ΑΜΑΙΘΕΙΑ". Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης εφαρμογής καθιστά δυνατή την αναζήτηση στοιχείων για:

- τις εκτάσεις που αφιερώνονται στην κάθε χρήση γης.
- τις παραγόμενες ποσότητες γεωργικών, δασικών και κτηνοτροφικών προϊόντων.
- τις ποσότητες υπολειμμάτων που προκύπτουν, ανά τύπο βιομάζας από κάθε βιολογικό σύστημα.
- τα διαθέσιμα υπολείμματα ανά χρήση γης, ανά βιολογικό σύστημα και ανά γεωγραφική περιοχή
- τις τεχνολογίες αξιοποίησης της διαθέσιμης βιομάζας
- τους περιορισμούς που επιβάλλει η διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης, το κόστος αξιοποίησής τους και ο βαθμός ωριμότητας των τεχνολογιών αξιοποίησής των.

Για την ανάπτυξη του εργαλείου χρησιμοποιήθηκε το εμπορικό πακέτο λογισμικού "Microsoft Access 2000", οι δυνατότητες του οποίου κρίθηκαν ικανοποιητικές για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης βάσης δεδομένων.

Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν θα εξηγηθεί καταρχήν ο όρος "βιομάζα" και θα γίνει αναφορά στις υπάρχουσες τεχνολογίες αξιοποίησης του δυναμικού της βιομάζας. Θα παρουσιαστεί ο τρόπος προσδιορισμού του δυναμικού αυτού, με βάση τους περιορισμούς που τίθενται κατά περίπτωση και τέλος θα προσδιοριστούν τα απαραίτητα δεδομένα για την υλοποίηση αυτού του στόχου.

Στη συνέχεια θα γίνει περιγραφή του εργαλείου, ξεκινώντας από τον τρόπο που σχεδιάστηκε και στήθηκε η εφαρμογή. Θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία με την οποία

επεξεργάστηκαν τα δεδομένα που εισήχθησαν στη βάση και θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το συγκεκριμένο εργαλείο για βοηθηθεί στη λήψη μιας απόφασης που θα σχετίζεται με το σχεδιασμό μιας επένδυσης σε βιομάζα.

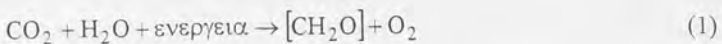
Τέλος θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα συγκεντρωθέντα στοιχεία, όσον αφορά στις χρήσεις γης και το ενεργειακό δυναμικό σε όλη την Ελλάδα, ενώ με αφετηρία τα στοιχεία αυτά θα παρουσιαστούν ενδεικτικά και άλλες πιθανές χρήσεις του εργαλείου, που ξεφεύγουν από το χώρο των ενεργειακών επενδύσεων.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 Βιομάζα – Μια Τεράστια Αποθήκη Ενέργειας

Ο άνθρακας, το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι τα κυριότερα συστατικά όλων των συμβατικών καυσίμων. Τα ίδια στοιχεία, C, H και O, είναι και τα σημαντικότερα συστατικά της ζώσας ύλης [1]. Ο συνδυασμός καυσίμου-οξυγόνου είναι αποθήκη ενέργειας, η οποία απελευθερώνεται σαν θερμότητα μέσω της καύσης. Η φυσική αποσύνθεση είναι μια παρόμοια διεργασία οξειδωσης, που καταλήγει επίσης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η φύση ολοκληρώνει τον κύκλο, αποθηκεύοντας ενέργεια στα τελικά προϊόντα, ώστε να δημιουργηθεί κι άλλο καύσιμο και οξυγόνο. Ο μηχανισμός αυτός είναι η φωτοσύνθεση, η διαδικασία μέσω της οποίας τα φυτά απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα και νερό από την ατμόσφαιρα και αξιοποιώντας την ενέργεια του ηλιακού φωτός, τα μετατρέπουν σε σάκχαρα, άμυλο, κυτταρίνη κλπ, τα οποία αποτελούν την "φυτική ύλη". Η βασική αντίδραση της διεργασίας είναι η ακόλουθη:



Η ομάδα  $[\text{CH}_2\text{O}]$  αποτελεί ένα τμήμα του μορίου του υδατάνθρακα που σχηματίζεται. Το δεύτερο προϊόν είναι οξυγόνο, οπότε γίνεται φανερό ότι η διεργασία αυτή είναι η ακριβώς αντίστροφη της αποσύνθεσης/καύσης. Το φυτό αναπτύσσεται

χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια για τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού σε υδατάνθρακες ή κάποιο παρόμοιο υλικό, με ταυτόχρονη απελευθέρωση οξυγόνου. Όταν πεθαίνει -ή όταν καεί- το οξυγόνο καταναλώνεται και η ενέργεια απελευθερώνεται σαν θερμότητα.

Τα περισσότερα από τα βιοκαύσιμα, που προέρχονται από ζωντανή ή πρόσφατα νεκρωμένη βιομάζα περιέχουν οξυγόνο. Τα μόρια της βιολογικής ύλης είναι πολύ πιο μεγάλα και πιο περίπλοκα από του μεθανίου. Η καύση τους παρουσιάζεται απλουστευμένη, θεωρώντας τους υδατάνθρακες σαν παράδειγμα. Στην περίπτωση αυτή, η αναλογία των συστατικών είναι περίπου ένα άτομο οξυγόνου ανά δύο άτομα υδρογόνου για το κάθε άτομο άνθρακα, οπότε ο τύπος  $[CH_2O]$  αποτελεί μια τυπική μονάδα ενός μορίου υδατάνθρακα. Η διεργασία της καύσης στην περίπτωση αυτή περιγράφεται από την εξίσωση:



Η παραπάνω εξίσωση είναι ενδεικτική της γενικής μορφής, αλλά οι λεπτομέρειες εξαρτώνται από τον κάθε τύπο βιομάζας. Τα δεδομένα του Πίνακα 3 είναι ενδεικτικά για το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αγτηθεί από ένα τόνο ή ένα κυβικό μέτρο διάφορων βιολογικών υλικών.

Πίνακας 3. Μέσο ενεργειακό περιεχόμενο καυσίμων

Καύσιμο	Ενεργειακό Περιεχόμενο	
	GJ t <sup>-1</sup>	GJ m <sup>-3</sup>
Ξύλο (ξηρό αέρος-20% υγρασία)	15	10
Χαρτί (στοιβαγμένες εφημερίδες)	17	9
Κοπριά (ξηρή)	16	4
Άχυρο (δάματα)	14	1,4
Ζαχαροκάλαμο (στελέχη ξηρά αέρος)	14	10
Αστικά απορρίμματα (όπως συλλέγονται)	9	1,5
Εμπορικά απόβλητα	16	*
Γρασίδι (φρεσκοκομμένο)	4	3
Πετρέλαιο	42	34
Κάρβουνο	28	50
Φυσικό αέριο (πίεση παροχής)	55	0,04



Η συνεισφορά της βιομάζας στη διατήρηση της ατμόσφαιρας της γης είναι πολύ σημαντική. Στην περίπτωση που ένας καταστροφικός κυκλώνας εξαφάνιζε όλη τη χλωρίδα από τη γη, η απώλεια μάζας θα ήταν ασήμαντη, της τάξεως του ενός μέρους στο δισεκατομμύριο. Ωστόσο οι φυσικές συνέπειες μιας τέτοιας απειροελάχιστης μεταβολής θα ήταν τεράστιες, αφού δε θα υπήρχε πλέον καμιά πηγή οξυγόνου για την ατμόσφαιρα [1]. Οι συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της γης εξαρτώνται από αυτή τη σύσταση της ατμόσφαιρας, και συγκεκριμένα από την αναλογία του αζώτου με τα άλλα αέρια που βρίσκονται σε ίχνη, όπως το CO<sub>2</sub>. Μελετώντας τις επιπτώσεις των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, είναι απαραίτητο να λάβει κανείς υπόψη το γεγονός ότι η βιομάζα και η ατμόσφαιρα δεν αποτελούν ανεξάρτητα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης: η αλληλεξάρτησή τους είναι τόσο ισχυρή ώστε να αντιμετωπίζεται σαν ένα ενιαίο σύστημα.

## 2.2 Τεχνολογική Αξιοποίηση της Βιομάζας

Προκειμένου τα βιοκαύσιμα να συναγωνιστούν τα σύγχρονα συμβατικά καύσιμα, θα πρέπει να αντεπεξεληθούν στη ζήτηση των κατάλληλων μορφών ενέργειας με ανταγωνιστικές τιμές. Δύο σημαντικά κριτήρια είναι η διαθεσιμότητα και η δυνατότητα μεταφοράς της πρώτης ύλης. Τα κυριότερα καύσιμα –το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο– είναι πολύτιμα, γιατί η ενέργειά τους μπορεί να αποθηκευτεί με μικρές απώλειες και είναι διαθέσιμη όταν απαιτείται. Αυτά τα καύσιμα μαζί με την ηλεκτρική ενέργεια προσφέρουν τα επιπλέον πλεονεκτήματα της ενέργειας που μπορεί να μεταφερθεί με ευκολία από μέρος σε μέρος.

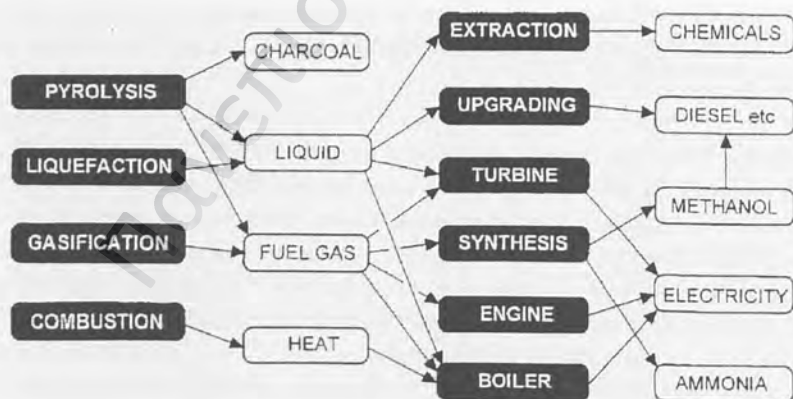
Η βιομάζα, όπως αναφέρθηκε, εμφανίζεται με μια ποικιλία μορφών: ξύλο, άχυρο, σπόροι, κοπριά, άχρηστο χαρτί, οικιακά απορρίμματα, υγρά απόβλητα κλπ. Σχεδόν όλες οι μορφές της βιομάζας αποσυντίθενται αρκετά γρήγορα, επομένως λίγες μορφές μπορούν να λειτουργήσουν σαν μακροχρόνιες ενεργειακές αποθήκες, ενώ εξαιτίας της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας των υπολειμμάτων, η μεταφορά τους στοιχίζει ακριβότερα. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην βέλτιστη αξιοποίηση αυτών των εν δυνάμει πολύτιμων πηγών ενέργειας. Ειδικότερα, ερευνώνται τρόποι για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της βιομάζας ως καύσιμο. Η επεξεργασία στην οποία υποβάλλεται τελικά η βιομάζα συνίσταται σε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας και σε βελτίωση των χαρακτηριστικών εκείνων που θα διευκολύνουν τη μεταφορά και αποθήκευσή της.

Οι διεργασίες μέσω των οποίων μπορεί να αξιοποιηθεί η διαθέσιμη βιομάζα για την παραλαβή της διαθέσιμης βιομάζας ταξινομούνται ανάλογα με το βαθμό δυσκολίας και τις τεχνολογικές απαιτήσεις που παρουσιάζουν [1]:

- άμεση καύση της ακατέργαστης βιομάζας,
- καύση μετά από σχετική επεξεργασία με φυσικές μεθόδους, όπως ταξινόμηση, τεμαχισμός, συμπίεση και / ή ξήρανση με αέρα,
- Θερμοχημικές διεργασίες προκειμένου να γίνει αναβάθμιση του βιοκαυσίμου, όπως η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η υγροποίηση,
- Βιολογικές διεργασίες, όπως η αναερόβια πέψη και η ζύμωση, που καταλήγουν στη σύνθεση αέριων ή υγρών καυσίμων.

Το "άμεσο" προϊόν ορισμένων διεργασιών είναι θερμότητα, η οποία συνήθως χρησιμοποιείται *in situ* ή σε μικρή απόσταση από τον τόπο παραγωγής σε χημικές διεργασίες, για θέρμανση ή για την παραγωγή ατμού, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για άλλες διεργασίες το καύσιμο είναι στερεό, υγρό ή αέριο: κάρβουνο, υγρό καύσιμο για υποκατάστατο ή πρόσθετο της βενζίνης, αέριο προς πώληση ή για την παραγωγή ηλεκτρισμού, με χρήση ατμοστρόβιλων ή αεριοστρόβιλων.

Οι κυριότερες θερμοχημικές διεργασίες αξιοποίησης της βιομάζας και τα προϊόντα που προκύπτουν παρουσιάζονται στο Σχήμα 2 [10].



Σχήμα 2. Θερμοχημικές διεργασίες αξιοποίησης της βιομάζας

### 2.2.1 Καύση

Η διεργασία της καύσης πραγματοποιείται σε στάδια. Αμέσως μετά την είσοδο του καυσίμου στο θάλαμο καύσης, αυτό θερμαίνεται γρήγορα λόγω της ακτινοβολίας των τοιχωμάτων, και λόγω συναγωγής από τα θερμά αέρια που υπάρχουν στον θάλαμο. Κάθε ίχνος υγρασίας του καυσίμου απομακρύνεται, όπως απομακρύνονται και τα πτητικά συστατικά του, οπότε σημειώνεται αυτανάφλεξη και το καύσιμο καίγεται. Η διάρκεια του κάθε βήματος, όπως επίσης και ο συνολικά απαιτούμενος χρόνος εξαρτάται από τη φύση του καυσίμου και το μέγεθος των σωματιδίων, το βαθμό ανάμειξης του αέρα με το καύσιμο και τη θερμοκρασία που επικρατεί στο θάλαμο καύσης [11].

Τελικά η ταχύτητα με την οποία επιτελείται η καύση ελέγχεται από το βραδύτερο στάδιο. Οι δράσεις που πραγματοποιούνται περιλαμβάνουν μεταφορά θερμότητας από το θάλαμο καύσης στο καύσιμο, μεταφορά οξυγόνου στο καύσιμο και παράσυρση των αερίων προϊόντων μακριά από το καύσιμο. Ανάλογα με τον τύπο του καυστήρα που χρησιμοποιείται διαφοροποιούνται οι ταχύτητες των δράσεων που λαμβάνουν και χώρα και έτσι τελικά διαφοροποιείται και η συνολική ταχύτητα με την οποία εξελίσσεται η καύση.

Είναι χαρακτηριστικό των βιοκαυσίμων ότι τα τρία τέταρτα ή και περισσότερο της ενέργειας τους περιέχεται στην πτητική ύλη (αντίθετα, στο κάρβουνο, το ποσοστό είναι λιγότερο από το μισό). Είναι επομένως σημαντικό ο σχεδιασμός οποιουδήποτε φούρνου, καυστήρα ή λέβητα να εξασφαλίζει την καύση αυτών των πτητικών. Για την πλήρη καύση, ο αέρας θα πρέπει να έρχεται σε επαφή με όλη τη μάζα του καυσίμου, γεγονός που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας καύσιμο τεμαχισμένο σε μικρά κομμάτια. Όμως στην περίπτωση αυτή η στάχτη περιέχει λεπτόκοκκα σωματίδια, τα οποία παρασύρονται από τα καυσαέρια. Η ροή του αέρα θα πρέπει να είναι επίσης ελεγχόμενη: μικρή ποσότητα οξυγόνου οδηγεί σε ατελή καύση και στην παραγωγή CO, ενώ μεγάλη περίσσεια αέρα αποτελεί σπατάλη ενέργειας, δεδομένου ότι μεταφέρεται η θερμότητα στο ρεύμα των καυσαερίων.

Το μέγεθος των τεμαχιδίων επηρεάζει άμεσα το χρόνο παραμονής τους στον χώρο της καύσης. Για ορισμένα καύσιμα όπως το κάρβουνο, υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης του εύρους που κυμαίνονται τα σωματίδια, αλλά για τα αστικά απορρίμματα είναι πολύ δύσκολη η εκτίμηση αυτή. Στην περίπτωση αυτή για να επιτευχθεί πλήρης καύση του οργανικού υλικού, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής. Η ποσότητα του αέρα που καταναλώνεται κατά τη διεργασία ποικίλει ανάλογα με το ρυθμό τροφοδοσίας του καυσίμου αλλά και τη σύστασή του [11]. Το κάρβουνο απαιτεί περίσσεια αέρα που δεν ξεπερνά το 25 %, ενώ για την καύση των αστικών απορριμμάτων η περίσσεια μπορεί να φτάσει το 200 %. Η υπερβολικά μεγάλη ποσότητα αέρα στο θάλαμο της καύσης έχει

σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό του βαθμού απόδοσης της διεργασίας, ενώ ορισμένες φορές μπορεί να παρατηρηθούν και φαινόμενα αναστολής της καύσης, λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας από την απαιτούμενη στο θάλαμο της καύσης [1].

Η άμεση καύση αποτελεί τρόπο για την παραλαβή της ενέργειας που περιέχουν τα υστικά απορρίμματα, αλλά ο τρόπος με τον οποίο συλλέγονται κάνει δύσκολη την ενεργειακή τους αξιοποίηση. Η σύστασή τους ποικίλει, η υγρασία τους είναι υψηλή (20% και πάνω) και η ενεργειακή τους πυκνότητα χαμηλή. Κάθε κυβικό μέτρο απορριμμάτων περιέχει λιγότερη ενέργεια από το ένα τριακοστό της ενέργειας που περιέχει κάρβουνο ίδιου όγκου. Επομένως, η μεταφορά τους είναι ακριβή και η καύση τους απαιτεί μονάδες ειδικά σχεδιασμένες για αυτό το σκοπό. Ενώ η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων υπήρξε το επίκεντρο του ενδιαφέροντος στην Ευρώπη, στη Μ. Βρετανία το ενδιαφέρον στράφηκε στη μετατροπή των απορριμμάτων σε καύσιμο κατάλληλο για καύση σε συμβατικούς καυστήρες.

Ο όρος "καύσιμο από απορρίμματα" (RDF-Refuse-Derived Fuel) αναφέρεται σε ποικιλία προϊόντων που προκύπτουν μετά από το διαχωρισμό των ανεπιθύμητων συστατικών, τον τεμαχισμό, την ξήρανση και άλλου είδους επεξεργασία της πρώτης ύλης για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της καύσης. Πρόκειται για σχετικά απλές διεργασίες, όπως ο διαχωρισμός πολύ μεγάλων τεμαχίων, ο μαγνητικός διαχωρισμός μετάλλων και τεμαχισμός σε μικρότερα κομμάτια (Σχήμα 3). Το πλήρως επεξεργασμένο προϊόν, γνωστό σαν "συμπυκνωμένο καύσιμο από απορρίμματα" (d-RDF-densified-Refuse-Derived Fuel) είναι το αποτέλεσμα του διαχωρισμού της καύσιμης ύλης, η οποία στη συνέχεια κονιορτοποιείται, συμπιέζεται και ξηραίνεται, οπότε προκύπτουν μπάλες ή ραβδοί, που φτάνουν το 60% της ενεργειακής πυκνότητας του άνθρακα. Η συγκεκριμένη μορφή καυσίμου παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα στις δυνατότητες αποθήκευσης, στη μεταφορά και στο ενεργειακό περιεχόμενο. Η τυπική μέση σύσταση του "καυσίμου από απορρίμματα" παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Μέση σύσταση RDF [12]

Μέση Σύσταση (% κ.β.)	
Υγρασία	11,1
Πτητικά	72,5
Άνθρακας	3,9
Τέφρα	12,5

Στοιχειακή Ανάλυση (% κ.β.)	
Άνθρακας	41,7
Υδρογόνο	6,0
Άζωτο	0,75
Οξυγόνο	36,3
Θείο	0,17
Χλώριο	1,0
Ασβέστιο	2,7
Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)	18.392



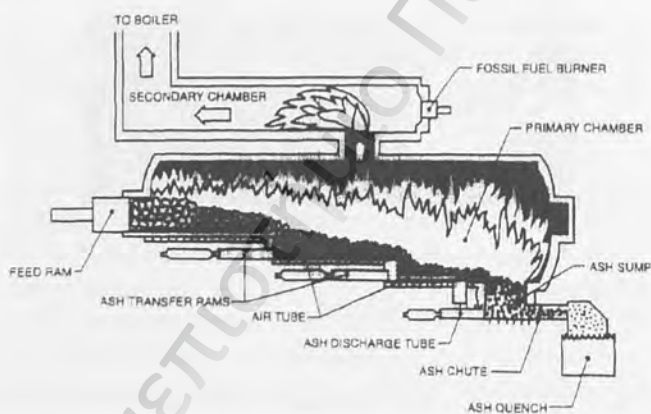
Σχήμα 3. Τεμάχια συμπακνωμένου RDF

Οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η στερεή βιομάζα που διατίθεται προς καύση, ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση και τη σύστασή της. Οι σημαντικότερες ιδιότητες του καυσίμου είναι το μέγεθος των τεμαχίων του, η σύστασή τους, όπως και η σύσταση της περιεχόμενης τέφρας και τέλος οι διακυμάνσεις στις παραπάνω ιδιότητες που παρουσιάζει ο ίδιος τύπος καυσίμου. Τα σύγχρονα συστήματα καύσης των βιοκαυσίμων ποικίλουν ανάλογα με το είδος του καυσίμου και το μέγεθός τους μεταβάλλεται από μικρές εστίες καύσης προορισμένες να εξοικονομούν οικιακό καύσιμο στις αναπτυσσόμενες χώρες, μέχρι μεγάλους λέβητες με έξοδο αρκετά θερμικά MW.

## 2.2.1.1 Καυστήρες

Ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται διαφορετικού τύπου καυστήρες. Οι πιο διαδεδομένες μορφές είναι τρεις: οι καυστήρες σταθερής κλίνης, οι καυστήρες ρευστοποιημένης κλίνης και οι καυστήρες αιωρούμενης σκόνης.

Για μονάδες κάτω των 100 MW χρησιμοποιούνται καυστήρες σταθερής κλίνης (Σχήμα 4), όπου η καύση της πρώτης ύλης γίνεται πάνω σε σχάρα. Το καύσιμο εισάγεται είτε από το κάτω μέρος του καυστήρα, είτε προωθείται προς την εστία της φλόγας μέσω δονούμενης μεταφορικής ταινίας. Η απομάκρυνση της τέφρας γίνεται με παρόμοιο τρόπο [11].



Σχήμα 4. Καυστήρας σταθερής κλίνης

Τα σημαντικότερα συστήματα καύσης είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στους μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, όπου το καύσιμο κονιορτοποιείται και εισάγεται αιωρούμενο στον θάλαμο καύσης, μαζί με το οξειδωτικό αέριο. Μέσα στο θάλαμο καύσης διέρχονται και οι σωλήνες του νερού που θερμαίνεται για την παραγωγή ατμού. Οι καυστήρες ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, παρουσιάζοντας σημαντικά πλεονεκτήματα. Καταρχήν, ο χρόνος παραμονής του καυσίμου στο θάλαμο καύσης είναι μεγαλύτερος από τους άλλους τύπους καυστήρα, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλία στερεών καυσίμων. Ακόμα, η ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα είναι καλύτερη και η θερμοκρασία που

επικρατεί είναι ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα το σχηματισμό λιγότερων  $\text{NO}_x$ . Τέλος η παρουσία αβεστόλιθου στο πληρωτικό υλικό της κλίνης περιορίζει σημαντικά τις εκπομπές  $\text{SO}_2$  [11].

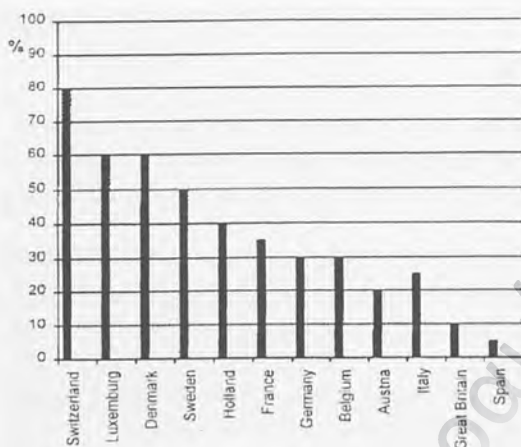
### 2.2.1.2 Αποτεφρωτήρες αστικών απορριμμάτων

Τρεις είναι οι σημαντικότεροι τύποι καυστήρων που χρησιμοποιούνται για την αποτέφρωση των αστικών απορριμμάτων, οι οποίοι διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν. Στον πρώτο τύπο καυστήρα, το καύσιμο εισάγεται σε μεγάλες ποσότητες ( $>10^5$  kg την ημέρα). Η καύση πραγματοποιείται διαστρωματικά πάνω σε κινούμενη σχάρα, ενώ ταυτόχρονα, η τέφρα υποχωρεί προς τον πυθμένα του θαλάμου καύσης από όπου απομακρύνεται. Ο κύριος όγκος του αέρα της καύσης εισάγεται από το κάτω μέρος της σχάρας, ενώ μικρότερη ποσότητα αέρα γεκάζεται και από την πάνω μεριά της σχηματιζόμενης κλίνης.

Άλλος τύπος αποτεφρωτή είναι αυτός που χρησιμοποιείται από νοσοκομεία, εστιατόρια και άλλες εμπορικές μονάδες, όπου η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων είναι περιορισμένη. Ο θάλαμος καύσης είναι χωρισμένος σε δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα του καυστήρα γίνεται η εισαγωγή του καυσίμου με το 40-80% του θεωρητικά απαιτούμενου αέρα για την ολοκλήρωση της καύσης, οπότε στο πρώτο αυτό στάδιο γίνεται αεριοποίηση. Στη συνέχεια το αέριο του πρώτου θαλάμου προωθείται στον δεύτερο θάλαμο όπου καίγεται πλήρως [1].

Στην περίπτωση που τα αστικά απορρίμματα έχουν υποστεί επεξεργασία απομάκρυνσης των άκαυστων συστατικών τους, και ομογενοποίηση ως προς το μέγεθος των τεμαχίων, καίγονται ευκολότερα, ακόμα και σε καυστήρες σχεδιασμένους για κάρβουνο.

Η τεχνολογία της καύσης των αστικών απορριμμάτων είναι δοκιμασμένη τόσο στην ηπειρωτική Ευρώπη (Σχήμα 5) όσο και στην Ιαπωνία και το δίκτυο συλλογής των απορριμμάτων υπάρχει ήδη, οπότε εξασφαλίζεται η συνεχής τροφοδοσία με απορρίμματα. Περίπου 350 καυστήρες τέτοιου τύπου λειτουργούν σε όλο τον κόσμο, και χώρες όπως η Ελβετία και η Ιαπωνία αξιοποιούν πάνω από το 80% των αστικών απορριμμάτων κατ' αυτόν τον τρόπο [13]. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί ο δραστικός περιορισμός του όγκου των απορριμμάτων. Μόνο ένα 10% του αρχικού όγκου απαιτεί τελικά ενταφιασμό.



Σχήμα 5. Καύση των αστικών απορριμμάτων στις Ευρωπαϊκές χώρες

Η παράλληλη καύση απορριμμάτων μαζί με κάρβουνο στους υπάρχοντες συμβατικούς σταθμούς ενέργειας περιορίζει σημαντικά τον όγκο των απορριμμάτων. Παράλληλα περιορίζονται οι εκπομπές αερίων ρύπων που σχηματίζονται από την αποτέφρωση των απορριμμάτων. Η παραγόμενη θερμότητα από την αποτέφρωση ανακτάται και χρησιμοποιείται τόσο για τηλεθέρμανση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η τέφρα χρησιμοποιείται στις κατασκευές και την οδοποιία. Στην περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής, ο βαθμός μετατροπής φτάνει το 20%, ενώ σε ορισμένες πιλοτικές μονάδες το 25%.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσιάζει η καύση των αστικών απορριμμάτων είναι οι εκπομπές σκόνης, οξέων, οργανικών ενώσεων, όπως διοξίνες και φουράνια, αλλά και ίχνη μετάλλων όπως ο υδράργυρος, ο μόλυβδος και το κάδμιο. Ο σχηματισμός τέτοιων αέριων εκπομπών οφείλεται από την εξάτμιση των στοιχείων κατά τη διάρκεια της καύσης. Το κύριο μέρος των ατμών αυτών συμπυκνώνονται καθώς το προϊόν της καύσης ψύχεται και καθιζάνουν στον καυστήρα. Ωστόσο ένα μέρος τους παρασύρεται μαζί με τα πτητικά αέρια προϊόντα προς την έξοδο και διαφεύγουν. Ανάμεσα στα πτητικά που ξεφεύγουν είναι και οι ατμοί του υδραργύρου [11]. Για τους λόγους αυτούς αυστηρά πρότυπα επιβάλλονται τόσο στις υπάρχουσες μονάδες όσο και στις μονάδες που τώρα σχεδιάζονται, οπότε απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός για τον καθαρισμό των αερίων της καύσης.

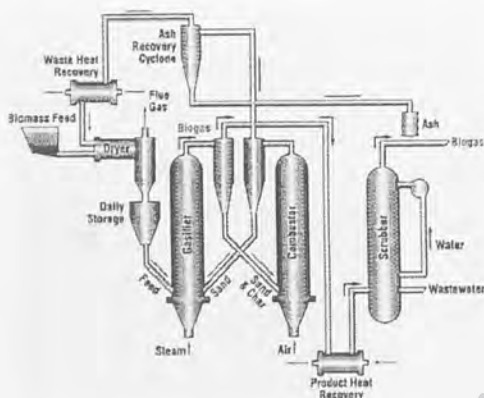


### 2.2.2 Αεριοποίηση

Με τον όρο "αεριοποίηση" καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα διεργασιών, κατά τις οποίες ένα στερεό καύσιμο αντιδρά με ατμό και νερό ή οξυγόνο για την παραγωγή ενός αερίου καυσίμου. Υπάρχουν αρκετοί τύποι αεριοποιητών, με θερμοκρασίες λειτουργίας που μεταβάλλονται από λίγες εκατοντάδες μέχρι πάνω από τους 1.000 °C, και πιέσεις από ατμοσφαιρική μέχρι τις 30 atm. Το αέριο που προκύπτει είναι μίγμα, τα κύρια συστατικά του οποίου είναι μονοξειδίο του άνθρακα, υδρογόνο και μεθάνιο, μαζί με διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο, σε αναλογία που εξαρτάται από τις συνθήκες της διεργασίας και από το αν χρησιμοποιείται αέρας ή οξυγόνο.

Η αεριοποίηση δεν είναι νέα διεργασία. Το "αέριο πόλεως", το προϊόν της αεριοποίησης του κάρβουνου χρησιμοποιήθηκε ευρέως για πολλές δεκαετίες πριν από την αντικατάστασή του από το φυσικό αέριο. Πολλά οχήματα εφοδιασμένα με αεριοποιητές ξύλου έκαναν την εμφάνισή τους κατά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο [1]. Η αναγέννηση του ενδιαφέροντος στην αεριοποίηση της βιομάζας οφείλεται σε διάφορους λόγους. Καταρχήν, το καύσιμο που προκύπτει είναι πολύ καθαρότερο από την αρχική βιομάζα, καθώς ανεπιθύμητοι χημικοί ρύποι απομακρύνονται κατά τη διεργασία μαζί με την αδρανή μάζα, η οποία σχηματίζει σωματίδια (καπνό) κατά την καύση του καυσίμου.

Το αέριο σαν καύσιμο έχει περισσότερες εφαρμογές. Η άμεση καύση είναι μια πτυχή, αλλά το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή σε αεριοστρόβιλους (Σχήμα 6) [14]. Τέλος η αεριοποίηση κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε αέριο σύνθεσης, μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου που μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση σχεδόν οποιουδήποτε υδρογονάνθρακα.



Σχήμα 6. Σύστημα αεριοποίησης της βιομάζας

Η απλούστερη διεργασία καταλήγει σε αέριο που περιέχει μέχρι 50% κατ' όγκο άζωτο και CO<sub>2</sub>, και καθώς αυτά δεν έχουν καμιά θερμαντική αξία, το ενεργειακό περιεχόμενο του αερίου περιορίζεται σε λίγα MJ ανά κυβικό μέτρο, περίπου το ένα δέκατο από αυτό του μεθανίου. Όμως είναι καθαρό καύσιμο και παρόλο που η μεταφορά του μπορεί να μην αξίζει, οι βελτιωμένες ιδιότητές του μπορεί να το κάνουν κατάλληλο για εκμετάλλευση *in situ*.

Η αεριοποίηση των απορριμμάτων αποτελεί εναλλακτική μέθοδο "εξαφάνισης" των αποβλήτων επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την ανάκτηση της περιεχόμενης ενέργειας. Είναι φιλική προς το περιβάλλον, ενώ το κόστος εγκατάστασης είναι συγκρίσιμο με το κόστος των συμβατικών μονάδων καύσης απορριμμάτων. Το χαμηλό κόστος δικαιολογείται από τον υψηλό βαθμό μετατροπής, ο οποίος ξεπερνά κατά περίπου 50% τον αντίστοιχο των συμβατικών μονάδων WtE (Waste-to-Energy).

Η τεχνολογία της αεριοποίησης περιλαμβάνει δύο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, η βιομάζα, αφού ξηραθεί, εισάγεται σε αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης, υπό ατμοσφαιρική πίεση. Η θερμοκρασία στον αεριοποιητή κυμαίνεται από 850-900 °C. Το πληρωτικό υλικό της ρευστοποιημένης κλίνης δίνει τη δυνατότητα στην πρώτη ύλη να παραμείνει για μεγαλύτερο χρόνο στον αντιδραστήρα, οπότε βελτιώνεται η απόδοση των αντιδράσεων αεριοποίησης. Στο δεύτερο στάδιο, το παραγόμενο αέριο καθαρίζεται σε δύο διαφορετικές φάσεις. Κατά την πρώτη φάση διέρχεται εν θερμώ από καταλυτική ρευστοποιημένη κλίνη, προκειμένου να πυρολυθεί το ασφαλτώδες υπόλειμμα και κατά τη δεύτερη φάση, το ψυχρό αέριο διέρχεται από φίλτρο. Οι συνθήκες λειτουργίας της δεύτερης κλίνης όπου γίνεται ο καθαρισμός είναι παρόμοιες με αυτές του αντιδραστήρα. Το αέριο εισέρχεται στους 900 °C περίπου, συμπαρασύροντας και

στερεά κομμάτια ασφαλτώδους υπολείμματος, το οποίο παρουσία του δολομίτη μετατρέπεται σε ελαφρότερους υδρογονάνθρακες. Κατά τη διέλευση του αερίου από την κλίνη αναμόρφωσης, ο δολομίτης δεσμεύει το περιεχόμενο HCl και το σχηματιζόμενο  $\text{CaCl}_2$  απομακρύνεται μαζί με τα στερεά υπολείμματα. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται ψύξη του παραγόμενου αερίου, το οποίο στη συνέχεια διέρχεται μέσα από συμβατικής τεχνολογίας εξοπλισμό για τον καθαρισμό του. Η τελευταία αυτή φάση του καθαρισμού του προϊόντος εξαρτάται από την τελική χρήση του. Αν το παραγόμενο αέριο προορίζεται για χρήση σε αεριοστρόβιλο συνδυασμένου κύκλου, τότε ο καθαρισμός του είναι απαραίτητος. Αντίθετα, οι απαιτήσεις για "καθαρό" αέριο στους λέβητες είναι μικρότερες, οπότε δεν είναι απαραίτητη η ολοκλήρωση της τελευταίας φάσης [15].

Το αέριο προϊόν καταλαμβάνει μόνο το 30% του όγκου των αερίων που προκύπτουν από την καύση της ίδιας ποσότητας απορριμμάτων. Επομένως, ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τον καθαρισμό του αερίου είναι σημαντικά μικρότερος και βέβαια οικονομικότερος. Καθαρίζοντας το αέριο πριν από την καύση, αποφεύγονται τα προβλήματα διάβρωσης, γιατί είναι δυνατή η λειτουργία σε υψηλότερη θερμοκρασία, οπότε ο παραγόμενος ατμός είναι καλύτερης ποιότητας και η παραγωγή ηλεκτρισμού αποδοτικότερη (περίπου 30%).

Οι αεριοποιητές που κυκλοφορούν στο εμπόριο έχουν υψηλό βαθμό μετατροπής της στερεάς βιομάζας σε αέριο, που φτάνει το 75% ενώ έχουν ευέλικτη τροφοδοσία, η οποία ποικίλει. Για την τροφοδοσία της μονάδας είναι δυνατή η χρησιμοποίηση υπολειμμάτων, όπως [16]:

- Υπολείμματα ξύλου και πριονίδι
- Κελύφη καρύδας και φοίνικα
- Φλοιοί από ρύζι
- Υπολείμματα αραβοσίτου και σόγιας

Σήμερα, στην Αθήνα λειτουργεί μία από τις μεγαλύτερες χωματερές της Ευρώπης. Ανάμεσα στα εναλλακτικά σχέδια που εξετάζονται για την κατάρτιση της υπάρχουσας χωματερής, έχει κατατεθεί πρόταση για την εγκατάσταση μονάδας αεριοποίησης, η οποία θα συνδυαστεί με μονάδες διαχωρισμού, ανακύκλωσης και αναερόβιας χώνευσης. Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της μελετώμενης ομάδας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 [15].

Πίνακας 5. Κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αεριοποίησης

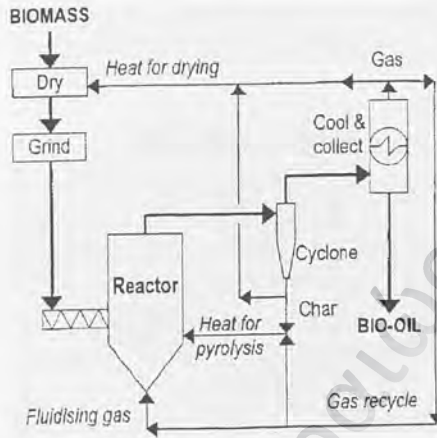
Ποσότητα απορριμμάτων	~ 600 tn day <sup>-1</sup>
Πίεση παραγόμενου ατμού	60 bar
Θερμοκρασία παραγόμενου ατμού	510 °C
Πίεση ατμού ανακυκλοφορίας	20 bar
Ονομαστική ισχύς μονάδας	26.5 MW
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	31%

### 2.2.3 Πυρόλυση

Η πυρόλυση, γνωστή μέθοδος από την αρχαιότητα, είναι η απλούστερη μέθοδος επεξεργασίας ενός καυσίμου όπως η φυτική ύλη, προκειμένου να παρασκευαστεί ένα βελτιωμένο καύσιμο. Η συμβατική πυρόλυση επιτυγχάνεται με θέρμανση, απουσία αέρα, στους 300-500 °C, μέχρι να απομακρυνθεί το σύνολο των πτητικών ουσιών. Το ασφαλτώδες υπόλειμμα, πιο γνωστό σαν κάρβουνο στην περίπτωση αυτή, είναι ένα καύσιμο με περίπου διπλάσια ενεργειακή πυκνότητα από το αρχικό και καίγεται σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία.

Για πολλούς αιώνες, και σε πολλές περιοχές του κόσμου ακόμα και σήμερα, το κάρβουνο παράγεται με πυρόλυση του ξύλου. Ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία και την απόδοση της διεργασίας, 4-10 τόνοι ξύλου απαιτούνται για την παραγωγή ενός τόνου κάρβουνου, και στην περίπτωση που δεν γίνεται καμιά προσπάθεια συγκράτησης των πτητικών ουσιών, το κάρβουνο που παραλαμβάνεται στοιχίζει περίπου τα δύο τρίτα του αρχικού ενεργειακού περιεχομένου. Η χρήση του ξύλου στις αναπτυσσόμενες χώρες για την παραγωγή υψηλής ποιότητας "κάρβουνου για barbecue" προς εξαγωγή αποτελεί σημαντική πηγή συναλλάγματος, αλλά δεν είναι ο καλύτερος τρόπος συμπεριφοράς απέναντι σε ένα φυσικό πόρο που μειώνεται.

Επί του παρόντος, η συμβατική πυρόλυση είναι πιο ελκυστική τεχνολογία (Σχήμα 7), [10]. Η σχετικά χαμηλή θερμοκρασία σημαίνει ότι λιγότεροι ρύποι απελευθερώνονται σε σχέση με την καύση, κάνοντας την πυρόλυση πιο φιλική προς το περιβάλλον. Μέχρι σήμερα έχουν γίνει δοκιμές σε μικρής κλίμακας μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων από τη βιομηχανία πλαστικών και σε χρησιμοποιημένα πλαστικά, ένα πρόβλημα διάθεσής τους που διογκώνεται διαρκώς.

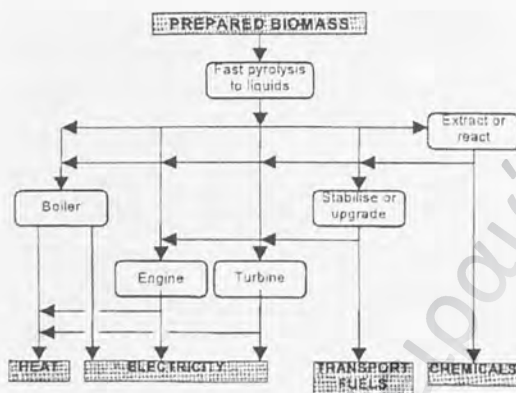


Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής πυρολυτικής διεργασίας

Η ταχεία πυρόλυση, από τις πιο εξελιγμένες τεχνικές, πραγματοποιείται με ταχεία θέρμανση της τροφοδοσίας απουσία αέρα, οπότε η πρώτη ύλη αεριοποιείται και στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε ένα σκούρο καφέ υγρό, με θερμογόνο δύναμη που φτάνει το 50 % του πετρελαίου. Τα παραγόμενα πτητικά μπορούν να συλλεχθούν, και η κατάλληλη επιλογή της θερμοκρασίας στην οποία γίνεται η διεργασία επιτρέπει τον έλεγχο της σύστασης τους. Το υγρό προϊόν έχει τις δυνατότητες ενός πετρελαιοειδούς, αλλά είναι αναμεμιγμένο με οξέα και χρειάζεται ειδική επεξεργασία πριν από τη χρήση. Έχει ανώτατη θερμογόνο δύναμη της τάξεως των 17 MJ/kg, ωστόσο περιέχει περίπου 25% υγρασία, η οποία δεν απομακρύνεται [10]. Μετά από απόσταξη μπορεί να αξιοποιηθεί σαν πρόσθετο στα υγρά καύσιμα, τα οποία αντικαθιστά χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα σε διάφορες εφαρμογές, όπως λέβητες, μηχανές και τουρμπίνες. Επιπλέον πλεονεκτήματα των υγρών προϊόντων της πυρόλυσης είναι η ευκολία στην αποθήκευση και τη μεταφορά, οπότε προσφέρουν μια καλή εναλλακτική λύση στο πρόβλημα της μεταφοράς της βιομάζας, ένα καύσιμο με πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα.

Τα πυρολυτικά έλαια βρίσκουν ένα πλήθος εφαρμογών στον τομέα της παραγωγής ενέργειας αλλά και για την παραγωγή άλλων χημικών προϊόντων. Στο Σχήμα 8 εμφανίζονται παραστατικά οι κυριότερες χρήσεις τους. Παρόλο που η θερμογόνο δύναμη των βιο-ελαίων είναι κατώτερη από αυτή των συμβατικών καυσίμων, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται με επιτυχία στη θέση τους. Ωστόσο έχουν παρατηρηθεί προβλήματα με τη ρευστότητά τους, τα οποία αντιμετωπίζονται είτε με την προσθήκη αλκοολών είτε με προθέρμανση [10]. Σε πειραματικό στάδιο ακόμα, τα πυρολυτικά έλαια έχουν χρησιμοποιηθεί αντί πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες κάτω από τις οποίες τα βιο-ελαία μπορούν αν αντικαταστήσουν το ντίζελ στην ηλεκτροπαραγωγή πρέπει ακόμα να γίνουν αρκετές δοκιμές.



Σχήμα 8. Διαργασίες και προϊόντα από την ταχεία πυρόλυση της βιομάζας

Τα προϊόντα της πυρόλυσης μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν σαν καύσιμα για τις μεταφορές με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι η υδρογόνωση, οπότε μετατρέπονται σε υδρογονάνθρακες τύπου "νάφθας" και ο δεύτερος είναι η διάσπασή τους παρουσία ζεόλιθου, οπότε σχηματίζουν αρωματικά, που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα στα συμβατικά καύσιμα. Ωστόσο και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν υψηλό κόστος παραγωγής, ενώ η πρώτη απαιτεί επιπλέον και σημαντικές ποσότητες υδρογόνου [10].

Εναλλακτικός τρόπος αξιοποίησης των πυρολυτικών ελαίων είναι η επεξεργασία τους για την παραγωγή χημικών προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας. Τέτοια προϊόντα μπορεί να είναι ενισχυτικά γεύσης, ειδικά χημικά προϊόντα για τη φαρμακοβιομηχανία, λιπάσματα, ρητίνες κλπ. Οι μόνοι περιορισμοί που τίθενται στην κατεύθυνση αυτή είναι η έλλειψη συγκεκριμένης αγοράς αλλά και οι ανεπαρκώς ανεπτυγμένες μέθοδοι παραγωγής [10]. Η τάση που κυριαρχεί είναι η ενεργειακή αξιοποίηση τέτοιου τύπου προϊόντων, οπότε και η χρηματοδότηση της έρευνας στρέφεται προς την κατεύθυνση αυτή.

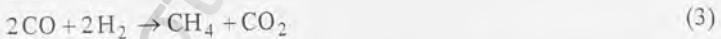
Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) έχει στήσει πιλοτική μονάδα ταχείας πυρόλυσης από το 1990, δυναμικότητας 10 kg ξηρού ξύλου ημερησίως. Το στερεό κατάλοιπο της διεργασίας αξιοποιείται από την ίδια τη διεργασία, για θέρμανση του αντιδραστήρα όπου επιτελείται η πυρόλυση. Η μονάδα λειτουργώντας για μικρά

χρονικά διαστήματα έδειξε καλά αποτελέσματα, παρουσιάζοντας αποδόσεις που έφτασαν το 61 % κ.β. επί της ξηρής τροφοδοσίας. Υπάρχουν ωστόσο αρκετά προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν ώστε η μονάδα να λειτουργεί σε συνεχή βάση [10].

Τέλος, η βραδεία πυρόλυση της φυτικής ύλης, όπως το ξύλο ή τα κελύφη από τις καρύδες, σε θερμοκρασίες 800–900 °C αφήνει πολύ λίγο στερεό υπόλειμμα και μετατρέπει το 60 % περίπου σε αέριο πλούσιο σε υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα. Η διεργασία αυτή είναι ανταγωνιστική της συμβατικής αεριοποίησης, αλλά πρέπει να αναπτυχθεί ακόμα για να γίνει εμπορικά ανταγωνιστική μέθοδος. Μέρος των παραγόμενων αερίων, πάντως, καταναλώνονται από την ίδια την πυρολυτική μονάδα, για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της διεργασίας [17].

#### 2.2.4 Αέριο σύνθεσης

Αεριοποιητής που χρησιμοποιεί οξυγόνο αντί για αέρα, παράγει αέριο που αποτελείται κυρίως από  $H_2$ ,  $CO$  και  $CO_2$ . Το ενδιαφέρον της διεργασίας αυτής βρίσκεται στο γεγονός ότι απομακρύνοντας το  $CO_2$  προκύπτει αέριο σύνθεσης, από το οποίο είναι δυνατή η σύνθεση όλων των  $HC$ . Η αντίδραση μεταξύ  $H_2$  και  $CO$  οδηγεί στο σχηματισμό καθαρού μεθανίου:



Ένα άλλο προϊόν είναι η μεθανόλη, οξυγονωμένος υδρογονάνθρακας με ενεργειακή πυκνότητα 23 MJ/kg. Η παραγωγή της μεθανόλης γίνεται μέσω σειράς χημικών διεργασιών υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, με υψηλό κόστος εγκατάστασης των μονάδων παρασκευής. Η μέθοδος παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί η μεθανόλη είναι ένα πολύτιμο υγρό καύσιμο που μπορεί να υποκαταστήσει άμεσα τη βενζίνη. Προς το παρόν, η παραγωγή μεθανόλης από αέριο σύνθεσης δεν αποτελεί εμπορική μέθοδο, αλλά η τεχνολογία είναι γνωστή από παλιά, όταν αναπτύχθηκε από χώρες πλούσιες σε άνθρακα, σε περιόδους που τα αποθέματα πετρελαίου τους απειλούνταν.

### 2.2.5 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση προκύπτει απουσία αέρα, όπως και η πυρόλυση. Στην περίπτωση αυτή όμως, η αποσύνθεση προκαλείται από τη δράση βακτηριδίων κι όχι από διεργασίες υψηλών θερμοκρασιών [1]. Είναι διεργασία που γίνεται σε σχεδόν όλες τις βιολογικές ύλες, αλλά ενισχύεται από τη ζέστη, την υψηλή υγρασία και την απουσία αέρα, ενώ προκύπτει με φυσικό τρόπο κατά την αποσύνθεση της γλωρίδας στο βυθό των λιμνών, σχηματίζοντας μεθάνιο.

Η αναερόβια χώνευση ευνοείται από τις συνθήκες που δημιουργούνται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, και σε δύο περιπτώσεις αποτελούν σημαντικές πηγές ενέργειας. Στη μια περίπτωση, το "βιοαέριο", που σχηματίζεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στους υπονόμους ή από την κοπριά των ζώων, και στην άλλη περίπτωση το "αέριο των χωματερών", που παράγεται από την ταφή των αστικών απορριμμάτων. Και στις δύο περιπτώσεις το αέριο προϊόν είναι μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Υπάρχουν ωστόσο σημαντικές διαφορές στη φύση της πρώτης ύλης, το μέγεθος της μονάδας και στο χρόνο που απαιτείται για την παραγωγή του αερίου, διαφορές οι οποίες οδηγούν στην ανάπτυξη πολύ διαφορετικής τεχνολογίας για την εκμετάλλευσή του.

Η χημεία της παραγωγής βιοαερίου και αερίου χωματερής είναι πολύπλοκη. Ποικιλία βακτηρίων διασπών την οργανική ύλη σε σάκχαρα και στη συνέχεια σε διάφορα οξέα, τα οποία κατά την αποσύνθεσή τους δίνουν το τελικό αέριο, αφήνοντας μια ποσότητα ανενεργού υπολειμματος, η σύσταση του οποίου εξαρτάται από το σύστημα και την αρχική τροφοδοσία. Το μεθάνιο, το κύριο προϊόν της αναερόβιας χώνευσης, είναι 20 φορές ισχυρότερο από το CO<sub>2</sub> όσον αφορά στη συμβολή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιβάλλεται επομένως η δέσμευσή του για λόγους καθαρά περιβαλλοντικούς. Ωστόσο δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι δημιουργεί προβλήματα οσμής αλλά και ασφάλειας, λόγω της υψηλής αναφλεξιμότητάς του.

#### 2.2.5.1 Βιοαέριο

Η κοπριά ή τα βοθρολύματα που αποτελούν την τροφοδοσία για την παραγωγή βιοαερίου σε χωνευτήριο εισέρχονται με τη μορφή ρευστού περιεκτικότητας περίπου 95% σε νερό. Οι χωνευτήρες ποικίλουν σε μέγεθος από 1 κυβικό μέτρο για μια μονάδα οικιακής κλιμακας (περίπου 200 γαλόνια μέχρι και 10 φορές μεγαλύτερο για μια τυπική



μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων σε φάρμα) μέχρι 2.000 m<sup>3</sup> για μια μεγάλη εμπορική εγκατάσταση. Η τροφοδοσία είναι είτε συνεχής, είτε διακοπτόμενη και η διαδικασία της χώνευσης διαρκεί από δέκα μέρες μέχρι λίγες εβδομάδες [1].

Η δράση των βακτηριδίων είναι εξώθερμη αλλά σε περιοχές με ψυχρό κλίμα απαιτείται επιπλέον θέρμανση για τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ιδανικό επίπεδο, τουλάχιστον 35 °C. Η ενέργεια αυτή προσφέρεται από το ίδιο το βιοαέριο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όλο το παραγόμενο αέριο καταναλώνεται μέσω της προσφοράς ενέργειας για τη συνέχιση της διεργασίας. Ακόμα και στις περιπτώσεις αυτές η μονάδα καλύπτει το κόστος της από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, τα οποία θα καταναλώνονταν για την επεξεργασία των αποβλήτων.

Ένα χωνευτήριο που λειτουργεί σωστά παράγει 200–400 m<sup>3</sup> βιοαερίου, με περιεκτικότητα σε μεθάνιο από 50–70 % ανά τόνο ξηρής τροφοδοσίας, που περιέχουν περίπου 11GJ ωφέλιμης ενέργειας. Ακόμα και σε περίπτωση που η απόδοση είναι πιο χαμηλή, η διεργασία είναι αποδοτική υπό την έννοια ότι προκύπτει ένα καθαρό καύσιμο, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί ένα τρόπο διάθεσης προβληματικών αποβλήτων. Το υπόλειμμα της χώνευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα.

#### 2.2.5.2 Αέριο Χωματερής

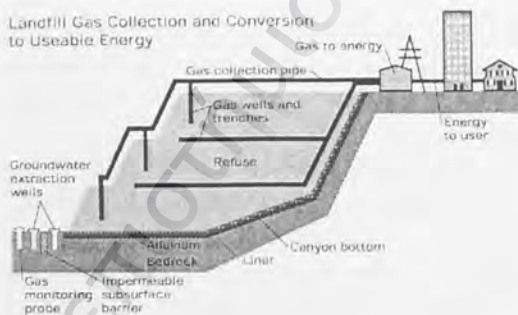
Μεγάλο μέρος των συνηθισμένων οικιακών αποβλήτων- τα αστικά απορρίμματα (MSW–Municipal Solid Wastes) είναι βιολογική ύλη και η διάθεσή τους σε χωματερές αποτελεί τον καταλληλότερο τρόπο για αναερόβια ζύμωση. Η χωματερή αποτελεί ένα τεράστιο βιοαντιδραστήρα, όπου τα θαμμένα απορρίμματα διασπώνται παρουσία μικροοργανισμών. Αποτέλεσμα της διεργασίας είναι ο σημαντικός περιορισμός του όγκου των απορριμμάτων.

Οι συνθήκες που επικρατούν επηρεάζουν άμεσα την πορεία της διεργασίας. Η θερμοκρασία, ο αερισμός, η αλκαλικότητα, το pH, η πυκνότητα των απορριμμάτων και η ηλικία τους είναι οι σημαντικότερες παράμετροι που επιδρούν στην παραγωγή του αερίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρουσία τοξικών ουσιών στα απορρίμματα αναστέλλει τη διεργασία της χώνευσης. Τα απόβλητα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία από ότι στην περίπτωση ενός χωνευτηρίου, ενώ οι συνθήκες δεν είναι τόσο θερμές ούτε τόσο υγρές, οπότε η διεργασία είναι πολύ πιο βραδεία και ολοκληρώνεται μετά από κάποια χρόνια και όχι σε μερικές εβδομάδες.

Η παραγωγή βιοαερίου κατά τον τρόπο αυτόν ήταν γνωστή για δεκαετίες και λόγω του ενδεχόμενου κινδύνου εγκαταστάθηκαν συστήματα συλλογής, για την καύση του αερίου αυτού. Μετά το 1970 αντιμετωπίστηκε με προσοχή η ιδέα της αξιοποίησης

αυτού του ανεπιθύμητου προϊόντος. Το τελικό προϊόν, γνωστό σαν αέριο χωματερής, (LFG–landfill gas), είναι μίγμα που αποτελείται κυρίως από  $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$ . Θεωρητικά, η απόδοση μιας χωματερής κυμαίνεται από 150–300  $\text{m}^3$  αερίου ανά τόνο αποβλήτων (όπως περισυλλέγονται), με περιεκτικότητα 50–60% κατ' όγκο  $\text{CH}_4$ . Αυτό σημαίνει ότι παράγονται 5-6 MJ/kg αποβλήτου, αλλά στην πράξη η απόδοση είναι πολύ μικρότερη [1].

Στην ανάπτυξη ενός χώρου ταφής, η περιοχή καλύπτεται με ένα στρώμα αδιαπέραστο χώμα ή άλλο παρεμφερές αδρανές υλικό, δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες για αναερόβια χώνευση. Τα απορρίμματα τεμαχίζονται και διέρχονται μέσα από κόσκινα, χωρίς να υποστούν καμία επεξεργασία για τη ρύθμιση της υγρασίας, της οξύτητας ή άλλων φυσικοχημικών παραμέτρων. Στη συνέχεια θάβονται και αφήνονται να αποσυντεθούν. Το παραγόμενο αέριο συλλέγεται μέσω δικτύου σωληνώσεων, θαμμένο βαθιά μέσα στον όγκο των απορριμμάτων. Στις νέες χωματερές, οι σωληνώσεις τοποθετούνται πριν αρχίσει η διάθεση των απορριμμάτων. Σε μεγάλης κλίμακας χωματερές, το δίκτυο των σωληνώσεων μπορεί να αντλεί μέχρι και 1.000  $\text{m}^3$  την ώρα (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Σύστημα περισυλλογής του παραγόμενου αερίου σε χωματερή [18]

Η ταυτόχρονη ταφή απορριμμάτων και ενεργού υλός για την παραγωγή αερίου αποδεικνύεται αποδοτικότερη μέθοδος. Η αναλογία μεταξύ των δύο υλικών είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα και την ποσότητα του προϊόντος που παραλαμβάνεται. Η ενδεδειγμένη αναλογία ανάμειξης φαίνεται να είναι 25 % υλός και 75 % απορρίμματα. Ενώ τους 18 πρώτους μήνες παραλαμβάνεται το 50 % του προϊόντος, η διεργασία ολοκληρώνεται τα επόμενα 5 με 15 χρόνια. Είναι φανερό ότι η φάση της μεθανοποίησης ξεκινά αμέσως, συντομεύοντας κατά μια δεκαετία περίπου τη διάρκεια της διεργασίας [19, 20]. Ενώ η ενεργός υλός παρουσιάζει μειωμένη ικανότητα

για την παραγωγή αερίου, η παρουσία της στο μείγμα ρυθμίζει την υγρασία, η οποία πρέπει να κυμαίνεται από 60-80 %.

Προοδευτικά το αέριο των χωματερών χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα οι περισσότερες μονάδες παραγωγής βασίζονται σε μηχανές εσωτερικής καύσης, όπως οι τυπικές μηχανές πλοίων. Γεννήτριες των 500 kW τροφοδοτούνται με παροχή αερίου της τάξεως των 10 GJ την ώρα. Οι σύγχρονοι αεριοστρόβιλοι όμως επιτυγχάνουν καλύτερες αποδόσεις.

### 2.2.6 Ζύμωση

Ζύμωση ονομάζεται η αναερόβια βιολογική διεργασία κατά την οποία τα σάκχαρα μετατρέπονται σε αλκοόλη με τη δράση μικροοργανισμών, συνήθως ζύμης. Προκύπτει κυρίως αιθανόλη και όχι μεθανόλη, αλλά και αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης είτε άμεσα σε κατάλληλα τροποποιημένες μηχανές είτε σαν πρόσθετο στη βενζίνη, που μπορεί να φτάσει και το 20 % (gasohol).

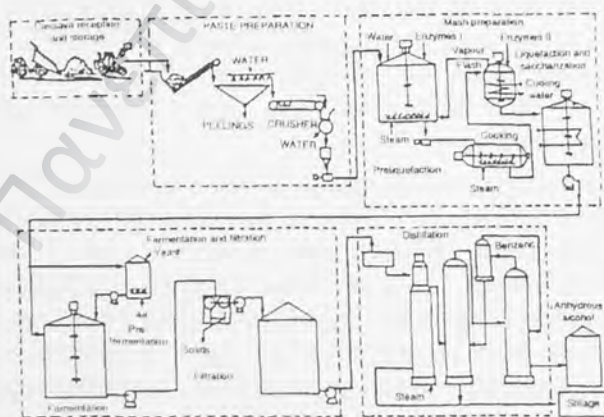
Η αξία του κάθε τύπου βιομάζας σαν πρώτη ύλη για ζύμωση εξαρτάται από τη δυνατότητα του να μετατραπεί σε σάκχαρα. Η καλύτερη πρώτη ύλη είναι τα σακχαροκάλαμα και τα υπολείμματα της αποχύμωσής τους και εν γένει όλα τα υλικά με αυξημένη περιεκτικότητα σε λινίνη και κυτταρίνη. Καλλιέργειες που περιέχουν άμυλο σαν κύριο συστατικό, όπως οι πατάτες και το καλαμπόκι πρέπει να υδρολυθούν, ώστε να μετατραπεί το άμυλο σε σάκχαρο. Η υδρόλυση γίνεται συνήθως με τη χρήση ενζύμων, όπως κατά την παραγωγή ορισμένων αλκοολούχων ποτών. Ακόμα και το ξύλο μπορεί να αποτελέσει τροφοδοσία, αλλά η κυτταρίνη δεν μπορεί να διασπαστεί σε σάκχαρα με τη δράση ενζύμων ή οξέων, οπότε δημιουργούνται επιπρόσθετα προβλήματα στη διεργασία.

Στο πρώτο στάδιο της διεργασίας, η βιομάζα τεμαχίζεται στο κατάλληλο μέγεθος και στη συνέχεια υφίσταται θερμική επεξεργασία με θεικό οξύ για τη διαλυτοποίηση των κυτταρινούχων συστατικών. Το στάδιο αυτό προετοιμάζει την πρώτη ύλη για το επόμενο στάδιο, καθιστώντας την πιο ευαίσθητη στη δράση των μικροοργανισμών. Το προϊόν διαχωρίζεται σε δύο φάσεις. Στην υγρή φάση, συγκεντρώνονται τα σάκχαρα, ενώ η στερεή φάση είναι πλούσια σε κυτταρίνη και παρουσιάζει βελτιωμένη συμπεριφορά στη δράση των ενζύμων. Οι δύο φάσεις κατεργάζονται στη συνέχεια ξεχωριστά. Το υγρό υφίσταται ζύμωση από εξειδικευμένους μικροοργανισμούς, ενώ η στερεή φάση υδρολύεται από τα αντίστοιχα ένζυμα και μετατρέπεται σε γλυκόζη. Η γλυκόζη αυτή στη συνέχεια υφίσταται ζύμωση και μετατρέπεται σε αλκοόλη, (Σχήμα 10), [21, 22].

Το υγρό που προκύπτει από τη ζύμωση περιέχει περίπου 10% αιθανόλη, η οποία αποστάζεται πριν χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο. Το ενεργειακό περιεχόμενο του τελικού προϊόντος είναι περίπου 30 GJ ανά τόνο ή 24 GJ m<sup>-3</sup>. Η όλη διεργασία απαιτεί σημαντικό ποσό ενέργειας, το οποίο συνήθως παρέχεται από υπολείμματα καλλιεργειών (όπως τα κατάλοιπα αποζύμωσης των σακχαροκάλαμων, ή οι μίσχοι και οι κώνοι του καλαμποκιού). Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει την απόδοση που επιτυγχάνεται ανά τόνο πρώτης ύλης και ανά εκτάριο γης για διάφορες καλλιέργειες. Η απώλεια ενέργειας κατά τη ζύμωση είναι σημαντική, αλλά αντισταθμίζεται από την ευκολία στη μεταφορά του υγρού προϊόντος και από το συγκρίσιμα χαμηλότερο κόστος και τη γνώση της τεχνολογίας.

Πίνακας 6. Αποδόσεις αιθανόλης

Πρώτη ύλη	Απόδοση	
	Λίτρα ανά τόνο	Λίτρα ανά εκτάριο το έτος
Σακχαροκάλαμο	70	400-12000
Καλαμπόκι	360	250-2000
Ταπίοκα	180	500-4000
Γλυκοπατάτες	120	1000-4500
Ξύλο	160	160-4000



Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής παραγωγής αιθανόλης από ταπίοκα [22]

Στη Βραζιλία, πάνω από 100 δισεκατομμύρια λίτρα αιθανόλης έχουν παραχθεί από την αρχή της εφαρμογής του προγράμματος 'ProAlcool' που ξεκίνησε το 1975 βασισμένο στην υπάρχουσα βιομηχανίας ζάχαρης. Από την εφαρμογή του προγράμματος, έχουν εξοικονομηθεί τεράστια ποσά από τον περιορισμό των εισαγωγών πετρελαιοειδών και επομένως έχει περιοριστεί το εξωτερικό χρέος της χώρας. Πάνω από 4 εκατομμύρια οχήματα στη Βραζιλία κινούνται με καθαρή αιθανόλη και τα υπόλοιπα 9 εκατομμύρια χρησιμοποιούν μίγμα βενζίνης με 20% αιθανόλη. Πολλά από τα τεχνικά προβλήματα της μεγάλης κλίμακας παραγωγής (12 δισεκατομμύρια λίτρα το χρόνο) ξεπεράστηκαν, αλλά πολλά προβλήματα παρουσιάζονται μεταξύ των καλλιεργητών και των παραγωγών αιθανόλης, ενώ η κυβέρνηση και η εθνική εταιρία πετρελαίου περιόρισαν τους ρυθμούς παραγωγής της αιθανόλης τα τελευταία χρόνια.

Σε μικρότερη κλίμακα, η Ζιμπάμπουε εφαρμόζει ένα επιτυχές ολοκληρωμένο πρόγραμμα (40 εκατομμύρια λίτρα ετησίως) παραγωγής ζάχαρης, αιθανόλης, διοξειδίου του άνθρακα, ζωοτροφές και ηλεκτρισμό. Παράλληλα χρησιμοποιεί όλα τα υπολείμματα της απόσταξης αιθανόλης σαν υποκατάστατο λιπάσματος για την καλλιέργεια των σακχαροκάλαμων. Παρόμοιες μονάδες μικρής κλίμακας λειτουργούν στην Κένυα και το Μαλάουι.

Η παρακμή της βιομηχανίας ζάχαρης στην περιοχή της Καραϊβικής μπορεί να σταματήσει με την εισαγωγή νέων τύπων σακχαροκάλαμων, ενεργειακά πλουσιότερων. Σε συνδυασμό με την πλήρη εκμετάλλευση των υπολειμμάτων του σακχαροκάλαμου, προκύπτει σημαντική τροφοδοσία, τόσο για την παραγωγή ζάχαρης, όσο και για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Σε σύγκριση με τα απλά σακχαροκάλαμα, οι ετήσιοι βαθμοί απόδοσης των 30-40 τόνων ανά εκτάριο, τα ενεργειακά σακχαροκάλαμα αποδίδουν 60-70 τόνους ανά εκτάριο. Παρόλο που η απόδοση σε ζάχαρη περιορίζεται και η αντίσταση στην πολτοποίηση αυξάνεται, η αυξημένη απόδοση σε ενέργεια αντισταθμίζει τα παραπάνω μειονεκτήματα. Μάλιστα γίνεται και η σκέψη να καίγονται απευθείας τα σακχαροκάλαμα χωρίς να γίνεται παραλαβή της ζάχαρης.

Το πλεόνασμα καλαμποκιού στις ΗΠΑ αξιοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης, η οποία αναμειγνύεται με βενζίνη σε ποσοστό μέχρι 10% κατ' όγκο. Το 1994, σε 22 πολιτείες παρήχθησαν 3.4 δισεκατομμύρια λίτρα σε μονάδες απόσταξης και η δυναμικότητα αυξάνεται συνεχώς. Η προσπάθεια αυτή υποστηρίζεται και χρηματοδοτείται από την κυβέρνηση και από ομοσπονδιακές χορηγίες. Αυτή τη στιγμή βιοαιθανόλη δεν χρησιμοποιείται στη Μ. Βρετανία, όμως από μελέτες του Υπουργείου Ενέργειας (Magow, 1987) προκύπτει το συμπέρασμα ότι τουλάχιστον 5% των αναγκών σε υγρά καύσιμα μπορεί να καλυφθεί χωρίς να επηρεαστεί η αγροτική παραγωγή. Η αντιστοιχη Ευρωπαϊκή Οδηγία επιτρέπει τη χρήση αιθανόλης σε ποσοστό μέχρι 7% σε όλη την Ευρώπη, ενώ ταυτόχρονα προτείνει και φορολογικά κίνητρα για τα υγρά βιοκαύσιμα.

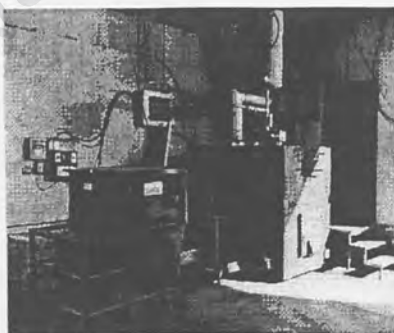
## 2.3 Εμπορική Αξιοποίηση της Βιομάζας

### 2.3.1 Θέρμανση χώρων

Τα συστήματα θέρμανσης από βιομάζα αποτελούνται από ένα πλήθος στοιχείων, συμπεριλαμβανομένης της μονάδας παραγωγής θερμότητας, το σύστημα διανομής της θερμότητας, το σύστημα τροφοδοσίας και από εφεδρικό καυστήρα πετρελαίου για την ικανοποίηση των φορτίων αιχμής.

#### 2.3.1.1 Σύστημα καύσης

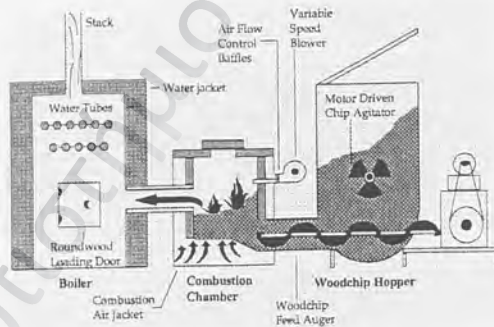
Η μονάδα παραγωγής θερμότητας είναι σχεδιασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί το ετήσιο ενεργειακό φορτίο βάσης, ενώ ο καυστήρας πετρελαίου σχεδιάζεται ώστε να ικανοποιεί ένα μικρό ποσοστό της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης κατά της περιόδους αιχμής. Επιπλέον, τοποθετείται εφεδρικός καυστήρας για την περίπτωση που το σύστημα παραγωγής θερμότητας σταματήσει να λειτουργεί ή για την περίπτωση που η τροφοδοσία με βιομάζα δεν είναι ικανοποιητική [23].



Σχήμα 11. Τυπική μονάδα θέρμανσης με βιομάζα για οικιακή χρήση

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα που απευθύνονται σε μικρές κοινότητες διακρίνονται σε μικρά-εμπορικά, μικρά-βιομηχανικά και μέσου μεγέθους. Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους εξαρτάται από το θερμικό φορτίο, το διαθέσιμο κεφάλαιο για την επένδυση, και την οικονομική βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επιλογής. Τα μικρά εμπορικά συστήματα είναι χαμηλού σχετικά κόστους. Το σύστημα τροφοδοσίας αποτελείται από ένα κοχλία με κοπτήρες, όπου κονιορτοποιείται το καύσιμο και στη συνέχεια μεταφέρεται στον καυστήρα, χωρητικότητας 4–6 m<sup>3</sup> [23].

Το νερό στο λέβητα απορροφά θερμότητα από τον καυστήρα και τα καυσαέρια. Η έξοδος του καυστήρα ρυθμίζεται από ένα σχετικά απλό σύστημα ελέγχου. Όταν η θερμοκρασία του νερού πέσει κάτω από μια ορισμένη τιμή, τότε ο θερμοστάτης του λέβητα αυξάνει την παροχή του καυσίμου και ταυτόχρονα μπαίνει σε λειτουργία ο ανεμιστήρας, ώστε να δημιουργηθεί φλόγα ικανή να ανεβάσει τη θερμοκρασία του νερού σε ικανοποιητικά επίπεδα. Τότε ο θερμοστάτης δίνει νέο σήμα για να περιοριστεί η καύση σε επίπεδο τέτοιο που να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία. Ο ανεμιστήρας σταματά και η τροφοδοσία του ξύλου περιορίζεται στην απαραίτητη ποσότητα για τη διατήρηση της φλόγας.



Σχήμα 12. Μικρής κλίμακας καυστήρας εμπορικού συστήματος τηλεθέρμανσης

Η χοάνη τροφοδοσίας για τα μικρού μεγέθους συστήματα συνήθως χρειάζεται πλήρωση δύο φορές την ημέρα. Σε περιόδους πολύ εντατικής λειτουργίας καταναλώνεται και τρίτο φορτίο ξύλα. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την πλήρωση της τροφοδοσίας δεν ξεπερνά τα δεκαπέντε λεπτά. Επίσης μια φορά την ημέρα πρέπει να απομακρύνεται η στάχτη [23].

Οι μικρής κλίμακας εμπορικές μονάδες χρησιμοποιούν είτε πριονίδι, είτε μικρά κομμάτια ξύλου. Και τα δύο υλικά είναι αξιόπιστα, αλλά και σχετικά φτηνά, συγκριτικά

με την απαιτούμενη πρώτη ύλη από μικρές βιομηχανικές μονάδες ανάλογης δυναμικότητας. Όταν παρουσιάζονται αυξημένες απαιτήσεις σε θέρμανση υπάρχει η δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας δύο μονάδων μικρής κλίμακας. Η μία μονάδα λειτουργεί μόνιμα σε όλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, ενώ η δεύτερη μπαίνει σε λειτουργία όταν οι απαιτήσεις σε θερμικό φορτίο αυξάνονται πολύ. Συμβατικοί καυστήρες μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα για την κάλυψη των φορτίων αιχμής. Σ' ένα σωστά διαστασιολογημένο σύστημα δύο καυστήρων, η υποκατάσταση των θερμικών φορτίων από συμβατικά καύσιμα, μπορεί να φτάσει το 80 με 100%.

### 2.3.1.2 Σύστημα διανομής θερμότητας

Ένα σύστημα σωληνώσεων ξεκινά από τους λέβητες του συστήματος καύσης και τροφοδοτεί με ζεστό νερό τα κτίρια που ανήκουν στο σύστημα. Το κρύο νερό επιστρέφει στους λέβητες για να θερμανθεί ξανά. Μια μικρή μονάδα βιομάζας καλύπτει επαρκώς τις θερμικές απαιτήσεις των εμπορικών και δημόσιων κτιρίων σε ακτίνα 50 μέτρων περίπου. Κατάλληλα κτίρια για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος τηλεθέρμανσης είναι κλινικές, νοσοκομεία, σχολεία, δημοτικά καταστήματα αλλά ακόμα και κτίρια με κατοικίες ή χώροι αναψυχής.

Οι σωληνώσεις είναι από χάλυβα ενώ επενδύονται εξωτερικά με φύλλο πολυουρεθάνης για τον περιορισμό των απωλειών. Πρόσθετο μέτρο περιορισμού των απωλειών είναι η τοποθέτησή τους βαθιά στο έδαφος, κάτω από το βάθος που σημειώνεται παγετός. Η διανομή της θερμότητας στα κτίρια γίνεται είτε με υποδαπέδιο σύστημα σωληνώσεων, είτε με παροχέτευση θερμού αέρα, είτε με επιδαπέδια καλοριφέρ [23].

Ένα σύστημα τηλεθέρμανσης με βιομάζα είναι οικονομικά προσφορότερο μόνο στις περιπτώσεις που αντικαθιστά σύστημα θέρμανσης από πετρέλαιο, προπάνιο ή ηλεκτρισμό. Επίσης προσφέρει μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως υψηλότερη απόδοση κατά την καύση, περιορισμένες εκπομπές, άνεση, αυξημένη ασφάλεια και λειτουργική άνεση. Επομένως, πρέπει να μελετάται και η περίπτωση τηλεθέρμανσης μικρών μονοκατοικιών με συστήματα βιομάζας, αν τα πλεονεκτήματα αυτά κρίνονται σημαντικά για την κοινωνία μιας περιοχής.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα συστήματα με βιομάζα δεν είναι πλήρως αυτοματοποιημένα. Επομένως απαιτείται η παρουσία κάποιων χειριστών του συστήματος σε όλη την περίοδο λειτουργίας του. Η παρουσία του ανθρώπου είναι απαραίτητη για τη συγκέντρωση της πρώτης ύλης, την τροφοδοσία του καυστήρα αλλά και την απομάκρυνση της τέφρας. Είναι δηλαδή φανερό ότι η επιτυχία ενός τέτοιου συστήματος βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στην αξιοπιστία των χειριστών του.



### 2.3.1.3 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Είναι φανερό ότι η λογική εκμετάλλευση της δασικής ύλης, εξασφαλίζει τη διατήρηση και την ανανέωση του δάσους. Σε μια κοινότητα που υπάρχει σύστημα τηλεθέρμανσης το οποίο λειτουργεί με υπολείμματα ξυλείας, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα της επιτόπου παραγωγής της πρώτης ύλης. Το μέγεθος και η ποσότητα της ξυλείας που μπορεί να συλλεχθεί περιορίζεται από το μέγεθος των διαθέσιμων μηχανημάτων, το οποίο με τη σειρά του περιορίζεται από το κόστος των μηχανημάτων αυτών.

### 2.3.2 Παραγωγή ηλεκτρισμού από αεριοστρόβιλους

Ένας πιθανός τρόπος αξιοποίησης του καθαρού βιοαερίου που προκύπτει από τους αεριοποιητές βιομάζας είναι με αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε τοπική κλίμακα. Μια μονάδα αεριοστρόβιλου είναι παρόμοια με τους συμβατικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, με εξαίρεση το χρησιμοποιούμενο μέσο για την περιστροφή του στρόβιλου. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει ατμός σαν λειτουργούν μέσο, αλλά θερμά καυσαέρια. Αύξηση της θερμοκρασίας κατ' αυτόν τον τρόπο αυξάνει τη θερμοδυναμική απόδοση. Προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση των πτερυγίων, τα καυσαέρια πρέπει να είναι καθαρά, γι' αυτό και σήμερα σχεδόν όλες οι υπάρχουσες μονάδες αεριοστρόβιλων λειτουργούν με φυσικό αέριο [1].

Η αντικατάσταση του φυσικού αερίου από βιοαέριο έχει διπλό όφελος. Αφ' ενός γίνεται εξοικονόμηση ενός πρωτογενούς καυσίμου και αφ' ετέρου μειώνονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, λαμβάνοντας υπόψη ότι ισχύει η παραδοχή περί ουδετερότητας της βιομάζας ως προς το σχηματισμό CO<sub>2</sub>. Η μεθοδολογία αυτή είναι η καταλληλότερη για την αποτελεσματική αξιοποίηση του βιοαερίου που προκύπτει από την εκμετάλλευση των υδρόβιων καλλιεργειών.

Σε πολλές περιπτώσεις, η μονάδα αξιοποίησης των αποβλήτων είναι σύστημα συμπαραγωγής, όπου η παραγόμενη θερμότητα καλύπτει τις θερμικές απαιτήσεις της μονάδας μετατροπής της βιομάζας. Για το σκοπό αυτό, οι αεριοστρόβιλοι ψεκασμού του ατμού (STIG-*Steam injected gas turbine*) είναι οι καταλληλότεροι. Ο στρόβιλος κινείται από το συνδυασμό των αερίων της καύσης και ατμού υψηλής πίεσης, οπότε η μονάδα πρέπει να διαθέτει και τμήμα παραγωγής ατμού, οπότε η μονάδα μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις θέρμανσης. Το σύστημα στην περίπτωση αυτή αποκαλείται ολοκληρωμένο σύστημα αεριοποίησης



απορριμμάτων, όπως συλλέγονται, είναι λιγότερη από 2 GJ, αλλά με το σχεδιασμό πιο σύγχρονων χωματερών αναμένεται αύξηση της απόδοσης.

Τέλος, η οικονομικότητα μιας τέτοιας μονάδας είναι ελκυστική. Λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση τέτοιων μονάδων, προκύπτει ότι για 25 Mt οικιακών απορριμμάτων το χρόνο, από τα οποία το 90 % θάβονται, η πηγή ενέργειας είναι ικανοποιητική. Με απόδοση περίπου 150 m<sup>3</sup> αερίου ανά τόνο αστικών απορριμμάτων, προκύπτει συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 5 TWh το χρόνο με τις συγκεκριμένες μονάδες αξιοποίησης του βιοαερίου. Με αυτή την απόδοση είναι φανερό ότι το βιοαέριο μπορεί να αντικαταστήσει μια μεγάλη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικά καύσιμα ή μια μονάδα πυρηνικής ενέργειας.

## 2.4 Τεχνολογικές Προοπτικές

Κατά την επόμενη δεκαετία, τεχνολογίες που σήμερα είναι υπό ανάπτυξη, θα δώσουν νέους τρόπους αξιοποίησης της βιομάζας σαν ένα καθαρό καύσιμο με υψηλό βαθμό μετατροπής.

### 2.4.1 Ενέργεια από αεριοστρόβιλους

Η σημαντική εξέλιξη των αεριοστρόβιλων, που ενισχύθηκε από την αεροπορική βιομηχανία, και η ανάπτυξη αξιόπιστων συστημάτων αεριοποίησης για καθαρή καύση του άνθρακα άνοιξαν το δρόμο για υψηλούς βαθμούς μετατροπής και ευέλικτα συστήματα μετατροπής της βιομάζας σε ηλεκτρισμό, δυναμικότητας 20–100 MW.

Αεριοστρόβιλοι ψεκασμού του ατμού (STIG–Steam-injected gas turbines) χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 80, αρχικά τροφοδοτούμενοι από φυσικό αέριο και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν με αεριοποιημένο άνθρακα. Βελτιωμένη έκδοση των στρόβιλων αυτών, οι εσωτερικά ψυχόμενοι STIG μπορούν να λειτουργήσουν με εξίσου υψηλή απόδοση, αλλά σε πολύ χαμηλότερο μοναδιαίο κόστος. Ο συνδυασμός ενός αεριοποιητή βιομάζας με ένα αεριοστρόβιλο παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Η υψηλή δραστηριότητα και η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο των περισσότερων βιοπόρων, τους καθιστά την τέλεια τροφοδοσία για συσκευές αεριοποίησης.

Οι απαιτήσεις μιας τοπικής μονάδας όσον αφορά τον μηχανολογικό εξοπλισμό καλύπτονται ικανοποιητικά από τους αεριοστρόβιλους που χρησιμοποιούνται στην αεροπορική βιομηχανία με ελαφρές μόνο μετατροπές. Το πλεονέκτημα από την χρήση αυτού του εξοπλισμού είναι η ύπαρξη ενός πολύ καλού δικτύου τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης. Δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος της τεχνολογίας υπάρχει στην αγορά, πολλά πιλοτικά προγράμματα έχουν ξεκινήσει ή βρίσκονται στη φάση του σχεδιασμού με στόχο να δείξουν την υψηλή απόδοση μετατροπής των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων σε ηλεκτρισμό [1].

Παρόλο που η ανάπτυξη ειδικών ενεργειακών καλλιεργειών έχει προχωρήσει αρκετά, οι κύριες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας για την κάλυψη των απαιτήσεων της βιομηχανίας επεξεργασίας αγροτικών και δασικών προϊόντων, εκεί όπου τα υπολείμματα βιομάζας είναι διαθέσιμα και έτοιμα προς χρήση σαν βιοκαύσιμο. Για παράδειγμα, μια μονάδα παραγωγής ζάχαρης παράγει περίπου 15-25 kWh ανά τόνο σακχαροκάλαμου που επεξεργάζεται, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων καταναλώνεται από την ίδια τη διεργασία. Η βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης των υπολειμμάτων για την παραγωγή ηλεκτρισμού με τους συνηθισμένους ατμοστρόβιλους μπορεί να φτάσει στις 100 kWh ανά τόνο σακχαροκάλαμου, όμως η υιοθέτηση των τεχνολογικά σύγχρονων αεριοστρόβιλων θα οδηγήσει σε αποδόσεις 240-280 kWh ανά τόνο πρώτης ύλης. Το γεγονός αυτό θα δώσει τη δυνατότητα στη βιομηχανία ζάχαρης στις αναπτυσσόμενες χώρες να στραφούν και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

#### *2.4.2 Κτυφές καυσίμου από βιομάζα*

Η καύση της βιομάζας έχει δύο χαρακτηριστικά κοινά με όλες τις διεργασίες καύσης. Κατ' αρχήν, ο αέρας περιέχει περίπου 78% άζωτο και η καύση οποιουδήποτε καυσίμου οδηγεί στο σχηματισμό οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα οποία συνεισφέρουν στο σχηματισμό φωτοχημικού νέφους αλλά και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υπάρχουν ανυπέρβλητοι φυσικοί περιορισμοί στη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε θερμότητα και στη συνέχεια σε ηλεκτρισμό, οπότε τουλάχιστον η μισή ενέργεια χάνεται κατά τη μετατροπή. Και τα δύο μειονεκτήματα θα μπορούσαν να αποφευχθούν αν η μετατροπή της βιομάζας γινόταν σε κελί.

Στον τομέα των μεταφορών, φωτοηλεκτρικά κελιά αναπτύσσονται από την General Motors και άλλους κατασκευαστές προκειμένου να εναρμονιστούν με τις απαιτήσεις της Καλιφόρνια για οχήματα "μηδενικών εκπομπών". Τέτοια αυτοκίνητα θα μπορούσαν να κινηθούν με υδρογόνο από την υδρόλυση νερού στις απομακρυσμένες περιοχές ή εναλλακτικά από μεθανόλη η οποία θα παράγεται από τη βιομάζα.

Το βιοαέριο θα μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται στο μέλλον σαν μια πηγή "περιορισμένης ισχύος" σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής υδρογόνου. Κονιοποιημένος σίδηρος και νερό χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου όπου και όποτε απαιτείται. Η βιομάζα χρησιμοποιείται για την ανάκτηση των οξειδίου του σιδήρου σε σίδηρο προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθεί. Οχήματα με ηλεκτρολυτικά κελιά σαν καύσιμο παρέχουν ένα καθαρό, υψηλής απόδοσης μέσο μεταφοράς, χρησιμοποιώντας τη βιομάζα σαν πηγή ενέργειας και το υδρογόνο σαν το μέσο μεταφοράς της ενέργειας αυτής. Ωστόσο είναι συζητήσιμο εάν τα οχήματα που θα κινούνται κατά αυτό τον τρόπο είναι οικονομικά βιώσιμα απέναντι στα οχήματα με συμβατικά καύσιμα [1].

#### 2.4.3 Παραγωγή καυσίμου με φωτοβιολογικό τρόπο

Καύσιμα όπως το υδρογόνο και άλλες πλούσιες ενεργειακά ενώσεις και στοιχεία, όπως η αμμωνία μπορούν να παραχθούν με φωτοβιολογικό και φωτο(ηλεκτρο)χημικό τρόπο, με μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε καύσιμα και χημικές ουσίες με υψηλότερη απόδοση από ότι η φυσική διεργασία της φωτοσύνθεσης. Αυτές οι τεχνολογίες παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ειδικότητας και εμπλέκουν τόσο φυσικά όσο και τεχνητά φωτοευαίσθητα στοιχεία και μπορούν να αποδώσουν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό δεσμεύοντας έστω και ένα πολύ μικρό κλάσμα από την προσφερόμενη ηλιακή ακτινοβολία.

Τέτοια συστήματα εμπλέκουν ζωντανούς οργανισμούς (άνωτερα φυτά, φύκη και κυανοβακτήρια) ή τμήματα των φυτών όπως χλωροπλάστες και ένζυμα. Αντιθέτως, τα φωτοχημικά συστήματα απορροφούν ενέργεια από μη ζώντα οργανικά ή ανόργανα μόρια (χρώματα, ημιαγωγούς κλπ) σε διάλυση ή αιώρηση. Ο άνωτερος στόχος των μεθόδων αυτών είναι η μίμηση της διεργασίας της φωτοσύνθεσης χωρίς να χρειάζεται η στρατολόγηση χρήσιμης γης, νερού και λιπασμάτων.

"Φωτοβιοαντιδραστήρες" σχεδιάστηκαν τόσο για τα βακτήρια όσο και για τα κυανοφύκη Εκτός από την εμπορική παραγωγή τροφής και χημικών υψηλής προστιθέμενης αξίας από φύκη και κυανοβακτήρια, οι περισσότερες από τις τεχνολογίες βρίσκονται υπό ανάπτυξη σε εργαστηριακή κλίμακα μόνο. Τελικά, τέτοιου είδους συστήματα μπορούν να βελτιστοποιηθούν για την εμπορική παραγωγή υδρογόνου και τη ρύθμιση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ή για τον καθαρισμό των αποβλήτων της επεξεργασίας αγροτικών και δασικών προϊόντων.

Μονάδες "φωτοβιοαντιδραστήρων" χρησιμοποιούνται ήδη για φωτοσυνθετικά βακτήρια και κυανοφύκη. Ωστόσο πέρα από την εμπορική παραγωγή τροφής και χημικών υψηλής τεχνολογίας που προέρχονται από φύκη και κυανοβακτήρια, οι περισσότερες εφαρμογές των παραπάνω μεθόδων είναι ακόμα σε εργαστηριακή κλίμακα. Τελικά, τέτοια συστήματα αναμένεται να βελτιστοποιηθούν για την εμπορική παραγωγή υδρογόνου και τη σταθεροποίηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ή για τον καθαρισμό των υπολειμμάτων της επεξεργασίας γεωργικών και δασικών προϊόντων. Ωστόσο, για την εμπορική βιωσιμότητά τους, απαιτείται η ανάπτυξη αξιόπιστων συστημάτων παράλληλα με τη δραματική μείωση του κόστους τους.

## **2.5 Δυναμικό της Βιομάζας**

Η φυσική ανανέωση της βιομάζας αντιπροσωπεύει μια πηγή ενέργειας ισοδύναμη με 3000 EJ το χρόνο, από τα οποία μόνο το 2 % είναι εκμεταλλεύσιμο. Πηγές της βιομάζας θεωρούνται τα υπολείμματα της δασικής ύλης που προκύπτουν από την υλοτόμηση και την επεξεργασία του ξύλου, τα υπολείμματα των αγροτικών καλλιεργειών και της αγροτικής βιομηχανίας, τα υπολείμματα της κτηνοτροφίας, τα αστικά απορρίμματα και απόβλητα αλλά και οι ενεργειακές καλλιέργειες.

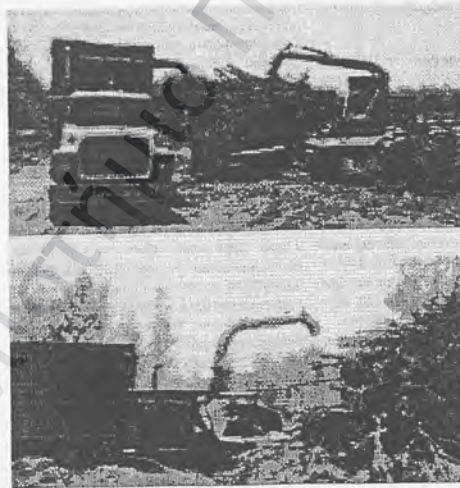
Όλες οι δραστηριότητες που επιτελούνται στη γη και σχετίζονται με συγκεκριμένα βιολογικά είδη έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία υπολειμμάτων, τα οποία όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά. Ανάλογα με το στάδιο του κύκλου ζωής του συστήματος, η βιομάζα χαρακτηρίζεται διαφορετικά. Έτσι διακρίνονται τρεις τύποι βιομάζας:

- η *πρωτογενής*, που προκύπτει στο τόπο της δραστηριότητας,
- η *δευτερογενής*, όπου η βιομάζα προκύπτει ως προϊόν κάποιας επεξεργασίας,
- και η *τριτογενής*, όπου η βιομάζα είναι απορριπτόμενο προϊόν κατανάλωσης από τον τελικό χρήστη.

Ειδικότερα για την τριτογενή βιομάζα, αυτή προκύπτει από την τελική χρήση ή την κατανάλωση των κύριων προϊόντων των βιολογικών συστημάτων. Τα υπολείμματα που προκύπτουν είναι κυρίως απόβλητα ανθρώπινης δραστηριότητας και εντοπίζονται στα αστικά κέντρα ή σε χώρους όπου συντελείται η διεργασία παραγωγής τους. Και στις δύο περιπτώσεις, αυτός ο τύπος βιομάζας συνήθως εντάσσεται στον όγκο των αστικών απορριμμάτων.

### 2.5.1 Υπολείμματα ξυλείας

Διαδικασίες όπως η αραιώση των φυτειών, η υλοτόμηση και το κλάδεμα των δέντρων οδηγεί στο σχηματισμό μεγάλων ποσοτήτων δασικών υπολειμμάτων. Μέχρι σήμερα, οι ποσότητες αυτές σαπίζουν επί τόπου, ακόμα και σε χώρες που υπάρχει έλλειψη καυσίμων, ενώ μπορούν να αξιοποιηθούν σαν καύσιμο σε αγροτικές βιομηχανίες και σε οικίες στη γειτονική περιοχή. Ο όγκος τους και η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία κάνουν ασύμφορη τη μεταφορά τους. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου το κάρβουνο είναι σημαντικό καύσιμο, η επί τόπου ξήρανση μειώνει το μεταφορικό κόστος. Η χρήση μηχανών για θέρισμα και κλάδεμα (Σχήμα 14) στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική τα τελευταία 15 χρόνια, βοήθησε στη συλλογή υπολειμμάτων δασικής ύλης, τα οποία μπορούν να ξηραθούν και να καούν σε καυστήρες ξύλου.



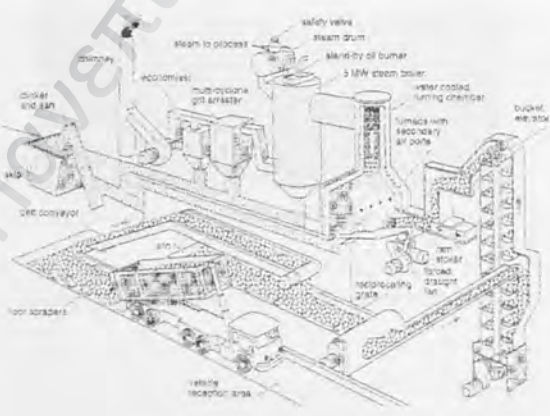
Σχήμα 14. Αυτοματοποιημένη κοπή και συλλογή δασικής ύλης

Η απόδοση της συλλογής των υπολειμμάτων της δασικής ύλης ποικίλει ανάλογα με το είδος της ξυλείας, αλλά και την περιοχή. Για κάθε ένα κυβικό μέτρο ωφέλιμης ξυλείας, απομένουν στο δάσος άλλο ένα με δύο κυβικά μέτρα δασικής ύλης, με τη μορφή υπολείμματος. Πρόκειται για κορυφές και κλαδιά των υλοτομούμενων δέντρων, τα

οποία δεν έχουν εμπορική αξία, αλλά και για ξυλεία που καταστρέφεται κατά την υλοτόμηση ή παρουσιάζει φυσικά ελαττώματα [1].

Σημαντικές ποσότητες υπολειμμάτων σχηματίζονται και στα πριονιστήρια, όπου επεξεργάζεται η ξυλεία. Με βάση εκτιμήσεις του FAO, από τα πριονιστήρια εξέρχεται μόνο το 50% της εισερχόμενης ξυλείας. Οι απώλειες οφείλονται αφενός στην επεξεργασία που υφίσταται η ξυλεία (κοπή, αποφλοιώση, κλπ) και αφετέρου στην ξήρανση. Από την ποσότητα των υπολειμμάτων που προκύπτουν, το 25% περίπου είναι με τη μορφή πριονιδιού ενώ το υπόλοιπο 75% είναι στερεά υπολείμματα. Τέλος, οι μονάδες κατασκευής σανιδιών δημιουργούν υπολείμματα, τα οποία ανέρχονται στο 50% περίπου της πρώτης ύλης που χρησιμοποιούν. Ωστόσο, σημαντικό ποσοστό των υπολειμμάτων αυτών, χρησιμοποιείται από την ίδια τη βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου για την παρασκευή πεπιεσμένου ξύλου.

Η χρήση των δασικών υπολειμμάτων για την παραγωγή ατμού θέρμανσης (Σχήμα 15) και/ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζεται προοδευτικά όλο και περισσότερο σε πολλές χώρες. Στην Αυστρία, περίπου 1250 MW παράγονται από καυστήρες ξύλου για οικιακή χρήση και για τηλεθέρμανση, με καύση υπολειμμάτων, φλοιών και κομματιών ξύλου. Τα περισσότερα από τα συστήματα τηλεθέρμανσης είναι της τάξεως του 1-2 MW, ενώ υπάρχουν και λίγες μονάδες μεγαλύτερης ισχύος (15 MW) και ένας αριθμός μονάδων συμπαραγωγής μικρής κλίμακας. Στη Σουηδία, όπου η βιομάζα ήδη καλύπτει το 15% των αναγκών σε πρωτογενή ενέργεια, τα δασικά υπολείμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας ξύλου συνεισφέρουν περισσότερο από 200 PJ  $y^{-1}$ , κυρίως σαν καύσιμο για μονάδες συμπαραγωγής [1].



Σχήμα 15. Μονάδα παραγωγής ατμού με καυστήρα ξύλου



Εξαιτίας της μεγάλης απόστασης στην οποία συνήθως βρίσκονται τα δάση από τις μονάδες εκμετάλλευσης, είναι δύσκολη η αξιοποίησή τους, οπότε μόνο το ένα τρίτο περίπου μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά εκμεταλλεύσιμο. Τέλος το κεφάλαιο που απαιτείται για τον απαραίτητο εξοπλισμό είναι τέτοιο, που οι επενδύσεις είναι οικονομικά βιώσιμες μόνο σε αγορές που είναι πλήρως σταθεροποιημένες.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 16) φαίνονται τα διαφορετικά υπολείμματα που προκύπτουν ανάλογα με το στάδιο παραγωγής τους. Με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν τα υπολείμματα της υλοτόμησης, τα φύλλα, τα κλαδιά και το πριονίδι κατατάσσονται στην πρωτογενή βιομάζα, ενώ από την επεξεργασία του ξύλου στις αντίστοιχες βιομηχανίες προκύπτει η δευτερογενής βιομάζα, η οποία περιλαμβάνει κλαδιά, φλοιούς, ρετσίνι κλπ. [1, 9].



Σχήμα 16. Υπολείμματα δασικών προϊόντων

### 2.5.2 Γεωργικά υπολείμματα

Τα φυτικά και ζωικά υπολείμματα παρέχουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε πολλές χώρες, ενώ έρχονται σε δεύτερη μοίρα μόνο ως προς το ξύλο, το οποίο είναι το κύριο βιοκαύσιμο σε παγκόσμια κλίμακα. Εκτιμάται ότι περίπου 110 Mt κοπριάς και υπολειμμάτων από καλλιέργειες χρησιμοποιήθηκαν στην Ινδία σαν καύσιμο το 1985 σε σχέση με 133 Mt ξύλου, ενώ στην Κίνα η ποσότητα των διαθέσιμων υπολειμμάτων εκτιμάται σε 2.2 φορές την ποσότητα των καυσόξυλων [1]. Οι περιορισμοί στην ανεξέλεγκτη καύση του άχρτου που τέθηκαν στην Ευρώπη, τόνισαν τη σημασία των υπολειμμάτων των καλλιεργειών και τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και καθαρά.

Σημαντικές ποσότητες υπολειμμάτων σχηματίζονται κάθε χρόνο από τις μονοετείς καλλιέργειες. Οι καλλιέργειες ρυζιού, σιταριού, σακχαροκάλαμων, καλαμποκιού και σόγιας, καρυδιών και άλλων καρπών αποτελούν μια πλούσια ενεργειακή πηγή. Ορισμένες ποσότητες από τα υπολείμματα αυτά δεσμεύονται για την παραγωγή ζωοτροφών, για την παρασκευή χαρτοπολτού και οικοδομικών υλικών. Παρόλα αυτά απομένουν σημαντικές ποσότητες, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά.

Κάθε χρόνο παράγονται 14 εκατομμύρια τόνοι άχυρο μόνο στη Μ. Βρετανία, ποσότητα υπερδιπλάσια των αναγκών. Μέχρι πρόσφατα, οι ποσότητες αυτές καίγονταν επί τόπου ή θάβονταν στο έδαφος, αλλά με βάση τη νέα περιβαλλοντική νομοθεσία πρέπει να περιοριστεί η ελεύθερη καύση τους στους αγρούς. Το ενεργειακό περιεχόμενο τους ανέρχεται σε 100 PJ το χρόνο, ποσό που αντιστοιχεί στο 1% της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στη Βρετανία. Το ποσό αυτό μπορεί να τριπλασιαστεί αν ληφθούν υπόψη και τα υπολείμματα των υπόλοιπων καλλιεργειών. Η βρετανική αγορά μονάδων καύσης άχυρου για θέρμανση, θερμοκήπια και αγροτικές βιομηχανίες αναπτύχθηκε πολύ αργά τη τελευταία δεκαετία, εξαιτίας του ανταγωνισμού από τα συστήματα με πετρέλαιο, το οποίο εξακολουθεί να είναι μια συμφέρουσα και εύκολη εναλλακτική λύση. Άλλες ευρωπαϊκές χώρες έχουν μεγαλύτερη εμπειρία σε συστήματα καύσης άχυρου. Στη Δανία λειτουργούν από την προηγούμενη δεκαετία 54 μονάδες τηλεθέρμανσης, με πρώτη ύλη το άχυρο, σε αγροτικές περιοχές, της τάξης των 3-5MW.

Στην Ε.Ε. συγκεντρώνονται περίπου 8.5 Μt άχρηστης πατάτας και 2.3 Μt καταστρεμμένων φρούτων, καθώς επίσης και σημαντικές ποσότητες από υπολείμματα άλλων τροφών, τα οποία φτάνουν τους δεκάδες εκατομμύρια τόνους [1]. Αυτά τα νοπιά απόβλητα είναι καταλληλότερα για ζύμωση ή για αναερόβια χώνευση παρά για απευθείας καύση, στη γη όπου παράγονται. Αξιόλογο ενεργειακό υπόλειμμα προκύπτει από την έκθλιψη των σακχαροκάλαμων στις βιομηχανίες ζάχαρης, όπου οι ροές υλικών και ενέργειας είναι πολύ καλά οργανωμένες. Στις περισσότερες μονάδες παραγωγής ζάχαρης, το υπόλειμμα αυτό χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού, αλλά η καύση του παραμένει επίτηδες ατελής, προκειμένου να περιορίζεται ο όγκος των υπολειμμάτων της καύσης. Επιπλέον, πολλές μονάδες ζάχαρης, παράγουν ηλεκτρισμό που υπερκαλύπτει τις ανάγκες της μονάδας, ωστόσο πολύ λίγες είναι αυτές που παλούν το περίσσειμά τους αφενός λόγω λειτουργικών δυσκολιών και αφετέρου λόγω δυσκολιών που σχετίζονται με τον περιορισμένο χρόνο λειτουργίας των μονάδων ζάχαρης. Από μελέτες που έγιναν στη Βραζιλία, την Ταϊλάνδη, τη Τζαμάικα και τη Ζιμπάμπουε προέκυψε ότι η βελτιστοποίηση της καύσης της μελάσας και η χρήση των υπόλοιπων υπολειμμάτων του σακχαροκάλαμου οδηγεί σε σημαντικές ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας [1]. Αν η αυξημένη ανάκτηση της βιομάζας συνδυαζόταν με βελτιωμένο βαθμό μετατροπής σε ηλεκτρισμό, η συνολική ενέργεια που θα προέκυπτε από την αξιοποίηση των υπολειμμάτων της βιομηχανίας ζάχαρης σε παγκόσμια κλίμακα θα ανέρχεται σε 50 GW

Ο φλοιός του ρυζιού αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα αγροτικά υπολείμματα σε παγκόσμια κλίμακα, ποσότητα που φτάνει το ένα πέμπτο του ξηρού ρυζιού. Για παράδειγμα στην Ινδονησία, σε ετήσια βάση προκύπτουν 5.6 Μt υπόλειμμα από τους φλοιούς του ρυζιού. Παρόλο που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα σε σχέση με άλλα καύσιμα, η ομοιόμορφη δομή των φλοιών ευνοεί την αξιοποίησή τους με τεχνολογίες όπως η αεριοποίηση. Αεριοποιητές φλοιών ρυζιού λειτουργούν με επιτυχία στην Ινδονησία, την Κίνα και το Μαλί [1].

Στο Σχήμα 17 που ακολουθεί φαίνονται τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής των γεωργικών προϊόντων καθώς και τα υπολείμματα που προκύπτουν σε κάθε ένα από αυτά. Ο ορισμός του κάθε υπολείμματος παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.



Σχήμα 17. Υπολείμματα γεωργικών προϊόντων

Πίνακας 7. Ορισμοί των σημαντικότερων γεωργικών υπολειμμάτων

Υπόλειμμα	Ορισμός
Κλαδέματα	Φυτική ύλη, που αποσπάται από το κύριο μέρος του φυτού, είτε κατά τη φάση της ανάπτυξης, είτε κατά τη διαδικασία περισυλλογής
Άχυρο	Φυτική ύλη, υπόλειμμα της καλλιέργειας δημητριακών που παραμένει στο χωράφι μετά τη συλλογή του καρπού
Κληματίδες	Ξυλώδης φυτική ύλη, που αποσπάται από τα αμπέλια μετά τη περισυλλογή του καρπού

Υπόλειμμα	Ορισμός
Φύλλα	Άχρηστο φύλλωμα της καλλιέργειας το οποίο είτε παραμένει στον τόπο συλλογής είτε απορρίπτεται κατά τη φάση της επεξεργασίας
Πίτουρο	Υπόλειμμα των αλευρόμυλων, από την άλεση των δημητριακών
Βόστρυχοι	Υπόλειμμα των σταφυλιών που απορρίπτονται από τα οινοποιεία
Κουκούτσια	Υπόλειμματα των φρούτων κυρίως, όταν υποβάλλονται σε διαδικασία αποχύμωσης
Φλοιοί	Υπόλειμματα των φρούτων κυρίως, όταν υποβάλλονται σε διαδικασία αποχύμωσης
Κάννες, περικάρπια	Ξυλώδη περιβλήματα των καρπών ή του εκμεταλλεύσιμου τμήματος μιας καλλιέργειας
Ελαιοπιρηνόξυλο	Υπόλειμμα της σύνθλιξης των ελαιοκάρπων στα ελαιοτριβεία

### 2.5.3 Ζωικά απόβλητα

Ο συνδυασμός της εντατικοποίησης της κτηνοτροφίας και των αυστηρότερων περιβαλλοντικών περιορισμών για τις οσμές και τη ρύπανση των νερών από την κοπριά των ζώων, οδήγησε τους κτηνοτρόφους στην κατασκευή μονάδων αναερόβιας χώνευσης, για τον περιορισμό της ρύπανσης. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ή την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ή σε πολλές περιπτώσεις και για τα δύο, με χρήση συστήματος το οποίο αξιοποιεί το βιοαέριο σε μηχανές εσωτερικής καύσης, που κινούν τις γεννήτριες, ενώ ταυτόχρονα το νερό ψύξης και τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του χωνευτηρίου.

Τα απόβλητα από τα βοοειδή, τα χοιροειδή και τα πουλερικά είναι τα πιο κοινά ζωικά απόβλητα στην Ευρώπη, και κυρίως στη Δανία και την Ολλανδία, όπου δεν υπάρχουν οι απαιτούμενες εκτάσεις για την διασπορά τους. Στη Μ. Βρετανία παράγονται περίπου 7Mt ζωικών αποβλήτων, το ενεργειακό περιεχόμενο των οποίων φτάνει τα 110 PJ. Παρόλο που μόνο ένα ποσοστό αυτής της ενέργειας είναι οικονομικά αξιοποιήσιμο, το βιοαέριο είναι ένα πολύτιμο παραπροϊόν της διαχείρισης των απορριμμάτων, με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης. Σήμερα, περίπου το 70% των λυμάτων αξιοποιείται και το βιοαέριο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θέρμανσης.

Μικρές μονάδες παραγωγής βιοαερίου από ανθρώπινα και ζωικά λύματα είναι διασπαρμένες στην Κίνα και την Ινδία, όπου προωθήθηκε μια ποικιλία από χαμηλού κόστους μονάδες με την ενίσχυση κυβερνητικών και μη οργανώσεων. Η ταχεία εξάπλωση του προγράμματος βιοαερίου στην Κίνα τις δεκαετίες του 60 και 70 είχε σαν αποτέλεσμα την κατασκευή περισσότερων από 7 εκατομμυρίων μονάδων χώνευσης. Από αυτές, περίπου οι μισές εγκαταλείφθηκαν για διάφορους λόγους, κυρίως λόγω

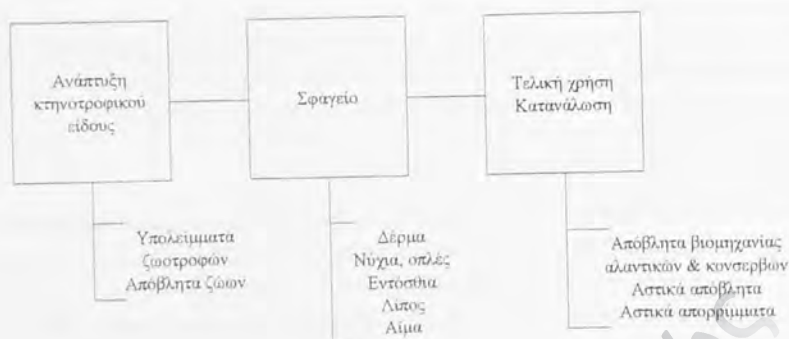
οικονομικών δυσκολιών στη συντήρηση, λόγω προχειρότητας της κατασκευής, αλλά και επειδή η συμμετοχή των άμεσα εμπλεκομένων ήταν μικρή. Οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου επανέρχονται και πάλι στο προσκήνιο, κυρίως στη Νότια και Δυτική Κίνα [1].

Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, το κόστος εγκατάστασης ενός χωνευτηρίου είναι απαγορευτικό για μια τυπική κτηνοτροφική μονάδα. Οι προσπάθειες για την κατασκευή μονάδων αναερόβιας χώνευσης σε επίπεδο κοινότητας συνάντησαν διάφορα εμπόδια. Η μεγαλύτερη δυσκολία ήταν η εξισορρόπηση μεταξύ των προσφερόμενων αποβλήτων από τους κτηνοτρόφους και την ποσότητα του βιοαερίου με την οποία πιστώνονται. Αποτέλεσμα αυτών των δυσκολιών ήταν ο περιορισμός των μονάδων αναερόβιας χώνευσης στις μεγαλύτερες κτηνοτροφικές μονάδες της Ινδίας.

Μια άλλη μέθοδος για την εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχόμενου των ζωικών αποβλήτων, όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι χαμηλή, είναι η άμεση καύση. Τα απόβλητα της πτηνοτροφίας, μια σχετικά ξηρή μορφή αποβλήτων, αποτελεί την πρώτη ύλη για μια μονάδα παραγωγής 12.5 MW στο Eye in Suffolk, που ξεκίνησε να λειτουργεί το 1992. Λέγεται ότι "ένα κοτόπουλο ισοδυναμεί σε 1 Watt" [1] και οι πτηνοτροφικές μονάδες της περιοχής τροφοδοτούν με 180.000 τόνους "καύσιμα" το χρόνο.

Ιδιαίτερη μνεία στην περίπτωση της κτηνοτροφίας γίνεται για τα σφαγεία, τα οποία συγκεντρώνουν σημαντικές ποσότητες οργανικού φορτίου, τόσο στα υδατικά απόβλητά τους όσο και με τη μορφή στερεών. Τα υπολείμματα αυτά προέρχονται από τμήματα των ζώων που δεν αξιοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων, [9], ή από τις άλλες διεργασίες που χρησιμοποιούν σαν πρώτες ύλες μέρη του ζώου.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι για τα κτηνοτροφικά ζώα, πρωτογενή υπολείμματα θεωρούνται αυτά που σχηματίζονται κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του ζώου, δευτερογενή χαρακτηρίζονται τα υπολείμματα των σφαγείων ενώ τριτογενή είναι αυτά που προκύπτουν από τη βιομηχανία επεξεργασίας του κρέατος και των άλλων αξιοποιησιμων τμημάτων των ζώων, αλλά και από τους τελικούς χρήστες και καταναλωτές των προϊόντων αυτών (Σχήμα 18).



Σχήμα 18. Υπολείμματα κτηνοτροφικών προϊόντων

#### 2.5.4 Αστικά απορρίμματα

Πάνω από το 90% των αστικών απορριμμάτων οδηγούνται σε χωματερές, ενώ από το υπόλοιπο το μεγαλύτερο μέρος αποτεφρώνεται. Η παρουσία πλαστικών, μεταλλικών αντικειμένων και διάφορων τοξινών δημιουργεί προβλήματα ρύπανσης, αλλά τόσο οι χώροι ταφής όσο και οι χώροι αποτέφρωσης λειτουργούν κάτω από πολύ αυστηρό πλαίσιο και είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε οι εκπομπές να περιορίζονται σε αποδεκτά όρια. Ωστόσο, το αυξημένο κόστος λειτουργίας μιας σωστά σχεδιασμένης χωματεής σε συνδυασμό με την έλλειψη διαθέσιμης γης, οδηγεί στην ανάγκη για περιορισμό των απορριπτόμενων ποσοτήτων. Ο περιορισμός επιτυγχάνεται μέσω της πρόληψης του σχηματισμού απορριμμάτων, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης υλικών από το μίγμα των απορριμμάτων [24]. Στον Πίνακα 8 εμφανίζεται η μέση σύσταση των απορριμμάτων που καταλήγουν σε χωματερή [1]

Μεγάλης κλίμακας μονάδες διαχωρισμού των υλικών, ανακύκλωσης και λιπασματοποίησης λειτουργούν ήδη σε όλη την Ευρώπη, αλλά στο μέλλον περίπου το 50% των αστικών απορριμμάτων θα μπορούσε να αξιοποιείται ενεργειακά με άμεση καύση, παραγωγή RDF ή την αξιοποίηση του αερίου της χωματεής. Η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων είναι ελκυστική λύση για πολλές βρετανικές πόλεις όπου δεν υπάρχει διαθέσιμη γη για τη δημιουργία χωματερών και το κόστος μεταφοράς των απορριμμάτων σε άλλη περιοχή είναι υψηλό.

Πίνακας 8. Σύσταση αστικών απορριμμάτων

Υλικά	% κατ' όγκο	% κατά βάρος
Χαρτί και χαρτοπολτός	37,5	37,0
Γυαλί	6,7	2,3
Μεταλλικά αντικείμενα	6,3	8,8
Αλουμίνιο	1,4	3,1
Πλαστικά	8,3	18,3
Λάστιχο και δέρμα	2,4	5,8
Υφάσματα	2,8	5,4
Ξύλο	6,3	5,9
Υπολείμματα τροφών	6,7	2,7
Υπολείμματα κήπων και αυλών	17,9	9,2
Άλλα	3,7	1,5
<i>Σύνολο</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>

Η μεγαλύτερη ποσότητα από τα εμπορικά και βιομηχανικά απορρίμματα δεν μπορεί να αναμειχθεί με τα αστικά, για λόγους ασφαλείας ή για την ελαχιστοποίηση του κόστους διάθεσης. Στις περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδικός εξοπλισμός προκειμένου να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι, η ανάκτηση ενέργειας μπορεί να περιορίσει το συνολικό κόστος διάθεσης των αποβλήτων αυτών. Για παράδειγμα, τα απόβλητα της βιομηχανίας τροφίμων πρέπει να υποβληθούν σε αερόβια επεξεργασία ώστε να μειωθεί το οργάνικό τους φορτίο. Αντί αυτής της επεξεργασίας, τα απόβλητα μπορούν να οδηγηθούν σε αναερόβια χωνευτήρια και το παραγόμενο βιοαέριο να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση. Όσον αφορά στα νοσοκομειακά απόβλητα, τα οποία πρέπει να αποτεφρώνονται για την αποφυγή μεταδόσεως ασθενειών, υπάρχει η σκέψη της ενεργειακής αξιοποίησής τους, καθώς τα νοσοκομεία ανανεώνουν τον εξοπλισμό με τον οποίο διαχειρίζονται τα απόβλητα αυτά.

### 2.5.5 Ενεργειακές καλλιέργειες

Ενεργειακές καλλιέργειες είναι φυτά που καλλιεργούνται με στόχο την εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου τους. Η χρήση τέτοιου τύπου καυσίμων δεν προκαλεί επιπλέον εκπομπές CO<sub>2</sub>, γεγονός ικανοποιητικό για την αντικατάσταση των

συμβατικών καυσίμων. Παράλληλα, η χρήση τους συνεπάγεται την εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων. Επιπλέον πλεονέκτημα των ενεργειακών καλλιέργειών είναι η αξιοποίηση της περίσσειας αγροτικής γης, προστατεύοντας έτσι το έδαφος από διαβρωτικά φαινόμενα [1]. Τέλος η ανάπτυξη ενεργειακών καλλιέργειών στη θέση άλλων, περιορίζει τη ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα από νιτρικά, φώσφορο και μικροοργανισμούς. Οι ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται σε μονοετείς και πολυετείς. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι το σόργο, γλυκό και ινώδες, η ελαιοκράμβη, οι σπόροι μουστάρδας, τα καλάμια και οι λόχμες, ο μίσχανθος και ο ευκάλυπτος.

Το γλυκό σόργο είναι η σημαντικότερη ετήσια ενεργειακή καλλιέργεια, για την Ελλάδα. Παρουσιάζει ταχείς ρυθμούς ανάπτυξης και πολύ καλή προσαρμοστικότητα στις καιρικές συνθήκες της Νότιας Ευρώπης. Η διαδικασία συλλογής του είναι εύκολη, ενώ η καλλιέργεια του δεν απαιτεί ιδιαίτερη περιποίηση όσον αφορά στην προσθήκη λιπασμάτων. Το πλούσιο ενεργειακό του περιεχόμενο οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σακχάρων και οργανικών ινών, οπότε ευνοείται η μετατροπή του σε αιθανόλη για την παραγωγή καυσίμων στον τομέα των μεταφορών. Ο χρόνος κατά τον οποίο θα γίνει συγκομιδή του είναι κρίσιμη παράμετρος, γιατί μόνο σε μια μικρή περίοδο λίγων εβδομάδων το φυτό είναι πλούσιο σε σάκχαρα. Παρόλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα συγκομιδής του δύο φορές το χρόνο. Οι ομοιότητες του με το σακχαροκάλαμο είναι αρκετές, ωστόσο υπερτερεί, γιατί περιέχει λιγότερη υγρασία. Σε αντίθεση με το γλυκό σόργο, το ινώδες είναι σχετικά φτωχό σε ζυμώσιμα σάκχαρα και το ενεργειακό του περιεχόμενο βασίζεται στην υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνοκυτταρινούχες ίνες. Χρησιμοποιείται κατόπιν ξήρανσης σαν στερεό καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, ενώ αξιοποιείται και από τη χαρτοβιομηχανία.

**Πίνακας 9 Ετήσια απόδοση διάφορων καλλιέργειών**

Καλλιέργεια	Μέση απόδοση (%)	Βέλτιστη απόδοση (%)
Σακχαροκάλαμα	35	90
Καλαμπόκι	10	40
Σιτάρι	5	20
Ρύζι	4	16
Σακχαρότευτλο	8	18
Cassava	8	35
Ξύλο (εύκρατη ζώνη)	10	20
Ξύλο (τροπική ζώνη)	20	35



Το καλάμι είναι η πιο χαρακτηριστική πολυετής καλλιέργεια που συναντάται στις Μεσογειακές χώρες, λόγω των ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών. Πρόκειται για καλλιέργεια με υψηλή απόδοση, που ανταποκρίνεται στις ανάγκες της Ευρωπαϊκής αγοράς για την ενέργεια, το χαρτί και άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Σαν καύσιμο χρησιμοποιείται σε στερεά μορφή, για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Οι λοχμές, υδροβίες καλλιέργειες, προσελκύουν το ενδιαφέρον σε πολλές βιομηχανικές χώρες όπου σταμάτησε η εκμετάλλευση της γης για την παραγωγή τροφής εξαιτίας της υπερπαραγωγής.

Η άγρια ακκινάρα είναι υδρόβια πολυετής καλλιέργεια, που αναπτύσσεται στη λεκάνη της Μεσογείου. Πρόκειται για χειμερινή καλλιέργεια, η οποία αξιοποιεί στο μέγιστο την υγρασία του εδάφους, με πολύ ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα, η οποία προσφέρει σημαντική προστασία απέναντι στη διάβρωση σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις.

Φυτό ανατολικής προέλευσης, ο μίσχανθος, αναπτύσσεται στην Ευρώπη σαν καλλωπιστικό φυτό. Ωστόσο παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το καθιστούν κατάλληλο για ενεργειακή αξιοποίηση, για την παραγωγή χαρτοπολτού, αλλά και σαν δομικό υλικό. Λόγω της ευαισθησίας του στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι δύσκολη η ανάπτυξη του σε χώρες του Βορρά, ενώ απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού για την ανάπτυξη του, η οποία δεν επηρεάζεται από την προσθήκη νιτρικών λιπασμάτων. Τα ξυλώδη υπολείμματα του φυτού είναι κατάλληλα για καύση, εξαιτίας της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε νερό (20-30%) κατά την περίοδο του θερισμού.

Τέλος, ο ευκάλυπτος χρησιμοποιείται εκτενώς για ενεργειακούς σκοπούς σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση περίπου 850.000 εκτάρια καλύπτονται από φυτείες ευκαλύπτων, δύο ειδών κυρίως, τα οποία κλαδεύονται κάθε 8-13 χρόνια για την παραγωγή χαρτοπολτού. Ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους, την υγρασία και την πυκνότητα της βλάστησης, η απόδοση σε ξηρή ύλη ποικίλει σημαντικά. Χρησιμοποιείται σαν στερεό καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η λεύκα και η ιτιά επίσης προσφέρονται για το σκοπό αυτό. Φυτεύονται με πυκνότητα 5.000-20.000 δέντρα ανά εκτάριο (απέχουν μεταξύ τους από 0,5 μέχρι 2 m) και κλαδεύονται σε διετή μέχρι πενταετή κύκλο, οπότε παραμένουν παραγωγικά για περίπου 30 χρόνια, με ετήσια απόδοση που φτάνει τους 10 τόνους ανά εκτάριο.

Εναλλακτικά, μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές συλλογής που αναπτύχθηκαν στη Σουηδία. Κωνοφόρα δέντρα φυτεύονται με σχετικά μεγάλη πυκνότητα (5.000 δέντρα ανά εκτάριο) και κλαδεύονται πολύ αφότου αναπτυχθούν, δίνοντας έτσι αυξημένη ποσότητα ξύλου. Η κυβέρνηση της Σουηδίας δαπανά US\$ 179 εκατομμύρια για πέντε χρόνια για την προώθηση της χρήσης της βιομάζας, κυρίως από τη βιομηχανία ξύλου.

Οι σπόροι πολλών φυτών περιέχουν σημαντική ποσότητα φυτικών ελαίων, τα οποία παραλαμβάνονται με εκθλίψη. Τα περισσότερα έλαια είναι πλούσια σε λιπαρά οξέα και

γλυκερόλη. Το ενεργειακό τους περιεχόμενο κυμαίνεται από 35–37 GJ ανά τόνο, παρόμοιο με αυτό του ντίζελ (περίπου 42 GJ ανά τόνο) και ανώτερο από της αιθανόλης (30 GJ ανά τόνο). Πολλά από τα παραγόμενα έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καυστήρες ντίζελ, είτε μόνα τους είτε μαζί με καύσιμο ντίζελ. Όμως τα μίγματα που έχουν υψηλό ποσοστό ελαίων φράζουν τις εξόδους του καυσίμου και σχηματίζουν αποθέσεις στα τοιχώματα του καυστήρα. Απλή χημική επεξεργασία των ελαίων, όπως η εστεροποίηση με αιθανόλη ή μεθανόλη οδηγεί σε υποκατάστατο ανώτερης ποιότητας από το ντίζελ, το οποίο δεν φράσσει τους κινητήρες. Όταν χρησιμοποιούνται σπόροι ελαιοκράμβης το προϊόν αποκαλείται RME (rape methyl ester).

Προς το παρόν, χρησιμοποιούνται κυρίως μίγματα φυτικών ελαίων, μέχρι 30% με ντίζελ. Στις Φιλιππίνες χρησιμοποιείται καρυδέλαιο σε τρακτέρ και φορτηγά, φοινικέλαιο και καστορέλαιο στη Βραζιλία, ενώ στη Νότια Αφρική χρησιμοποιείται το ηλιέλαιο, όπου η ετήσια παραγωγή ηλιοτροπιών μιας έκτασης είναι ικανή να παράγει το καύσιμο που απαιτείται για την κίνηση ενός τρακτέρ που εργάζεται σε δεκαπλάσια έκταση. Ωστόσο οι βαθμοί απόδοσης και το κόστος επεξεργασίας περιορίζουν τη χρήση των φυτικών ελαίων σε περιοχές όπου τα προϊόντα του πετρελαίου έχουν υψηλό κόστος αγοράς και διανομής. Στον υπόλοιπο κόσμο, τα προϊόντα αυτά απορροφώνται από την αγορά τροφίμων και καλλυντικών, όπου συνήθως οι τιμές τους είναι υψηλότερες.

Στην Ευρώπη, η καλλιέργεια ελαιοκράμβης στην πλεονάζουσα γη έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον, και από το 1993 τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. προσφέρουν φοροαπαλλαγές σε πιλοτικά προγράμματα ανάπτυξης βιοκαυσίμων για τα οχήματα. Η γαλλική κυβέρνηση χρηματοδοτεί τέσσερα πιλοτικά προγράμματα και σχεδιάζει την εγκατάσταση μιας μονάδας ικανής να επεξεργάζεται 100.000 τόνους το χρόνο. Η βρετανική κυβέρνηση δεν έχει υιοθετήσει φοροαπαλλαγές, αλλά το 1994 δημιουργήθηκε ένα consortium για παραγωγή βιοντίζελ, με δυνατότητα παραγωγής 18.000 τόνων RME, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί δοκιμαστικά σε αγροτικά και άλλα οχήματα.

## 2.6 Εκτίμηση του Δυναμικού της Βιομάζας

Δεδομένης της ποικιλίας προέλευσης των βιοκαυσίμων και των τοπικών συνθηκών, είναι φανερό ότι κάθε απόπειρα αποτίμησης του δυναμικού σε παγκόσμια κλίμακα πρέπει να στηριχθεί σε λεπτομερείς τοπικές αναλύσεις της συνεισφοράς της κάθε περιοχής.

Οι εκτιμήσεις για τη συνολική συνεισφορά της βιομάζας στις ενεργειακές ανάγκες της Ε.Ε. για την ίδια περίοδο κυμαίνονται μεταξύ 4.000 και 14.000 PJ το χρόνο. Η μεγάλη

διακύμανση αυτών των τιμών οφείλεται στις διαφορετικές υποθέσεις σχετικά με τις μελλοντικές τιμές και τα επιτόκια προεξόφλησης. Και πάλι οι ανώτερες εκτιμήσεις μπορούν να επιτευχθούν μόνο με οικονομικά μέτρα, που προωθούν και υποστηρίζουν τη χρήση της βιομάζας.

Σε παγκόσμια κλίμακα, ένα σενάριο που βασίστηκε σε λεπτομερή ανάλυση που έγινε το 1992 για λογαριασμό της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, προτείνει ότι η συνεισφορά της βιομάζας στην ετήσια παραγωγή ενέργειας στα μέσα του επόμενου αιώνα θα φτάνει περίπου το μισό της σημερινής παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. Δυναμικό βιομάζας για την προμήθεια ενέργειας για το 2050

Πηγή βιομάζας	Πιθανή παροχή ενέργειας σε EJ
Ενεργειακές καλλιέργειες	128
Κοπριά	25
Δασικά υπολείμματα	14
Υπολείμματα δημητριακών	13
Υπολείμματα σακχαροκάλαμων	12
Υπάρχοντα δάση	10
Αστικά απορρίμματα	3
Σύνολο	205

Η βιομάζα σήμερα, όπως αναφέρθηκε, αποτελεί την πιο ανεπτυγμένη ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, καλύπτοντας το 35% και 3% των αναγκών σε πρωτογενή ενέργεια των χωρών του αναπτυσσόμενου και του βιομηχανικού κόσμου αντίστοιχα. Η φυσική ανανέωση της βιομάζας αντιπροσωπεύει μια πηγή ενέργειας ισοδύναμη με 3.000 EJ το χρόνο, από τα οποία μόνο το 2 % είναι εκμεταλλεύσιμο, επειδή δεν υπάρχει εφικτός τρόπος για την πλήρη εκμετάλλευση της συνολικής ποσότητας.

Για την εκτίμηση των ποσοτήτων της βιομάζας και της ενέργειας που τελικά παραλαμβάνονται έχουν εισαχθεί οι έννοιες του θεωρητικού, του διαθέσιμου, του τεχνολογικού και του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού [25]. Ως θεωρητικό δυναμικό αναφέρεται το σύνολο των παραγόμενων αγροτικών, δασικών, και άλλης μορφής υπολειμμάτων που προκύπτουν σε μια περιοχή. Το δυναμικό αυτό αντιστοιχεί στο μέγιστο ποσό ενέργειας που θα μπορούσε ποτέ να παραληφθεί από την περιοχή αυτή, επιτυγχάνοντας την πλήρη αξιοποίησή του για παραγωγή ενέργειας.

Η χρήση της βιομάζας σαν καύσιμο είναι η μία από τις 4 ανταγωνιστικές χρήσεις της. Τα αποθέματα βιομάζας πρέπει να μοιραστούν ανάμεσα σε ανθρώπους και ζώα, που τρέφονται με τα φυτά, ενώ οι φυτικές ίνες χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, για την παραγωγή χαρτιού, υφασμάτων κλπ [1]. Για τους λόγους αυτούς εισάγεται η έννοια του διαθέσιμου δυναμικού της βιομάζας, το οποίο αποτελεί την αδιάθετη ποσότητα βιομάζας που είναι δυνατό να αξιοποιηθεί ενεργειακά. Σημαντικός περιοριστικός παράγοντας του θεωρητικού δυναμικού, αποτελεί η απόδοση της διαδικασίας περισυλλογής των υπολειμμάτων που θα καταλήξουν στη μονάδα παραγωγής ενέργειας.

Οι έννοιες του τεχνολογικού και οικονομικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού σχετίζονται άμεσα με την τεχνολογία που επιλέγεται για την παραγωγή ενέργειας από συγκεκριμένη πρώτη ύλη και τα οικονομικά χαρακτηριστικά της επένδυσης [25]. Η εκτίμηση του τεχνολογικού δυναμικού προϋποθέτει τον καθορισμό συγκεκριμένης τεχνολογίας για την αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού. Η επιλογή αυτή εξαρτάται άμεσα από τη μορφή της διαθέσιμης πρώτης ύλης και την επιθυμητή μορφή της παραλαμβανόμενης ενέργειας. Σχετίζεται ακόμα με τις ενεργειακές ανάγκες της περιοχής που είναι συγκεντρωμένο το διαθέσιμο δυναμικό. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας περιορίζουν ανάλογα την ποσότητα της ενέργειας που τελικά προσφέρεται προς κατανάλωση.

Τέλος, καθοριστική παράμετρος για την υλοποίηση μιας συγκεκριμένης τεχνολογικής εφαρμογής είναι τα οικονομικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει το επενδυτικό σχέδιο. Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ορίζεται η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί με οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο. Για την εκτίμηση του συγκεκριμένου δυναμικού πρέπει να έχουν προηγηθεί οι εκτιμήσεις των ποσοτήτων που αναφέρθηκαν, με τη συγκεκριμένη σειρά. Τέλος απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επιλογή συγκεκριμένης θέσης για την κατασκευή της ενεργειακής μονάδας, δεδομένου ότι το κόστος μεταφοράς της βιομάζας στη συγκεκριμένη θέση είναι καθοριστική παράμετρος για την βιωσιμότητα της μονάδας.

### 2.6.1 Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας

Το θεωρητικό δυναμικό της βιομάζας,  $B_{th}$ , ορίζεται ως το άθροισμα των ποσοτήτων των ετησίων παραγόμενων υπολειμμάτων από τα δασικά, γεωργικά και κτηνοτροφικά είδη και τον άνθρωπο σε μία περιοχή. Η ποσότητα αυτή στην ουσία αντιστοιχεί στη μέγιστη δυνατή ποσότητα βιομάζας που θα μπορούσε ποτέ να παραληφθεί μέσω συγκεκριμένων υπολειμμάτων από μια περιοχή. Είναι επομένως άμεση συνάρτηση των

πληθυσμών που δραστηριοποιούνται στην περιοχή αλλά και των εκτάσεων στις οποίες αναπτύσσονται οι δραστηριότητες.

Προκειμένου για τις καλλιεργήσιμες και τις δασικές εκτάσεις, το θεωρητικό δυναμικό για το κάθε είδος, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$B_n = \sum_n A_n \cdot Y_n \quad (4)$$

όπου:  $B_n$  το θεωρητικό δυναμικό βιομάζας για την καλλιέργεια ή το δασικό είδος  $n$ , σε τόνους υπολείμματος ανά έτος (tn/year),

$A_n$  η καλλιεργήσιμη ή η δασική έκταση για το είδος  $n$ , σε εκτάρια (ha), και

$Y_n$  η απόδοση της καλλιέργειας ή του δασικού είδους  $n$  ως προς το κάθε υπολείμμα ανά μονάδα επιφάνειας, σε τόνους ανά εκτάριο το έτος (tn/ha/year).

Για τα κτηνοτροφικά είδη και τους ανθρώπους, το θεωρητικό δυναμικό για κάθε είδος, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$B_n = \sum_n P_n \cdot W_n \quad (5)$$

όπου:  $B_n$  θεωρητικό δυναμικό βιομάζας για το κτηνοτροφικό είδος  $n$ , σε τόνους υπολείμματος ανά έτος (t/year),

$P_n$  πληθυσμός του είδους  $n$ , σε κεφαλές ανά έτος (heads/year), και

$W_n$  απόδοση του είδους  $n$  ως προς το απόβλητο, σε τόνους ανά κεφαλή το έτος (t/head/year).

Επομένως, το συνολικό θεωρητικό δυναμικό της βιομάζας μιας περιοχής θα είναι:

$$B_{th} = \sum_n B_n \quad (6)$$

Από τα προηγούμενα γίνεται φανερό ότι για τον ακριβή προσδιορισμό του θεωρητικού δυναμικού απαιτούνται δεδομένα για τις καλλιεργήσιμες και δασικές εκτάσεις και για τους πληθυσμούς των ειδών που αναπτύσσονται στην περιοχή. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η αναλυτική καταγραφή αυτού του τύπου δεδομένων, σε μεγάλη γεωγραφική ανάλυση βοηθά στον όσο το δυνατό ακριβέστερο προσδιορισμό του δυναμικού. Οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές προκύπτουν συνήθως από ερευνητικές εργασίες, και χρησιμοποιούνται κατά προσέγγιση σε μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση. Το γεγονός αυτό προκαλεί διαφοροποίηση στα μεγέθη που θα μπορούσε να καταγράψει

ένας ερευνητής πραγματοποιώντας επιτόπια έρευνα και καταγράφοντας αναλυτικά τις παραγόμενες ποσότητες υπολειμμάτων.

### 2.6.2 Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας

Όπως προαναφέρθηκε, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας δεν αποτελεί τη μοναδική λύση για τη διάθεση των τεράστιων ποσοτήτων υπολειμμάτων και απορριμμάτων που προκύπτουν σε ετήσια βάση σε μια περιοχή. Τα αποθέματα βιομάζας μοιράζονται ανάμεσα σε τέσσερις ανταγωνιστικές χρήσεις με κριτήριο κυρίως τις οικονομικές απολαβές που προέρχονται από την κάθε λύση. Έτσι, τα γεωργικά υπολείμματα για παράδειγμα χρησιμοποιούνται για τροφή των ζώων, ενώ οι φυτικές ίνες χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, για την παραγωγή χαρτιού, υφασμάτων κλπ.

Για τους λόγους αυτούς, είναι απαραίτητη η εισαγωγή της έννοιας του διαθέσιμου δυναμικού της βιομάζας. Ως διαθέσιμο δυναμικό ορίζεται το σύνολο της ενέργειας που είναι θα μπορούσε να παραληφθεί από μια περιοχή. Η ποσότητα αυτή της βιομάζας είναι ουσιαστικά μικρότερη από το θεωρητικό δυναμικό, δεδομένου ότι μέχρι σήμερα, η ενεργειακή αξιοποίηση των υπολειμμάτων δεν αποτελεί την πρώτη επιλογή, στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη.

Οι σημαντικότεροι παράμετροι που περιορίζουν την ποσότητα της διαθέσιμης βιομάζας, είναι η ευκολία συλλογής του υπολείμματος, η απόδοση της διαδικασίας αυτής, η δυνατότητα εύκολης και οικονομικής μεταφοράς του υπολείμματος από τον τόπο παραγωγής στον τόπο κατανάλωσης και τέλος το ποσοστό του υπολείμματος που διατίθεται για ενεργειακή αξιοποίηση. Για ορισμένα υπολείμματα, η απόδοση της διαδικασίας συλλογής αποτελεί το πλέον ουσιαστικό εμπόδιο για την περαιτέρω αξιοποίησή τους.

Το ενεργειακό περιεχόμενο των διαθέσιμων ποσοτήτων, σε κάθε περίπτωση, προσδιορίζεται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υπολείμματος. Η σύσταση του υπολείμματος, και κυρίως η περιεκτικότητά του σε υγρασία, καθορίζουν τελικά την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παραληφθεί από μια περιοχή. Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας  $B_{av}$  τελικά προσδιορίζεται από την εξίσωση [25]:

$$B_{av} = \frac{\sum^n f_g \cdot B_n \cdot \alpha_n \cdot LHV_n}{A_r} \quad (7)$$

όπου:  $B_n$ , το θεωρητικό δυναμικό βιομάζας του είδους  $n$  (tn/year),

$a_n$ , το ποσοστό διαθεσιμότητας του υπολείμματος (%),

$f_g$ , η απόδοση της διαδικασίας συλλογής του υπολείμματος (%),

$LHV_n$ , η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του υπολείμματος (kJ/dry kg), και

$A_r$ , η έκταση της περιοχής (ha).

Παρακάτω δίνεται ο τρόπος υπολογισμού της κατώτερης θερμογόνου δύναμης, σαν συνάρτηση της ανώτερης θερμογόνου δύναμης της υγρασίας και της περιεκτικότητας του υπολείμματος σε υδρογόνο.

$$LHV_n = HHV_n \cdot \frac{100 - W_n}{100} - E_w \cdot (W_n + H_n m_{H_2O}) \quad (8)$$

όπου:  $HHV_n$  η ανώτερη θερμογόνος δύναμη του υπολείμματος (kJ/kg),

$W_n$  η περιεχόμενη υγρασία του υπολείμματος (% w.w.),

$E_w$  η απαιτούμενη ενέργεια για την εξάτμιση του νερού που παράγεται, (kJ/kg),

$H_n$  το περιεχόμενο υδρογόνο του υπολείμματος (% w.w.), και

$m_{H_2O}$  το νερό που σχηματίζεται (kg/kg)

Με βάση την εξίσωση (8) ουσιαστικά υπολογίζεται η ενεργειακή πυκνότητα της υπό εξέταση περιοχής. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ευκολότερη η συγκριτική μελέτη περιοχών που παρουσιάζουν διαφορετικό δυναμικό.

### 2.6.3 Τεχνολογικό δυναμικό βιομάζας

Η έννοια του τεχνολογικού δυναμικού συνδέει ένα ορισμένο τύπο βιομάζας με συγκεκριμένη τεχνολογία αξιοποίησής του και μετατροπής του τελικά σε ωφέλιμη ενέργεια κάποιας μορφής. Επομένως, ως τεχνολογικό δυναμικό ορίζεται τελικά το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας που παραλαμβάνεται από τις μονάδες μετατροπής της βιομάζας. Η παραλαμβανόμενη ενέργεια περιορίζεται από τα χαρακτηριστικά της επιλεγθείσας τεχνολογίας, αλλά και από την προσφορά βιομάζας σε μια περιοχή. Οι τεχνολογικές δυνατότητες που υπάρχουν σήμερα επιτρέπουν την παραλαβή ενέργειας με τη μορφή θερμότητας, ατμού, ηλεκτρισμού ή καυσίμου άλλης μορφής με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας εξαρτάται από τις ενεργειακές απαιτήσεις μιας περιοχής και την απόδοση της επιλεγμένης τεχνολογίας.

Είναι αυτονόητο ότι η καταλληλότερη περιοχή για τη δημιουργία μιας μονάδας αξιοποίησης της βιομάζας είναι αυτή με τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, δεδομένου ότι το κόστος μεταφοράς της βιομάζας από μεγάλες αποστάσεις καθιστά οικονομικά ασύμφορη τη διεργασία. Τέλος, για τη σωστή χωροθέτηση της πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι πιθανές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας σε κάποια περιοχή.

### 2.6.4 Οικονομικό δυναμικό βιομάζας

Το οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό της βιομάζας ορίζεται σαν το τμήμα εκείνο της ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί με οικονομικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις. Τα κριτήρια με τα οποία καθορίζεται το οικονομικό δυναμικό είναι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ή ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της ενεργειακής επένδυσης και η καθαρή παρούσα αξία της.

Μία επένδυση θεωρείται συμφέρουσα στην περίπτωση που το κόστος παραγωγής της ενέργειας προκύπτει να είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος μιας συμβατικής μονάδας. Εναλλακτικά, η υποψηφία επένδυση μπορεί να αξιολογηθεί με βάση τα κριτήρια αξιολόγησης που ισχύουν για τον κάθε τύπο επένδυσης, δηλαδή την καθαρή παρούσα αξία και τον εσωτερικό βαθμό απόδοσής της [25]. Για την εκτίμηση του οικονομικού δυναμικού της βιομάζας λαμβάνονται υπόψιν παράμετροι κόστους, όπως:

- το κόστος αγοράς της διαθέσιμης βιομάζας,
- το κόστος μεταφοράς της βιομάζας από τον τόπο παραγωγής στο χώρο που στήνεται η μονάδα,
- το κόστος σύνδεσης με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, όταν πρόκειται για μονάδα ηλεκτροπαραγωγής,
- το κόστος επένδυσης της νέας μονάδας
- το λειτουργικό κόστος της μονάδας και το κόστος συντήρησής της, και
- ο χρηματοδοτικός μηχανισμός της επένδυσης

Το κόστος μεταφοράς της βιομάζας είναι συνήθως η παράμετρος εκείνη που λειτουργεί περιοριστικά στις ενεργειακές επενδύσεις αυτού του τύπου. Ο κυριότερος λόγος, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα που παρουσιάζει η βιομάζα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα συλλογής της βιομάζας που θα τροφοδοτήσει μια μονάδα παραγωγής ενέργειας, τόσο περισσότερο επιβαρύνεται το κόστος της παραγόμενης ενέργειας [26].



### 3. ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

#### 3.1. Στόχος του Εργαλείου Στήριξης Αποφάσεων

Η ανάπτυξη της πληροφορικής επιστήμης έχει συνεισφέρει στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης και επεξεργασίας πληροφοριών. Τα εργαλεία στήριξης αποφάσεων καλούνται να συνδράμουν σε περιπτώσεις που το πρόβλημα που τίθεται δεν είναι σφώς δομημένο και παρουσιάζει σημαντικό βαθμό πολυπλοκότητας. Καρδιά κάθε τέτοιου συστήματος είναι η βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύεται το σύνολο της διαθέσιμης πληροφορίας, η οποία σχετίζεται με το πρόβλημα στο οποίο πρέπει να δοθεί λύση.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία του πλαισίου στο οποίο θα στηριχθεί ένα εργαλείο στήριξης αποφάσεων για ενεργειακές επενδύσεις στο χώρο της βιομάζας. Η βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε αποτελεί την καρδιά του συγκεκριμένου εργαλείου, όπου αποθηκεύεται όλη η απαραίτητη πληροφορία σχετικά με το υπάρχον δυναμικό τον ελληνικό χώρο και την αξιοποίησή του με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογικές δυνατότητες.

Αρχικά παρουσιάζεται το είδος της πληροφορίας που κρίνεται απαραίτητη για τη συμπλήρωση της βάσης δεδομένων και τελικά οι πληροφορίες, οι οποίες διατίθενται για το σκοπό αυτό. Η ασυμβατότητα μεταξύ της επιθυμητής και της διαθέσιμης

πληροφορίας καλύπτεται με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων αυτών. Τέλος παρουσιάζονται οι υπολογιστικοί αλγόριθμοι στους οποίους στηρίχθηκε η ανάπτυξη του εργαλείου.

### 3.2 Απαραίτητα Δεδομένα

Για την εκτίμηση του ενεργειακού δυναμικού της παραγόμενης βιομάζας από την ελληνική γη είναι απαραίτητα πρωτογενή δεδομένα, που αφορούν στην γεωργική, κτηνοτροφική και δασική παραγωγή καθώς επίσης και τα δημογραφικά δεδομένα της Ελλάδας. Από τα ίδια αυτά στοιχεία εξάγονται και χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατανομή των χρήσεων γης στις διάφορες γεωργικές περιοχές.

Για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης βιομάζας απαιτούνται πληροφορίες για τις δραστηριότητες εκείνες που παράγουν υπολείμματα ικανά να αξιοποιηθούν ενεργειακά. Στον Πίνακα 11, που ακολουθεί παρουσιάζονται ομαδοποιημένες οι απαραίτητες κατηγορίες πληροφοριών.

Πίνακας 11. Προσδιορισμός της διαθέσιμης βιομάζας

1.	Χρήσεις γης
2.	Δημογραφικά στοιχεία Δήμων και Κοινοτήτων
3.	Γεωργικές Καλλιέργειες
4.	Δασικά είδη
5.	Κτηνοτροφικά είδη
6.	Δείκτες / Συντελεστές παραγωγής υπολειμμάτων
7.	Ανταγωνιστικές χρήσεις υπολειμμάτων
8.	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά υπολειμμάτων

### 3.2.1 Καταγραφή χρήσεων γης

Η υπάρχουσα γη χωρίζεται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες. Κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές περιλαμβάνει δραστηριότητες από τις οποίες σχηματίζονται σημαντικές ποσότητες υπολειμμάτων, που προσφέρονται για ενεργειακή αξιοποίηση. Οι εξεταζόμενοι τύποι χρήσεων γης είναι:

- Η *αστική* γη, η οποία περιλαμβάνει τις οικιστικές περιοχές και σχετίζεται με τις δραστηριότητες που επιτελούνται στο χώρο αυτό.
- Η *κτηνοτροφική* γη, η οποία περιλαμβάνει τις εκτάσεις που αφιερώνονται στην ελεύθερη κτηνοτροφία και στις οργανωμένες εκμεταλλεύσεις ζώων.
- Η *δασική* γη, η οποία περιλαμβάνει τις περιοχές εκείνες που χαρακτηρίζονται ως δασικές και σχετίζεται με δραστηριότητες όπως η υλοτόμηση.
- Η *αγροτική* γη, η οποία αφορά την καλλιέργεια κηπευτικών και άλλων ετήσιων φυτών και των δενδρωδών καλλιεργειών.

Για την καταγραφή των χρήσεων της γης απαιτούνται δεδομένα για τις εκτάσεις που αφιερώνονται σε καθεμία. Στον Πίνακα 12 αναφέρονται οι ανάγκες σε στοιχεία, προκειμένου να γίνει η εκτίμηση των εκτάσεων αυτών.

Πίνακας 12. Προσδιορισμός των χρήσεων γης

Χρήση γης	Δεδομένα
Αστική	Επιφάνεια οικισμών
Αγροτική	Καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανά καλλιέργεια
Δασική	Δασικές εκτάσεις ανά είδος
Κτηνοτροφική	Βοσκότοποι

## 3.2.2 Καταγραφή βιολογικών συστημάτων

Τα βιολογικά είδη που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από την άποψη της παραγόμενης βιομάζας είναι τόσο γεωργικά, όσο δασικά και κτηνοτροφικά. Από όλα τα είδη που αναπτύσσονται στον ελληνικό χώρο επιλέγονται τα 45 σημαντικότερα από την άποψη της παραγόμενης βιομάζας. Από αυτά 25 είναι γεωργικά, 10 κτηνοτροφικά και 10 δασοπονικά είδη. Στον Πίνακα 13 αναφέρονται τα είδη αυτά, χωρισμένα σε κατηγορίες, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους [27, 28].

Πίνακας 13. Βιολογικά συστήματα ανά κατηγορία

		Γεωργικά είδη	
I.	Σιτηρά	1	Σιτάρι μαλακό
		2	Σιτάρι σκληρό
		3	Σίκαλη
		4	Κριθάρι
		5	Βρώμη
		6	Αραβόσιτος
		7	Ρύζι
II.	Βιομηχανικά φυτά	8	Καπνός
		9	Σόργο
		10	Σόγια
		11	Σακχαρότευτλα
		12	Ηλιάνθος
III.	Δενδρώδεις καλλιέργειες	13	Βαμβάκι
		14	Πορτοκαλιές
		15	Λεμονιές
		16	Μανταρινιές
		17	Αχλαδιές
		18	Μηλιές
		19	Ροδακινιές
		20	Βερικοκιές
		21	Κερασιές
		22	Αμυγδαλιές
		23	Ελιές
IV.	Αμπέλια	24	Αμπέλια
V.	Κηπευτικά	25	Λαχανικά

Κτηνοτροφικά είδη			
I.	Είδη που ανατρέφονται για το κρέας τους	1	Βοοειδή
		2	Αγελάδες
		3	Αιγοειδή
		4	Προβατοειδή
		5	Χοιροειδή
		6	Κουνέλια
		7	Πουλερικά
II.	Είδη που δεν ενδιαφέρει το κρέας τους	8	Ιπποειδή
		9	Μέλισσες
		10	Πτηνά
Δασικά είδη			
I.	Κωνοφόρα	1	Ελάτη-Ερυθρελάτη
		2	Πεύκη
		3	Μαύρη Πεύκη
		4	Λοιπά Κωνοφόρα
II.	Πλατύφυλλα	5	Δρυς
		6	Οξιά
		7	Καστανιά
		8	Λεύκα
		9	Λοιπά Φυλλοβόλα
		10	Αείφυλλα

### 3.2.3 Καταγραφή της προσφερόμενης βιομάζας

Για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των υπολειμμάτων που παράγονται αλλά και το ενεργειακό περιεχόμενο των ποσοτήτων αυτών, είναι απαραίτητη η συγκέντρωση στοιχείων που αφορούν στην παραγωγή των υπολειμμάτων και τα χαρακτηριστικά τους. Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων, από τα οποία εξαρτάται το ενεργειακό τους περιεχόμενο. Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται εκείνα τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων μέσω των οποίων μπορούν να υπολογισθούν τόσο οι ποσότητες που προκύπτουν πραγματικά, όσο και αυτές που είναι διαθέσιμες για ενεργειακή αξιοποίηση.

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά και ιδιότητες των υπολειμμάτων

Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων	
1.	Απόδοση του βιολογικού συστήματος ως προς το συγκεκριμένο υπόλειμμα
2.	Διαθεσιμότητα του υπολείμματος
3.	Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας
4.	Ποσοστό ξηρής ύλης ανά kg υπολείμματος
5.	Ανώτερη θερμογόνος δύναμη ανά kg ξηρής ύλης
6.	Περιεκτικότητα άνθρακα ανά kg ξηρής ύλης
7.	Ποσοστό τέφρας επί της ξηρής ύλης
8.	Ποσοστό άλλων ανόργανων στοιχείων

### 3.2.4 Καταγραφή της τεχνολογικά αξιοποιήσιμης βιομάζας

Ο προσδιορισμός της ενέργειας που παραλαμβάνεται μέσω της αξιοποίησης των υπολειμμάτων έχει άμεση σχέση με την τεχνολογία που θα επιλεγεί για το σκοπό αυτό. Επομένως είναι απαραίτητη η συγκέντρωση και ένταξη στο εργαλείο όλων των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας και μπορούν αν επιδράσουν είτε στις ποσότητες ενέργειας που είναι δυνατό να παραληφθούν είτε στο πιθανό κόστος. Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που θεωρούνται απαραίτητα.

Πίνακας 15. Απαραίτητα τεχνολογικά δεδομένα

1.	Τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας
2.	Απόδοση των τεχνολογιών μετατροπής
3.	Στοιχεία εκτίμησης του κόστους της τεχνολογίας
4.	Παραγόμενα προϊόντα και χρήσεις

### 3.3 Διαθέσιμα Δεδομένα

#### 3.3.1 Πηγές πληροφοριών

Για τη συγκέντρωση των απαιτούμενων πρωτογενών δεδομένων ως πλέον αξιόπιστος φορέας, ο οποίος έχει στη διάθεσή του τέτοιου τύπου δεδομένα κρίθηκε η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία. Η ΕΣΥΕ δημοσιεύει ανά δεκαετία την "Απογραφή του πληθυσμού", από την οποία αντλήθηκαν τα απαραίτητα δημογραφικά δεδομένα. Επίσης ανά δεκαετία δημοσιεύεται η "Απογραφή Γεωργίας και Κτηνοτροφίας", όπου καταγράφονται με σε επίπεδο Κοινότητας οι πληθυσμοί όλων των κτηνοτροφικών ειδών που καταμετρώνται καθώς επίσης γίνεται και αναλυτική καταμέτρηση των καλλιεργούμενων και αγραναπαυόμενων εκτάσεων. Σε ετήσια βάση η ΕΣΥΕ δημοσιεύει τη "Γεωργική Στατιστική", όπου καταγράφεται η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή της χώρας σε επίπεδο Νομών. Τα σχετιζόμενα στοιχεία με την αγροτική και κτηνοτροφική παραγωγή συγκεντρώνονται σε συνεργασία με το Υπουργείο Γεωργίας, αλλά ως επίσημος φορέας διάθεσής τους θεωρείται αποκλειστικά η ΕΣΥΕ.

Από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, συγκεντρώθηκαν χάρτες, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των εκτάσεων της κάθε χρήσης γης. Αναλυτικότερα από τη ΓΥΣ συγκεντρώθηκαν χάρτες με την ακτογραμμή, τα διοικητικά όρια των Γεωγραφικών Διαμερισμάτων, των Νομών και των Δήμων και Κοινοτήτων.

Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία άλλων μελετητών, λόγω αδυναμίας συγκέντρωσης ή διάθεσης των στοιχείων αυτών από επίσημους φορείς.

#### 3.3.2 Συγκεντρωθέντα στοιχεία

Τα συγκεντρωθέντα στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 που ακολουθεί, όπου αναφέρονται με λεπτομέρειες η πηγή προέλευσής τους, το έτος αναφοράς, η γεωγραφική ανάλυση στην οποία αναφέρονται και τα περιεχόμενα στοιχεία τους ενώ

για τους χάρτες αναφέρεται η κλίμακα και το σύστημα συντεταγμένων στα οποία είναι διαθέσιμοι.

Πίνακας 16. Κατάλογος διαθέσιμων δεδομένων

Χάρτης	Σύστημα Αναφοράς	Κλίμακα	Έτος Αναφοράς	Πηγή
Ακτογραμμή	ΕΓΣΑ	1/250.000, 1/1.000.000		ΓΥΣ
Όρια Γεωγραφικών Διαμερισμάτων	ΕΓΣΑ	1/250.000		ΓΥΣ
Όρια Νομών	ΕΓΣΑ	1/250.000		ΓΥΣ
Όρια Δήμων και Κοινοτήτων	ΕΓΣΑ	1/250.000		ΓΥΣ
Δασικές εκτάσεις	ΕΓΣΑ	1/1.000.000	1987	Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πίνακας	Στοιχεία	Γεωγραφική Ανάλυση	Έτος Αναφοράς	Πηγή
Πληθυσμός	Σύνολο πληθυσμού	Δήμοι & Κοινότητες	1991, 1981	Απογραφή Πληθυσμού
Γεωργικές εκτάσεις ανάλογα με το είδος καλλιέργειας	Αροτραίες Δενδρώδεις Κηπευτικά Αμπέλια Αγροάπαιση	Δήμοι και Κοινότητες	1991, 1981	Απογραφή Γεωργίας και Κτηνοτροφίας
Κεφαλές ζώων ανά κατηγορία	Βοοειδή Αγελάδες Προβατοειδή Αιγοειδή Χοιροειδή Ιπποειδή Κουνέλια Πουλερικά Κυψέλες Μελισσών	Δήμοι και Κοινότητες	1991	Απογραφή Γεωργίας και Κτηνοτροφίας



Έκταση καλλιέργειών και παραγόμενες ποσότητες ανάλογα με το καλλιεργούμενο φυτό	Σιτάρι μαλακό Σιτάρι σκληρό Κριθάρι Σίκαλη Βρώμη Ρύζι Καλαμπόκι Καπνός Σόργο Σόγια Βαμβάκι Ηλιάνθος Σακχαρότευτλα Πορτοκαλιές Λεμονιές Μανταρινιές Μηλιές Αχλαδιές Ροδακινιές Βερικοκιές Κερασιές Αμυγδαλιές Ελιές Αμπέλια Κηπευτικά	Νομοί	1991	Γεωργική Στατιστική
---	--	-------	------	------------------------

### 3.4 Κωδικοποίηση Διαθέσιμων Δεδομένων

Για την κωδικοποίηση των δεδομένων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, επιλέχθηκε η μέθοδος που ακολουθεί η ΕΣΥΕ. Έτσι, η κάθε κοινότητα συνδέεται με ένα οκταψήφιο κωδικό. Από τα 8 ψηφία του κωδικού αυτού, τα δύο πρώτα αναφέρονται στον Νομό που υπάγεται η Κοινότητα, το επόμενο ψηφίο χαρακτηρίζει την ευρύτερη επαρχία που ανήκει ενώ τα τελευταία 5 ψηφία αντιστοιχούν στην Κοινότητα.

Όλα τα συγκεντρωθέντα στοιχεία που αφορούν στα βιολογικά συστήματα, αναφέρονται στις Κοινότητες, με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους. Ωστόσο, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 16 δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία στην επιθυμητή γεωγραφική ανάλυση για όλα τα βιολογικά συστήματα. Οι γεωργικές καλλιέργειες είναι διαθέσιμες

σε επίπεδο Νομών. Επιπλέον, ο δασικός χάρτης αναφέρει τις δασικές εκτάσεις στο σύνολο της Ελλάδας χωρίς να υπάρχει αντιστοιχηση με κάποια διοικητική διαίρεση. Είναι φανερό λοιπόν ότι τα στοιχεία προκειμένου να εμφανίζουν την απαραίτητα ομοιογένεια ως προς το αντικείμενο αναφοράς πρέπει να επεξεργαστούν ώστε να προκύψουν τελικά στην επιθυμητή μορφή.

### *3.5 Επεξεργασία Διαθέσιμων Δεδομένων*

Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), πληροφορία που αναφέρεται σε συγκεκριμένη γεωγραφική διαίρεση μπορεί να αναχθεί σε οποιαδήποτε άλλη γεωγραφική διαίρεση, αξιοποιώντας τις δυνατότητες ενός τέτοιου εργαλείου. Τέτοιου τύπου αναγωγές στηρίζονται στην παραδοχή ότι η πληροφορία κατανέμεται με βάση την αναλογία των εκτάσεων που ισχύει μεταξύ των διαφορετικών διοικητικών διαίρεσεων. Επιπλέον, τα ΓΣΠ έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν την πληροφορία ενός χάρτη με τις πληροφορίες που περιέχονται σε κάποιο άλλο.

#### *3.5.1 Προσδιορισμός οικιστικής γης*

Από τα διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα δεν προκύπτουν στοιχεία για την επιφάνεια που καλύπτουν οι οικισμοί στην κάθε Κοινότητα. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της επιφάνειας αυτής, με βάση την παραδοχή ότι οι εκτάσεις από όλες τις χρήσεις γης σε μια διοικητική περιοχή πρέπει να αθροίζονται στο σύνολο της έκτασης της γεωγραφικής περιοχής. Η έκταση της κάθε γεωγραφικής περιοχής υπολογίζεται αυτόματα από το χρησιμοποιούμενο ΓΣΠ με βάση τους διαθέσιμους χάρτες.

Από τον δασικό χάρτη μπορούν να προσδιοριστούν οι εκτάσεις που καλύπτονται από δασικά είδη και οι βοσκότοποι. Από τα υπόλοιπα διαθέσιμα στοιχεία είναι γνωστές οι εκτάσεις που αφιερώνονται στη γεωργία και οι εκτάσεις που αφήνονται για αγρανάπωση. Επομένως είναι δυνατός ο προσδιορισμός της οικιστικής γης, αφαιρώντας από τη συνολική έκταση της περιοχής, τις εκτάσεις που καταλαμβάνουν η αγροτική, η κτηνοτροφική και η δασική γη. Στο Σχήμα 19 περιγράφεται ο αλγόριθμος υπολογισμού της οικιστικής γης.



Σχήμα 19. Αλγόριθμος προσδιορισμού της οικιστικής γης

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα διαθέσιμα δεδομένα δεν έχουν το ίδιο έτος αναφοράς. Σαν συνέπεια αυτού του προβλήματος, τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι ακριβή, ωστόσο είναι τα καλύτερα δυνατά. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι σε αρκετές περιοχές προκύπτουν αρνητικές τιμές για την οικιστική γη, γεγονός που θέτει άμεσο ζήτημα αξιοπιστίας των στοιχείων που καταγράφονται.

### 3.5.2 Προσδιορισμός γεωργικής γης

Η γεωργική γη καταγράφεται τόσο από τη "Γεωργική Στατιστική" σε ετήσια βάση, όσο και από την "Απογραφή Γεωργίας και Κτηνοτροφίας" κάθε 10 χρόνια.

Στην περίπτωση της Γεωργικής Στατιστικής γίνεται καταγραφή σε επίπεδο Κοινότητας της γεωργικής παραγωγής ανά είδος, αλλά τα στοιχεία αθροίζονται και δημοσιεύονται για το σύνολο του Νομού. Στην περίπτωση αυτή, δημοσιεύονται αναλυτικά τόσο οι καλλιεργούμενες εκτάσεις όσο και οι παραγόμενες ποσότητες ανά καλλιεργούμενο είδος.

Στην Απογραφή της Γεωργίας και Κτηνοτροφίας δημοσιεύονται στοιχεία ανά Κοινότητα, χωρίς όμως να γίνεται αναλυτική αναφορά σε όλες τις καλλιέργειες. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται άθροιση των καλλιεργούμενων εκτάσεων και παρουσιάζονται στοιχεία για το σύνολο των αροτραίων καλλιεργειών, για το σύνολο των δενδρωδών

καλλιέργειών, για το σύνολο των κηπευτικών και για τα αμπέλια. Επιπλέον στην Απογραφή δημοσιεύονται και οι εκτάσεις που αφήνονται προς αγρανάπαυση.

Το ΓΣΠ χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει αναγωγή των καλλιεργήσιμων εκτάσεων που δημοσιεύονται σε επίπεδο Νομών, σε εκτάσεις ανά Κοινότητα. Για τον υπολογισμό αυτών των εκτάσεων γίνεται η απλούστευση ότι η αναλογία που υπάρχει μεταξύ της συνολικής επιφάνειας της Κοινότητας προς την αντίστοιχη επιφάνεια του Νομού διατηρείται και στην περίπτωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Έτσι προσδιορίζονται τόσο οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις όσο και η ετήσια παραγωγή ανά Κοινότητα. Η παραδοχή που γίνεται εμπεριέχει τον κίνδυνο σφάλματος, δεδομένου ότι δε λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που μπορεί να παρουσιάζει κάποια περιοχή, όπως για παράδειγμα το υψόμετρό της. Επιπλέον, κατά τον τρόπο αυτό, θεωρείται ότι μια καλλιέργεια παρουσιάζει την ίδια απόδοση σε όλη την έκταση του Νομού και δεν υπάρχουν διακυμάνσεις ανάλογα με τα ιδιαίτερα μορφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά της κάθε Κοινότητας.

Θα πρέπει, τέλος, να τονιστεί ότι η υπάρχουσα πληροφορία για τις γεωργικές καλλιέργειες δεν αναφέρεται σε κάποιο συγκεκριμένο χάρτη. Τα στοιχεία αυτά αντιστοιχίζονται με το γεωγραφικό αντικείμενο στο οποίο αναφέρονται, χωρίς ωστόσο να είναι γνωστή η κατανομή τους μέσα στα όρια του Νομού ή της Κοινότητας.

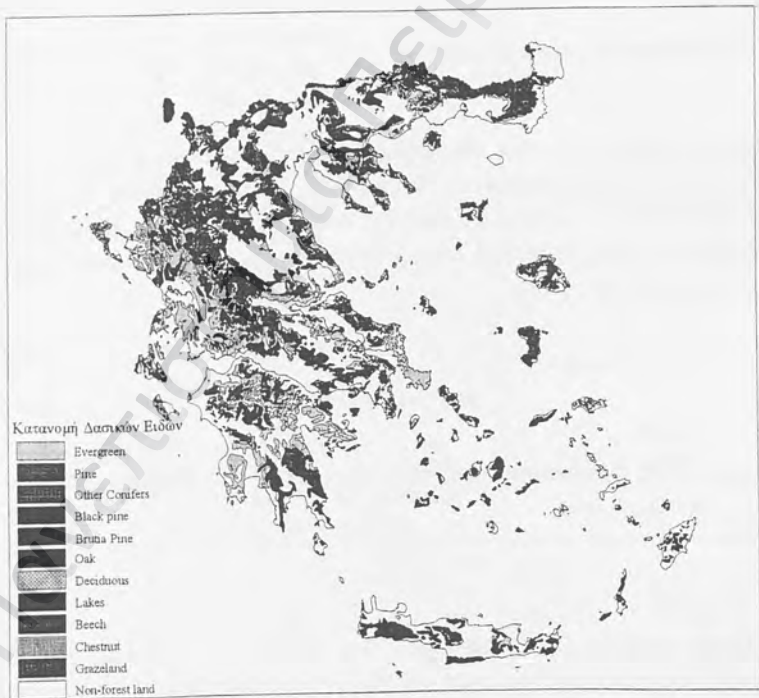
### 3.5.3 Προσδιορισμός δασικής γης

Ο διαθέσιμος δασικός χάρτης περιέχει πληροφορίες για 12 δασικά είδη, ενώ γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ αραιής και πυκνής βλάστησης για το κάθε είδος. Επιπλέον στον ίδιο χάρτη υπάρχουν πληροφορίες για τους βοσκότοπους, τις μη-δασικές εκτάσεις και τις λίμνες. Στον Πίνακα 17 αναφέρονται αναλυτικά οι πληροφορίες που περιέχει ο χάρτης.

Πίνακας 17. Πληροφορίες του δασικού χάρτη

Δασικό Είδος	Αραιή Βλάστηση	Πυκνή Βλάστηση
Ελάτη (fir)	✓	✓
Έλατο τύπου spruce		✓
Μαύρη Πεύκη	✓	✓

Δασικό Είδος	Αραιή Βλάστηση	Πυκνή Βλάστηση
Δασική Πεύκη		✓
Χαλέπιος Πεύκη	✓	✓
Τραχεία Πεύκη	✓	✓
Λοιπά Κωνοφόρα		✓
Οξιά	✓	✓
Δρύς	✓	✓
Καστανιά	✓	✓
Φυλλοβόλα	✓	✓
Αειθαλή	✓	✓



Σχήμα 20. Αρχική μορφή του δασικού χάρτη

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, στο χάρτη υπάρχουν πληροφορίες με περισσότερες λεπτομέρειες από αυτές που απαιτούνται για το υπό κατασκευή εργάλειο. Έτσι, για τα δασικά είδη που υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ αραιής και πυκνής βλάστησης, οι αντιστοιχες εκτάσεις προστίθενται. Επιπλέον, για ορισμένα είδη οι πληροφορίες αφορούν περισσότερες από μία ποικιλίες, οπότε και σε αυτή την περίπτωση προσδιορίζεται το άθροισμά τους.

Ο χάρτης ωστόσο δεν συσχετίζει την υπάρχουσα πληροφορία με κανένα γεωγραφικό αντικείμενο. Η αντιστοίχιση γίνεται με τη βοήθεια του ΓΣΠ, όπου υπάρχει η δυνατότητα μέσω της υπερκάλυψης του δασικού χάρτη από τον χάρτη με τα διοικητικά όρια των Κοινοτήτων να αντιστοιχηθούν στην κάθε Κοινότητα οι δασικές εκτάσεις που την καλύπτουν.

### 3.5.4 Προσδιορισμός κτηνοτροφικής γης

Τα διαθέσιμα στοιχεία για την κτηνοτροφία αφορούν πληθυσμό ζώων και αριθμό εκμεταλλεύσεων όπου εκτρέφονται. Πληροφορίες για τους βοσκότοπους παρέχονται από το δασικό χάρτη. Η διαδικασία με την οποία η πληροφορία αυτή μετατρέπεται στην επιθυμητή ανάλυση είναι η ίδια με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω για τον προσδιορισμό της δασικής γης.

## 3.6 Αλγόριθμος Προσδιορισμού του Δυναμικού της Βιομάζας

### 3.6.1 Τύποι βιομάζας

Νωρίτερα αναφέρθηκε ότι ανάλογα με το στάδιο του κύκλου ζωής ενός βιολογικού πόρου, η προκύπτουσα βιομάζα ταξινομείται σε πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή. Με βάση την παραπάνω κατηγοριοποίηση, τα εξεταζόμενα υπολείμματα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18. Τύποι υπολειμμάτων ανά βιολογικό πόρο

Βιολογικοί Πόροι	Πρωτογενή Υπολείμματα	Δευτερογενή Υπολείμματα
Δημητριακά	Άχυρο	Πίτουρο
Αραβόσιτος	Στελέχη, φύλλα, κοτσάνια	
Ρύζι	Άχυρο	
Καπνός	Στελέχη, φούντες, φύλλα	
Σόργο	Άχυρο, κοτσάνια	
Σόγια	Άχυρο, κοτσάνια	
Σακχαρότευτλα	Φύλλα	Υπόλειμμα αποχύμωσης
Ηλιανθος	Στελέχη, φύλλα	
Βαμβάκι	Στελέχη, φύλλα	Κόκκοι
Πορτοκαλιά	Κλαδέματα	
Λεμονιά	Κλαδέματα	
Μανταρινιά	Κλαδέματα	
Αχλαδιά	Κλαδέματα	
Μηλιά	Κλαδέματα	
Ροδακινιά	Κλαδέματα	Φλοιός, κουκούτσια
Βερικοκιά	Κλαδέματα	Φλοιός, κουκούτσια
Κερασιά	Κλαδέματα	
Αμυγδαλιά	Κλαδέματα	Περικάρπια
Ελιά	Κλαδέματα	Ελαιοπυρηνόξυλο
Αμπέλια	Κληματίδες	Βόστρυχοι, φλοιός, κουκούτσια
Λαχανικά	Φύλλα, στελέχη, κοτσάνια	
Κτηνοτροφικά είδη	Απόβλητα,	Δέρμα, λίπος, αίμα, οπλές, νύχια, εντόσθια
Δασικά είδη	Φύλλα, κλαδιά, κορυφές, ρίζες, υποβλάστηση	Πριονίδι, φλοιός

Η τριτογενής βιομάζα προκύπτει από την τελική χρήση και κατανάλωση των κύριων προϊόντων των βιολογικών συστημάτων. Τα υπολείμματα που προκύπτουν είναι κυρίως απόβλητα ανθρώπινης δραστηριότητας και εντοπίζονται στα αστικά κέντρα ή στους χώρους όπου συντελείται η διεργασία παραγωγής τους. Και στις δύο περιπτώσεις, αυτός ο τύπος βιομάζας θεωρείται ότι εντάσσεται στον όγκο των αστικών απορριμμάτων.

Τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων έχουν ήδη παρουσιαστεί στον Πίνακα 14.

## 3.6.2 Προσδιορισμός του θεωρητικού δυναμικού

Τα επεξεργασμένα δεδομένα για τις χρήσεις γης σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων που συγκεντρώθηκαν από βιβλιογραφικές πηγές συνδυάζονται προκειμένου να προσδιοριστεί το θεωρητικό δυναμικό της βιομάζας σε κάθε Κοινότητα. Το συνολικό θεωρητικό δυναμικό της κάθε Κοινότητας προσδιορίζεται ως το άθροισμα των ποσοτήτων των υπολειμμάτων που παράγονται από όλους τους βιολογικούς πόρους της περιοχής. Στο άθροισμα αυτό συμπεριλαμβάνονται όλα τα υπολείμματα της αγροτικής και της δασικής γης, τα υπολείμματα της κτηνοτροφίας και τέλος τα απορρίμματα και απόβλητα που δημιουργεί ο άνθρωπος.

Στο Σχήμα 21 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος υπολογισμού του θεωρητικού δυναμικού της βιομάζας.



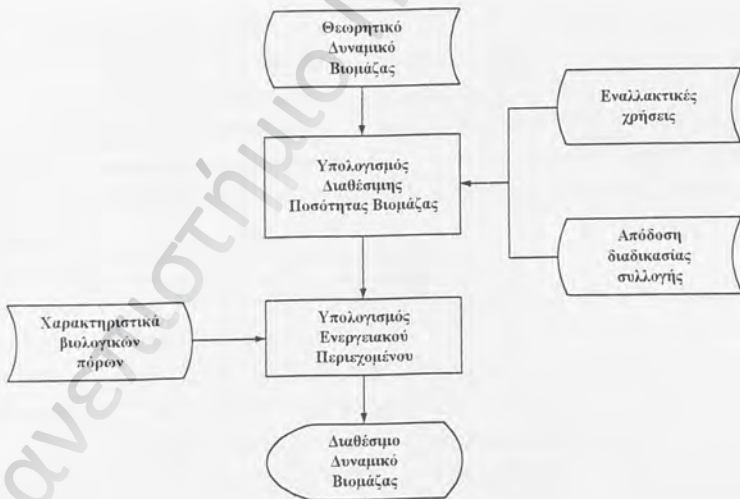
Σχήμα 21. Αλγόριθμος προσδιορισμού του θεωρητικού δυναμικού



### 3.6.3 Προσδιορισμός του διαθέσιμου δυναμικού

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας χρησιμοποιείται το θεωρητικό δυναμικό που προσδιορίστηκε στο προηγούμενο βήμα. Λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς στη διαθεσιμότητα και τα προβλήματα της διαδικασίας συλλογής, προσδιορίζονται τελικά οι διαθέσιμες ποσότητες των υπολειμμάτων. Με βάση τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου υπολείμματος υπολογίζεται το ενεργειακό περιεχόμενο των διαθέσιμων υπολειμμάτων. Το σύνολο αυτής της ποσότητας ενέργειας αποτελεί το διαθέσιμο δυναμικό της βιομάζας.

Στο Σχήμα 22 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο αλγόριθμος προσδιορισμού του διαθέσιμου δυναμικού της βιομάζας.

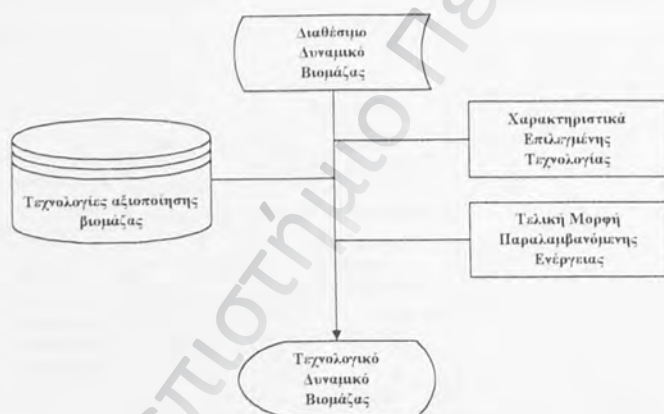


Σχήμα 22. Αλγόριθμος προσδιορισμού του διαθέσιμου δυναμικού

## 3.6.4 Προσδιορισμός του τεχνολογικού δυναμικού

Το τεχνολογικό δυναμικό της βιομάζας προσδιορίζεται με βάση το διαθέσιμο δυναμικό μιας περιοχής. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας αξιοποίησης της βιομάζας υπολογίζεται η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί τελικά να αξιοποιηθεί. Καθοριστική παράμετρος σε αυτή την περίπτωση είναι η επιθυμητή μορφή του τελικού "ενεργειακού" προϊόντος και ο βαθμός απόδοσης της επιλεγμένης τεχνολογίας.

Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος προσδιορισμού του τεχνολογικού δυναμικού της βιομάζας.



Σχήμα 23. Αλγόριθμος προσδιορισμού του τεχνολογικού δυναμικού

## 4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η βάση δεδομένων αναπτύχθηκε στηριζόμενη στη Microsoft Access 2000. Η συγκεκριμένη εφαρμογή υπερκαλύπτει τις ανάγκες που προκύπτουν για τη διαχείριση του όγκου των συγκεντρωθέντων δεδομένων. Εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες της εφαρμογής, το περιβάλλον λειτουργίας που αναπτύχθηκε είναι φιλικό προς το χρήστη, εξασφαλίζοντας ευκολία στην αναζήτηση στοιχείων και την παρουσίασή τους. Ταυτόχρονα διασφαλίζεται και η ευκολία μελλοντικής αναβάθμισης, επέκτασης και ενημέρωσης της βάσης με νεότερα στοιχεία.

Η βάση δεδομένων αποτελείται από πίνακες (*tables*), στον καθένα από τους οποίους αποθηκεύονται διαφορετικές πληροφορίες. Οι στήλες του κάθε πίνακα ονομάζονται πεδία (*fields*). Τα πεδία του κάθε πίνακα διαχωρίζουν τα είδη πληροφοριών που περιέχει ο καθένας. Οι σειρές του πίνακα αποτελούν τις εγγραφές (*records*).

Οι περιεχόμενες πληροφορίες στους πίνακες ταξινομούνται με βάση κάποιες κοινές ιδιότητες. Για να επιτευχθεί αυτή η ταξινόμηση, τα δεδομένα πρέπει να χαρακτηρίζονται από κάποια κλειδιά ή δείκτες (*keys-indexes*). Το κύριο κλειδί (*primary key*) ορίζει τη σειρά ταξινόμησης των εγγραφών του κάθε πίνακα. Προκειμένου να επιτευχθεί ταξινόμηση των δεδομένων με περισσότερα από ένα κριτήρια, χρησιμοποιούνται οι δείκτες, οι οποίοι είναι επίσης κλειδιά, η παρουσία των οποίων επιταχύνει την ταχύτητα αναζήτησης της εφαρμογής.

Τέλος αναπτύσσεται Σύστημα Διαχείρισης της Βάσης Δεδομένων, το οποίο αποτελεί ουσιαστικά το περιβάλλον επικοινωνίας του χρήστη με την καταγεγραμμένη

πληροφορία. Για την ταχύτερη αναζήτηση των στοιχείων και την καλύτερη παρουσίασή τους σχεδιάζονται φόρμες (*forms*) και αναφορές (*reports*).

#### 4.1 Δομή της βάσης δεδομένων

Η υλοποίηση της βάσης ξεκίνησε από το σχεδιασμό των πινάκων και του τρόπου επικοινωνίας τους. Παρακάτω, παρατίθεται ο σχεδιασμός των πινάκων που τελικά υλοποιήθηκε. Το μεγαλύτερο μέρος των αλλαγών που έγιναν αφορούσε στην προσθήκη ή την κατάργηση ορισμένων πεδίων, ενώ τελικά χρειάστηκε, να προστεθούν επιπλέον πίνακες.

Στον Πίνακα 19 που ακολουθεί αναφέρονται οι πίνακες που δημιουργήθηκαν, και δίνεται μια σύντομη περιγραφή των περιεχομένων τους.

Πίνακας 19. Πίνακες της βάσης δεδομένων

α/α	Ονομασία Πίνακα	Αριθμός Πεδίων	Περιεχόμενο
1	AnimalBreeding	7	Πληθυσμός των κτηνοτροφικών ειδών και βοσκότοποι ανά Κοινότητα για τα εξεταζόμενα έτη
2	AnimalResidues	3	Αντιστοίχιση των υπολειμμάτων με τα κτηνοτροφικά είδη που τα προκαλούν
3	Animals	5	Εξεταζόμενα κτηνοτροφικά είδη
4	CommunesNeighbors	3	Αντιστοίχιση της κάθε Κοινότητας με αυτές που συνορεύει
5	CultivatedGroups	6	Εκτάσεις ομάδων καλλιιεργειών ανά Κοινότητα για τα εξεταζόμενα έτη
6	CultivatedSpecies	4	Εξεταζόμενες καλλιιεργειες
7	Cultivation	7	Εκτάσεις και παραγωγή των καλλιιεργειών ανά Κοινότητα για τα εξεταζόμενα έτη
8	CultivationResidues	3	Αντιστοίχιση των υπολειμμάτων με τα γεωργικά είδη που τα δημιουργούν
9	Departments	3	Γεωγραφικά Διαμερίσματα της χώρας και οι κωδικοί τους
10	DepartmentsPrefectures	2	Αντιστοίχιση των Νομών με τα Γεωγραφικά Διαμερίσματα στα οποία υπάρχουν

α/α	Ονομασία Πίνακα	Αριθμός Πεδίων	Περιεχόμενο
11	ForestResidues	3	Αντιστοίχιση των υπολειμμάτων με τα δασικά είδη που τα προκαλούν
12	Forests	6	Εκτάσεις των δασικών ειδών ανά Κοινότητα για τα εξεταζόμενα είδη
13	ForestSpecies	4	Εξεταζόμενα δασικά είδη
14	GroupResidues	3	Αντιστοίχιση των υπολειμμάτων με τις ομάδες καλλιεργειών που τα δημιουργούν
15	GroupSpecies	3	Εξεταζόμενες ομάδες καλλιεργειών
16	Municipalities	3	Δήμοι και Κοινότητες της χώρας και οι κωδικοί τους
17	Population	6	Πληθυσμός των Δήμων και Κοινοτήτων για τα εξεταζόμενα έτη
18	PopulationResidues	3	Αντιστοίχιση με τα υπολείμματα που παράγει ο άνθρωπος
19	PopulationSpecies	1	Βοηθητικός πίνακας με 1 πεδίο και μία μόνο εγγραφή
20	PrefecturesNeighbors	3	Αντιστοίχιση του κάθε νομού με αυτούς που συνορεύει
21	Prefectures	3	Νομοί της χώρας και οι κωδικοί τους
22	PrefecturesMunicipalities	2	Αντιστοίχιση των Δήμων και Κοινοτήτων με τους νομούς στους οποίους υπάγονται
23	ProductCharacteristics	3	Χρήση και ενεργειακό περιεχόμενο των "προϊόντων" που προκύπτουν από την τεχνολογική αξιοποίηση της βιομάζας
24	Products	3	"Προϊόντα" που παραλαμβάνονται μετά την αξιοποίηση της βιομάζας
25	ResidueCharacteristics	11	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων, συντελεστές απόδοσης και διαθεσιμότητας
26	Residues	5	Υπολείμματα που σχηματίζονται απ' όλα τα εξεταζόμενα βιολογικά είδη
27	Technologies	3	Τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας
28	TechnologiesProducts	2	Αντιστοίχιση της κάθε τεχνολογίας με το "προϊόν" που παραλαμβάνεται
29	TechnologiesResidues	2	Αντιστοίχιση του κάθε υπολείμματος - πρώτης ύλης με τις υπάρχουσες τεχνολογίες
30	TechnologyCharacteristics	4	Περιγραφή, βαθμός απόδοσης και κόστος της κάθε τεχνολογίας

## 4.1.1 Δομή των πινάκων

Ο λειτουργικός ρόλος του καθένα από τους παραπάνω πίνακες είναι διαφορετικός. Διακρίνονται σε πίνακες οι οποίοι περιέχουν τα δεδομένα και επομένως αποτελούν την τράπεζα πληροφοριών και σε πίνακες οι οποίοι είναι μεν λειτουργικής σημασίας, δεν περιέχουν ωστόσο καμία επιπλέον πληροφορία. Η ύπαρξή τους όμως εξασφαλίζει τη λειτουργική επικοινωνία μεταξύ των πινάκων της βάσης.

Οι κύριοι πίνακες της βάσης περιέχουν πληροφορίες για τις χρήσεις γης και δεδομένα για τα εξεταζόμενα βιολογικά συστήματα. Επίσης στους κύριους πίνακες συγκαταλέγονται και οι πίνακες που περιέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων, τις υπάρχουσες τεχνολογίες αξιοποίησης των υπολειμμάτων και τα πιθανά προϊόντα τους.

Παρακάτω (Πίνακας 20) παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή της δομής των πινάκων. Για τον καθένα αναφέρονται τα πεδία, η μεταβλητή του κάθε πεδίου και τα περιεχόμενα τους.

Πίνακας 20. Περιγραφή των πινάκων της βάσης

Departments		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
DepartmentID (*)	Text	Πεδίο-κλειδί, κωδικός της ΕΣΥΕ για το Γεωγραφικό Διαμέρισμα
DepartmentGrName	Text	Ελληνική Ονομασία του Γεωγραφικού Διαμερίσματος
DepartmentEnName	Text	Αγγλική Ονομασία του Γεωγραφικού Διαμερίσματος
Prefectures		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
NomosID (*)	Text	Πεδίο-κλειδί, κωδικός της ΕΣΥΕ για τον νομό
NomosGrName	Text	Ελληνική Ονομασία του νομού
NomosEnName	Text	Αγγλική Ονομασία του νομού

\*Με το σύμβολο αυτό χαρακτηρίζονται τα πεδία-κλειδιά του κάθε πίνακα

Municipalities		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
DimosID (*)	Text	Πεδίο-κλειδί, κωδικός της ΕΣΥΕ για το δήμο ή την κοινότητα
DimosGrName	Text	Ελληνική Ονομασία του δήμου
DimosEnName	Text	Αγγλική Ονομασία του δήμου
Residues		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
ResidueID	Integer	Κωδικός της ευρύτερης ομάδας υπολειμμάτων που προκύπτουν από τις διάφορες δραστηριότητες και από όλες τις χρήσεις γης
Code (*)	Text	Πεδίο-κλειδί, που επιτρέπει τη σύνδεση με τον πίνακα των χαρακτηριστικών των υπολειμμάτων
GroupRes	Text	Χαρακτηρισμός το υπολείμματος με βάση τον τύπο βιομάζας
ResidueGrName	Text	Όνομα υπολείμματος στα ελληνικά
ResidueEnName	Text	Όνομα υπολείμματος στα αγγλικά
Population		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
ID (*)	Autonumber	Πεδίο-κλειδί, για την αρίθμηση των εγγραφών
NomosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των νομών
DimosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των δήμων
PopulationID	Integer	Σύνδεση με τον πίνακα των υπολειμμάτων
Population	Long Integer	Πληθυσμός του δήμου ή της κοινότητας
Year	Integer	Έτος στο οποίο αναφέρεται ο πληθυσμός
CultivatedSpecies		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
CultivationID (*)	Text	Πεδίο-κλειδί, κωδικός της καλλιέργειας
Group	Text	Ευρύτερη ομάδα στην οποία ανήκει η καλλιέργεια
CultivationGrName	Text	Ελληνική ονομασία της καλλιέργειας
CultivationEnName	Text	Αγγλική ονομασία της καλλιέργειας
Cultivation		
Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
ID (*)	Auto number	Πεδίο-κλειδί, για την αρίθμηση των εγγραφών
CultivationID	Integer	Σύνδεση με τον πίνακα των καλλιεργούμενων ειδών
NomosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των νομών
DimosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των δήμων
CultivatedArea	Long Integer	Έκταση της κάθε καλλιέργειας
Production	Long Integer	Παραγωγή της κάθε καλλιέργειας
Year	Integer	Έτος στο οποίο αναφέρεται η καλλιέργεια

<b>ForestSpecies</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
ForestID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, κωδικός του δασικού είδους
Group	Text	Ευρύτερη οικογένεια στην οποία ανήκει το δασικό είδος
ForestGrName	Text	Ελληνική ονομασία του δασικού είδους
ForestEnName	Text	Αγγλική ονομασία του δασικού είδους
<b>Forests</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
ID (*)	Auto number	Πεδίο-κλειδί, για την αρίθμηση των εγγραφών
ForestID	Integer	Σύνδεση με τον πίνακα των δασικών ειδών
NomosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των νομών
DimosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των δήμων
ForestArea	Long Integer	Έκταση του κάθε δασικού είδους
Year	Long Integer	Έτος αναφοράς
<b>Animals</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
AnimalID (*)	Text	Κωδικός του κτηνοτροφικού είδους
Group	Text	Ευρύτερη οικογένεια του είδους
AnimalGrName	Text	Ελληνική ονομασία του κτηνοτροφικού είδους
AnimalEnName	Text	Αγγλική ονομασία του κτηνοτροφικού είδους
<b>AnimalBreeding</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
ID (*)	Auto number	Πεδίο-κλειδί, για την αρίθμηση των εγγραφών
AnimalID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των κτηνοτροφικών ειδών
NomosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των νομών
DimosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των δήμων
AnimalPopulation	Long Integer	Πληθυσμός του κτηνοτροφικού είδους
Grazeland	Long Integer	Βοσκότοποι
Year	Integer	Έτος στο οποίο αναφέρεται ο πληθυσμός
<b>GroupSpecies</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
GroupID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, κωδικός της ομάδας καλλιιεργειών
GroupGrName	Text	Ελληνική ονομασία της ομάδας καλλιιεργειών
GroupEnName	Text	Αγγλική ονομασία της ομάδας καλλιιεργειών



<b>CultivatedGroups</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
ID (*)	Auto number	Πεδίο-κλειδί, για την αρίθμηση των εγγραφών
GroupID	Integer	Σύνδεση με τον πίνακα των ομάδων καλλιεργούμενων ειδών
NomosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των νομών
DimosID	Text	Σύνδεση με τον πίνακα των δήμων
GroupArea	Long Integer	Έκταση που καταλαμβάνει η κάθε ομάδα καλλιέργειας
Year	Integer	Έτος στο οποίο αναφέρεται η ομάδα καλλιέργειας
<b>ResiduesCharacteristics</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
ResidueID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, σύνδεση με τον πίνακα των υπολειμμάτων
Efficiency	Double	Απόδοση της δραστηριότητας ως προς την παραγωγή του συγκεκριμένου υπολείμματος
Availability	Double	Διαθεσιμότητα των υπολειμμάτων σε σχέση με ανταγωνιστικές χρήσεις
Humidity	Double	Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας
DryMaterial	Double	Ποσότητα ξηρής ύλης ανά kg υπολείμματος
HighHeatingValue	Double	Ανώτερη θερμογόνος δύναμη του υπολείμματος ανά kg ξηρής ύλης
Carbon	Double	Περιεκτικότητα άνθρακα ανά kg ξηρής ύλης
Ashes	Double	Ποσοστό τέφρας επί της ξηρής ύλης
InorganicMaterial	Double	Ποσοστό άλλων ανόργανων στοιχείων
<b>Technologies</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
TechnologyID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, κωδικός της τεχνολογίας αξιοποίησης των υπολειμμάτων
TechGrName	Text	Ελληνική ονομασία της τεχνολογίας
TechEnName	Text	Αγγλική ονομασία της τεχνολογίας
<b>TechnologyCharacteristics</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Περιεχόμενα Πεδίου</i>
TechnologyID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, σύνδεση με τον πίνακα των τεχνολογιών
Efficiency	Double	Βαθμός απόδοσης της τεχνολογίας
Description	Memo	Περιγραφή της τεχνολογίας
Cost	Memo	Περιγραφή των στοιχείων εκτίμησης του κόστους της κάθε τεχνολογίας

## Products

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
ProductID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, κωδικός του προϊόντος που παραλαμβάνεται
ProdGrName	Text	Ελληνική Ονομασία του προϊόντος
ProdEnName	Text	Αγγλική Ονομασία του προϊόντος

## ProductCharacteristics

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Περιεχόμενα Πεδίου
ProductID (*)	Integer	Πεδίο-κλειδί, σύνδεση με τον πίνακα των προϊόντων
HeatCapacity	Double	Θερμογόνος δύναμη του προϊόντος που παραλαμβάνεται
Usage	Memo	Χρήση του προϊόντος που παραλαμβάνεται

## DepartmentsPrefectures

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Σκοπός του πίνακα
DepartmentID (*)	Text	Συνδέει τους νομούς με το γεωγραφικό διαμέρισμα στο οποίο υπάρχουν
NomosID (*)	Text	

## PrefecturesMunicipalities

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Σκοπός του πίνακα
NomosID (*)	Text	Συνδέει τους δήμους και τις κοινότητες με το νομό στο οποίο υπάρχουν
DimosID (*)	Text	

## AnimalResidues

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Σκοπός του πίνακα
AnimalID (*)	Text	Αντιστοιχίζει τα κτηνοτροφικά είδη με τα υπολείμματά τους
Code (*)	Text	
ResidueID	Integer	

## CultivationResidues

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Σκοπός του πίνακα
CultivationID (*)	Text	Αντιστοιχίζει τα καλλιεργούμενα γεωργικά είδη με τα υπολείμματά τους
Code (*)	Text	
ResidueID	Integer	

## ForestResidues

Πεδία	Τύπος Μεταβλητής	Σκοπός του πίνακα
ForestID (*)	Text	Αντιστοιχίζει τα δασικά είδη με τα υπολείμματά τους
Code (*)	Text	
ResidueID	Integer	

<b>GroupResidues</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
GroupID (*)	Text	Αντιστοιχίζει τις ομάδες καλλιεργειών με τα υπολείμματά τους
Code (*)	Text	
ResidueID	Integer	
<b>TechnologiesResidues</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
TechnologyID (*)	Integer	Αντιστοιχεί το κάθε υπόλειμμα με την ή τις αντίστοιχες τεχνολογίες αξιοποίησής του
Code (*)	Text	
<b>TechnologiesProducts</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
TechnologyID (*)	Integer	Αντιστοιχίζει την κάθε τεχνολογία με τα πιθανά προϊόντα της.
ProductID (*)	Integer	
<b>CommunesNeighbors</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
ID (*)	Autonumber	Αντιστοιχίζει την κάθε κοινότητα με τις γειτονικές της
FirstRegionID (*)	Text	
NeighborRegionID (*)	Text	
<b>PrefecturesNeighbors</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
ID (*)	Autonumber	Αντιστοιχίζει τον κάθε νομό με τους γειτονικούς του
FirstRegion (*)	Text	
NeighborRegion (*)	Text	
<b>PopulationResidues</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
PopulationID (*)	Text	Σύνδεση του πληθυσμού με τα υπολείμματα που δημιουργεί ο άνθρωπος
ResidueID	Integer	
Code (*)	Text	
<b>PopulationSpecies</b>		
<i>Πεδία</i>	<i>Τύπος Μεταβλητής</i>	<i>Σκοπός του πίνακα</i>
PopulationID (*)	Text	Αντιστοιχίζει τα καλλιεργούμενα γεωργικά είδη με τα υπολείμματά τους

Οι τύποι μεταβλητών Text, Memo, Integer, Long Integer, Double και Auto-number αποτελούν τύπους μεταβλητών που υποστηρίζονται από τη Microsoft Access 2000.

Στην περίπτωση των βοηθητικών πινάκων και τα δύο πεδία των πινάκων ορίζονται ως πεδία-κλειδιά, ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα και μοναδικότητα των εγγραφών.

#### *4.1.2 Επικοινωνία μεταξύ των πινάκων*

Η επικοινωνία μεταξύ των πινάκων πραγματοποιείται μέσω των συνδέσεων συγκεκριμένων πεδίων ενός πίνακα με συγκεκριμένα πεδία άλλων πινάκων. Τα πεδία αυτά είναι τα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα κλειδιά του κάθε πίνακα.

Τα είδη των συνδέσεων που γίνονται είναι δύο τύπων:

- "ένα προς ένα", όπου η κάθε εγγραφή ενός πίνακα συνδέεται με μία και μόνο εγγραφή του άλλου πίνακα.
- "ένα προς πολλά" όπου μια εγγραφή ενός πίνακα συσχετίζεται με μία ή περισσότερες εγγραφές του άλλου πίνακα.

Οι συσχετίσεις αυτού του είδους επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των πινάκων, προστατεύουν τη βάση δεδομένων από το πρόβλημα της "αποθήκευσης" της ίδιας πληροφορίας σε περισσότερα από ένα σημεία και τέλος αποτρέπουν εγγραφές για τις οποίες δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα πεδία κλειδιά.

Παρακάτω δίνεται αναλυτικά ο τύπος της συσχέτισης του κάθε πίνακα με τους υπολοίπους, και τα πεδία μέσω των οποίων πραγματοποιούνται οι συνδέσεις αυτές (Πίνακας 21).

Πίνακας 21. Περιγραφή συνδέσεων μεταξύ των πινάκων της βάσης

ψ	Πίνακας	Σχετιζόμενος Πίνακας
	Animals	AnimalBreeding
Σχετιζόμενα Πεδία	AnimalID	AnimalID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Animals	AnimalResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	AnimalID	AnimalID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	CultivatedSpecies	Cultivation
Σχετιζόμενα Πεδία	CultivationID	CultivationID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	CultivatedSpecies	CultivationResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	CultivationID	CultivationID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ForestSpecies	ForestResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	ForestID	ForestID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ForestSpecies	Forest
Σχετιζόμενα Πεδία	ForestID	ForestID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	GroupSpecies	CultivatedGroups
Σχετιζόμενα Πεδία	GroupID	GroupID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	GroupSpecies	GroupResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	GroupID	GroupID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	GroupSpecies	CultivatedGroup
Σχετιζόμενα Πεδία	GroupID	GroupID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Departments	DepartmentPrefectures
Σχετιζόμενα Πεδία	DepartmentID	DepartmentID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	

	Πίνακας	Σχετιζόμενος Πίνακας
	Prefectures	DepartmentPrefectures
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Prefectures	PrefecturesMunicipalities
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Municipalities	PrefecturesMunicipalities
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to one	
	Municipalities	AnimalBreeding
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Municipalities	CultivatedGroups
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Municipalities	Cultivation
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Municipalities	Forests
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Municipalities	Population
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to one	
	PopulationSpecies	Population
Σχετιζόμενα Πεδία	PopulationID	PopulationID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	PopulationSpecies	PopulationResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	PopulationID	PopulationID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Prefectures	AnimalBreeding
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	

	Πίνακας	Σχετιζόμενος Πίνακας
	Prefectures	CultivatedGroups
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Prefectures	Cultivation
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Prefectures	Forests
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Prefectures	Population
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Prefectures	PrefecturesNeighbors
Σχετιζόμενα Πεδία	NomosID	NomosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Municipalities	CommunesNeighbors
Σχετιζόμενα Πεδία	DimosID	DimosID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Residues	AnimalResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	ResidueID	ResidueID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Residues	CultivationResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	ResidueID	ResidueID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Residues	ForestResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	ResidueID	ResidueID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Residues	GroupResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	ResidueID	ResidueID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Residues	PopulationResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	ResidueID	ResidueID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	

	Πίνακας	Σχετιζόμενος Πίνακας
	ResidueCharacteristics	PopulationResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	Code	Code
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ResidueCharacteristics	Residues
Σχετιζόμενα Πεδία	Code	Code
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ResidueCharacteristics	AnimalResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	Code	Code
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ResidueCharacteristics	CultivationResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	Code	Code
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ResidueCharacteristics	ForestResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	Code	Code
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	ResidueCharacteristics	TechnologiesResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	Code	Code
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Technologies	TechnologiesResidues
Σχετιζόμενα Πεδία	TechnologyID	TechnologyID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Technologies	TechnologyCharacteristics
Σχετιζόμενα Πεδία	TechnologyID	TechnologyID
Τύπος Συσχέτισης	One to one	
	Technologies	TechnologiesProducts
Σχετιζόμενα Πεδία	TechnologyID	TechnologyID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Products	TechnologiesProducts
Σχετιζόμενα Πεδία	ProductID	ProductID
Τύπος Συσχέτισης	One to many	
	Products	ProductCharacteristics
Σχετιζόμενα Πεδία	ProductID	ProductID
Τύπος Συσχέτισης	One to one	



## 4.2 Λειτουργία της Εφαρμογής

Η εφαρμογή έχει δομηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης να μπορεί να ξεκινήσει από τρία διαφορετικά σημεία, ανεξάρτητα μεταξύ τους, και να προχωρήσει στη μελέτη του για:

- τις χρήσεις γης
- το δυναμικό της βιομάζας
- την τεχνολογική αξιοποίηση της βιομάζας

### 4.2.1 Χρήσεις γης

Με τη συγκεκριμένη επιλογή ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί στο τμήμα αυτό του εργαλείου όπου παρέχονται πληροφορίες για τις εξεταζόμενες χρήσεις γης. Ο χρήστης επιλέγει καταρχήν τον τύπο της γης και στη συνέχεια την ή τις περιοχές που επιθυμεί να εξετάσει.

Για την αστική γη επιλέγει τον ή τους νομούς και παίρνει σε μορφή πίνακα τα πληθυσμιακά δεδομένα ανά Κοινότητα, όπως επίσης και την έκταση των οικισμών της Κοινότητας, υπολογισμένη με βάση των αλγόριθμο που περιγράφηκε νωρίτερα. Στη γεωργική γη, τα αποτελέσματα αφορούν τις εκτάσεις που καλλιεργούνται ανά καλλιεργήσιμο είδος και τις παραγόμενες ποσότητες. Σε μορφή γραφήματος μπορεί να δει το ποσοστό της γεωργικής γης που αφιερώνεται στον κάθε τύπο καλλιέργειας και να κάνει συγκρίσεις μεταξύ των διαφορετικών περιοχών. Όσον αφορά στην κτηνοτροφική γη, παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα αφενός ο πληθυσμός του κάθε κτηνοτροφικού είδους και αφετέρου οι εκτάσεις των βοσκοτόπων, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων του δασικού χάρτη. Τέλος για τη δασική γη παρουσιάζονται σε πίνακα οι εκτάσεις του κάθε δασικού είδους για την ή τις επιλεγμένες περιοχές, με βάση τις πληροφορίες που αντλήθηκαν από την επεξεργασία του δασικού χάρτη. Όπως και στην περίπτωση της αγροτικής γης είναι δυνατή η παρουσίαση των στοιχείων αυτών σε γράφημα όπου εμφανίζεται η κατανομή των δασικών ειδών στην υπό εξέταση περιοχή.

Σε όλες τις περιπτώσεις, οι πίνακες με τα δεδομένα μπορούν να τυπωθούν ή να αποθηκευτούν σε αρχείο, εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες που παρέχει το λογισμικό πακέτο με το οποίο αναπτύχθηκε η εφαρμογή, κατ' επιλογή του χρήστη.

### 4.2.2 Δυναμικό βιομάζας

Ο χρήστης αρχικά επιλέγει την προέλευση του τύπου της βιομάζας, δηλαδή αν αυτή προέρχεται από αγροτικά, δασικά ή κτηνοτροφικά απορρίμματα ή αν πρόκειται για αστικά απορρίμματα ή απόβλητα.

Οι ποσότητες βιομάζας προσδιορίζονται με βάση τους συντελεστές παραγωγής υπολειμμάτων. Οι ποσότητες που προκύπτουν κατ' αυτόν τον τρόπο προσδιορίζουν το θεωρητικό δυναμικό της βιομάζας της υπό εξέταση περιοχής. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα και τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου υπολείμματος υπολογίζεται το διαθέσιμο δυναμικό της βιομάζας. Τέλος, επιλέγοντας μία από τις διαθέσιμες τεχνολογίες αξιοποίησης, υπολογίζεται η εκμεταλλεύσιμη ενέργεια, θερμική ή ηλεκτρική, ή κάποιας μορφής καύσιμο, στερεό, υγρό ή αέριο.

Ο χρήστης μπορεί να παρέμβει στο εργαλείο δίνοντας τις δικές του εκτιμήσεις στους συντελεστές παραγωγής υπολειμμάτων, στη διαθεσιμότητά τους ή στην απόδοση της σύλλογής, προκειμένου να προσδιορίσει τις μεταβολές που προκύπτουν στο διαθέσιμο δυναμικό και τη βέλτιστη αξιοποίηση των βιοπόρων. Η συγκεκριμένη δυνατότητα καθιστά το εργαλείο χρήσιμο στη λήψη αποφάσεων για θέματα ενεργειακού σχεδιασμού.

### 4.2.3 Τεχνολογική αξιοποίηση βιομάζας

Στην ενότητα αυτή προσφέρεται πληροφοριακό υλικό σχετικά με τις υπάρχουσες τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας. Παρουσιάζονται οι κύριες τεχνολογικές εφαρμογές, οι οποίες διακρίνονται με βάση τη μορφή της παραλαμβανόμενης ενέργειας. Αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους ως προς την απόδοση μετατροπής, τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η κάθε μέθοδος και τελικά δίνεται και μια εκτίμηση του κόστους παραγωγής της ενέργειας με τις περιγραφόμενες μεθόδους.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1 Κατανομή Χρήσεων Γης

Οι κυριότερες χρήσεις της ελληνικής γης, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι:

- η αστική
- η γεωργική
- η δασική και
- η κτηνοτροφική

Τέλος έναμέρος της αγροτικής γης αφήνεται σε ετήσια βάση προς αγρανάπαυση, οπότε οι εκτάσεις αυτές μπορούν να θεωρηθούν διαθέσιμες για την ανάπτυξη άλλων δραστηριοτήτων και ειδικότερα για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών.

Στο Σχήμα 24 παρουσιάζεται η κατανομή των χρήσεων γης για όλη την Ελλάδα, ανά Νομό. Όπως προκύπτει στη Βόρεια Ελλάδα, και ειδικότερα στη Δυτική Θράκη, την Ανατολική και Κεντρική Μακεδονία, αλλά και τη Θεσσαλία, μεγάλο τμήμα της γης απασχολείται από τις συνήθεις γεωργικές δραστηριότητες. Νοτιότερα και δυτικά, στην Ηπειρο, Δυτική Στερεά και Ανατολική Πελοπόννησο υπάρχουν σημαντικές δασικές εκτάσεις.

Στις ορεινές περιοχές και τα νησιά, οι βοσκότοποι καταλαμβάνουν σημαντικές εκτάσεις, ενώ στις πεδινές περιοχές της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας είναι σημαντικά περιορισμένοι. Η διαφοροποίηση αυτή, όπως θα φανεί και αργότερα, οφείλεται στα διαφορετικά είδη που εκτρέφονται στις ορεινές και τις πεδινές περιοχές. Γενικά, τα μεγάλα ζώα εκτρέφονται σε οργανωμένες μονάδες σε αντίθεση με τα αιγοπρόβατα τα οποία συνήθως κυκλοφορούν ελεύθερα.

Τέλος, η αστική γη παρουσιάζεται να κατέχει σχεδόν σε όλη τη χώρα περισσότερο από το 50% της συνολικής γης. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με τον τρόπο προσδιορισμού της οικιστικής γης. Καταρχήν, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δεν θεωρούνται ομοιγενή εφόσον δεν προέρχονται από τον ίδιο φορέα. Επιπλέον όλα τα διαθέσιμα στοιχεία δεν αναφέρονταν στην ίδια χρονική περίοδο, οπότε προκύπτει ένας επιπλέον λόγος ασυμβατότητας.



Σχήμα 24. Κατανομή χρήσεων γης ανά Νομό

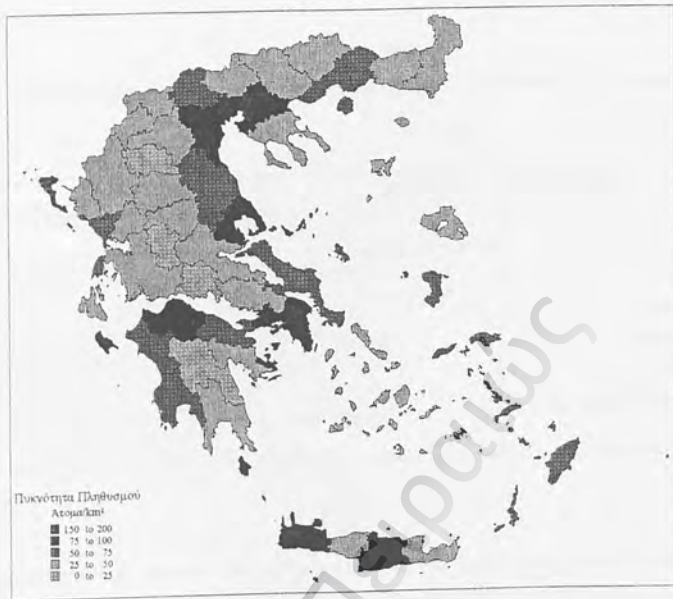
## 5.2 Αστική Γη

### 5.2.1 Κατανομή πληθυσμού

Διοικητικά, η Ελλάδα διαιρείται σε 10 Γεωγραφικά Διαμερίσματα, 51 Νομούς και περίπου 1000 Δήμους, με βάση το "Σχέδιο Καποδίστριας". Ωστόσο μέχρι τις 31/12/1998, ήταν διαιρεμένη σε 5.921 Δήμους και Κοινότητες. Από τα στοιχεία των δύο απογραφών πληθυσμού, του 1981 και 1991, ο πληθυσμός της χώρας αυξήθηκε κατά 6% περίπου, ή σε απόλυτα μεγέθη κατά 595.075 άτομα.

Η παρατηρούμενη μεταβολή του πληθυσμού δεν ήταν παντού αυξητική. Σε όλη την επικράτεια, 40 Κοινότητες διατήρησαν σταθερό το πληθυσμό τους, ενώ σε 2904 Κοινότητες σημειώθηκε μείωση του πληθυσμού. Γεωγραφικά, η μείωση αυτή εντοπίζεται κυρίως στις ορεινές περιοχές της Ηπείρου, στην Κεντρική και Δυτική Μακεδονία, στη Δυτική Θράκη και την Ανατολική Πελοπόννησο. Στα νησιά, οι τάσεις είναι αυξητικές, με εξαίρεση την Κρήτη, όπου ο αριθμός των Κοινοτήτων στις οποίες μειώθηκε ο πληθυσμός είναι αρκετά σημαντικός. Τέλος στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας παρατηρείται μείωση του πληθυσμού στο κέντρο και μετατόπιση προς τα νοτιοανατολικά και βόρεια προάστια της πόλης, ενώ αντίστοιχο φαινόμενο παρατηρείται και στο Δήμο Θεσσαλονίκης.





Σχήμα 26. Κατανομή του πληθυσμού ανά Νομό

### 5.2.2 Παραγωγή αστικών απορριμμάτων

Τα παραγόμενα αστικά απορρίματα προσδιορίζονται με συντελεστές παραγωγής ανά άτομο ανά ημέρα. Από μελέτες που έχουν γίνει για την Ελλάδα, η παραγωγή απορριμμάτων κυμαίνεται στα 0.84 kg/άτομο/ημέρα, ενώ η θερμογόνο δύναμη τους είναι της τάξης των 1320 kcal/kg [28].

Λαμβάνοντας υπόψη τον πληθυσμό των Δήμων και Κοινοτήτων για το σύνολο της Ελλάδας προκύπτουν οι ποσότητες απορριμμάτων και το αντίστοιχο ενεργειακό τους περιεχόμενο (Πίνακας 22).

Πίνακας 22. Ποσότητες απορριμμάτων και ενεργειακό περιεχόμενο στο σύνολο της Ελλάδας

Σύνολο Ελλάδας	1981	1991
Πληθυσμός	9.673.488	10.268.563
Παραγόμενα Απορρίμματα (χιλ. τόνους)	2.965,9	3.148,3
Περιεχόμενη Ενέργεια (TJ)	16.403,7	17.412,8

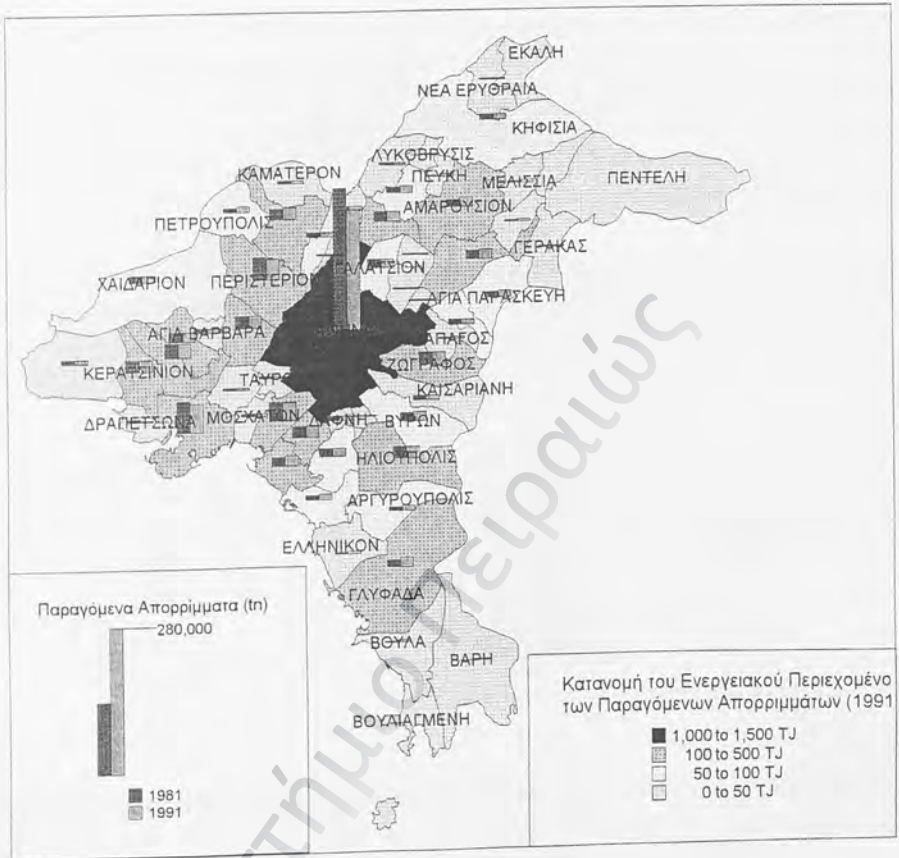
Στον Πίνακα 23 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα μεγέθη για τους μεγαλύτερους Δήμους της Ελλάδας, με πληθυσμό πάνω από 100.000 κατοίκους.

Πίνακας 23. Παραγόμενα απορρίμματα από τους μεγαλύτερους Δήμους.

Πόλεις	Πληθυσμός		Απορρίμματα (χιλ. τον)		Ενεργειακό Περιεχόμενο (TJ)	
	1981	1991	1981	1991	1981	1991
Αθήνα	885.737	772.072	271,56	236,72	1502,0	1309,0
Θεσσαλονίκη	406.413	383.967	124,61	117,72	689,2	651,1
Πειραιάς	196.389	182.671	60,21	56,01	333,0	309,8
Πάτρα	142.163	153.344	43,59	47,01	241,1	260,0
Περιστέρι	140.858	137.288	43,19	42,03	238,9	232,8
Ηράκλειο	102.398	116.178	31,39	35,62	173,6	197,0
Καλλιθέα	117.319	114.233	35,97	35,02	198,9	193,7
Λάρισα	102.426	113.090	31,40	34,67	173,7	191,8

Στο Σχήμα 27 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα μεγέθη για την ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας. Όπως είναι αναμενόμενο, λόγω της γραμμικότητας που παρουσιάζει ο τρόπος υπολογισμού τόσο των παραγόμενων απορριμμάτων όσο και της περιεχόμενης ενέργειας σε αυτά, στους μεγαλύτερους Δήμους έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή απορριμμάτων και επομένως μεγαλύτερο δυναμικό βιομάζας.





Σχήμα 27. Παραγόμενα απορρίμματα και περιεχόμενη ενέργεια

### 5.2.3 Παραγωγή αστικών λυμάτων

Τα παραγόμενα λύματα υπολογίζονται όπως και τα απορρίμματα, με χρήση συντελεστών παραγωγής. Ο άνθρωπος καταναλώνει σε ημερήσια βάση περίπου 150 l νερό τα οποία καταλήγουν τελικά στο ρεύμα των λυμάτων. Η περιεκτικότητα των παραγόμενων λυμάτων σε στερεά, σε διαλελυμένη μορφή ή σε αιώρηση είναι περίπου 1.25 %ο [28].

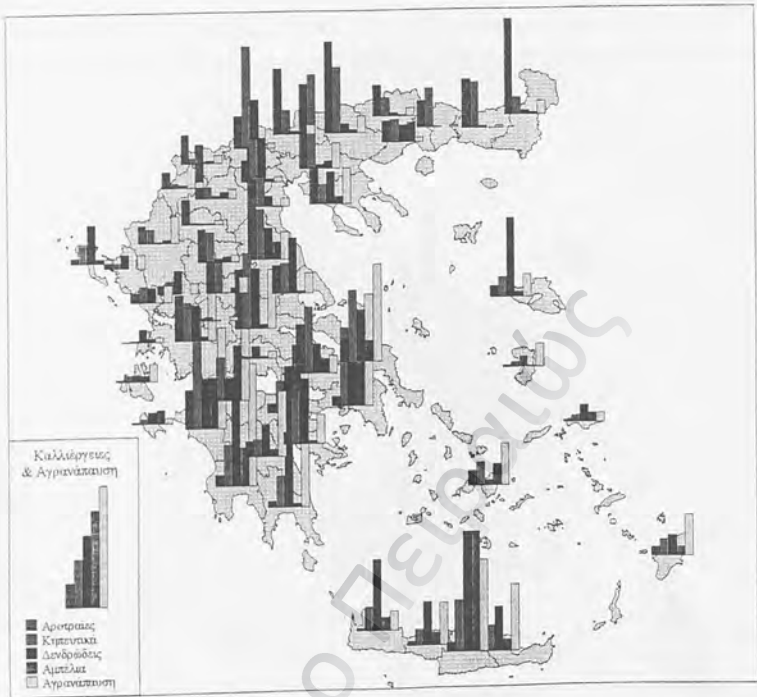
Λαμβάνοντας υπόψη τον πληθυσμό της Ελλάδας, προκύπτει ότι σε ετήσια βάση δημιουργούνται περίπου 526 Mm<sup>3</sup> λυμάτων. Ωστόσο, σε λίγες περιπτώσεις τα λύματα καταλήγουν σε αποχετευτικό δίκτυο και τελικά σε μονάδα επεξεργασίας. Στις περισσότερες αγροτικές περιοχές, ακόμα και σήμερα, το κάθε οίκημα διαθέτει το δικό του βόθρο, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των ποσοτήτων των λυμάτων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ενεργειακά.

Εναλλακτικά, θα μπορούσε να γίνει καταγραφή των ποσοτήτων που καταλήγουν μέσω των αποχετευτικών δικτύων στις μονάδες επεξεργασίας και από αυτές να προσδιοριστεί η περιεχόμενη ενέργεια στο ρεύμα των αποβλήτων.

### **5.3 Γεωργική Γη**

#### *5.3.1 Κατανομή καλλιεργήσιμης γης*

Οι γεωργικές καλλιέργειες κατηγοριοποιούνται σε 4 ομάδες, που παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά, τις αροτραίες καλλιέργειες, τις δενδρώδεις, τα κηπευτικά και τα αμπέλια. Στο Σχήμα 28 παρουσιάζεται η κατανομή των εκτάσεων που καταλαμβάνει η κάθε ομάδα καλλιέργειας, όπως επίσης και η γη που αφήνεται προς αγρανάπαυση. Από την κατανομή προκύπτει ότι στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα κυριαρχούν οι αροτραίες καλλιέργειες, ενώ απουσιάζουν τα αμπέλια. Αντίθετα στο Νότο κυριαρχούν οι δενδρώδεις καλλιέργειες και τα αμπέλια. Σημαντικό ποσοστό της αγροτικής γης στο Νότο αφήνεται ανεκμετάλλευτο προς αγρανάπαυση.



Σχήμα 28. Κατανομή γεωργικών καλλιεργειών

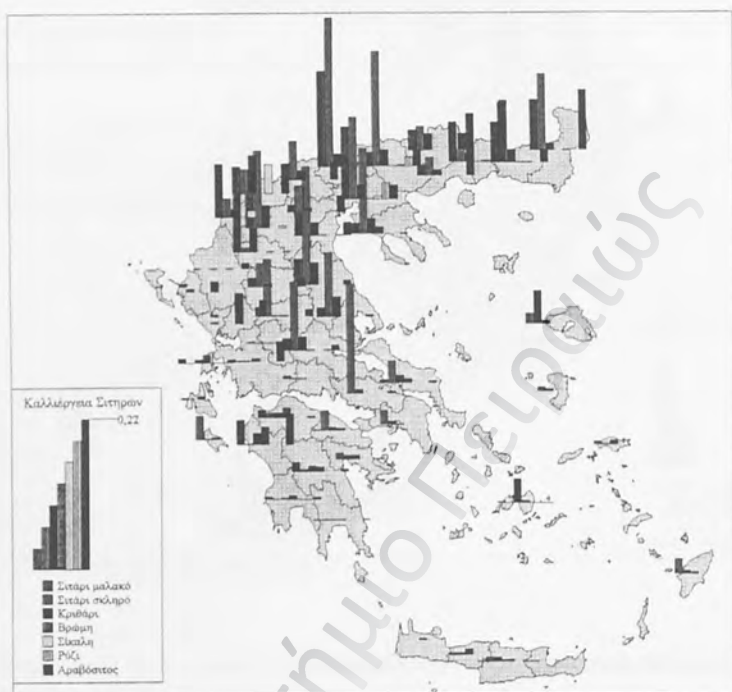
### 5.3.2 Στρεμματικές αποδόσεις καλλιεργειών

Ως στρεμματική απόδοση καλλιεργείας  $\eta_i$  ορίζεται το πηλίκο του παραγόμενου καρπού προς την καλλιεργήσιμη έκταση που απαιτείται για την παραγωγή του.

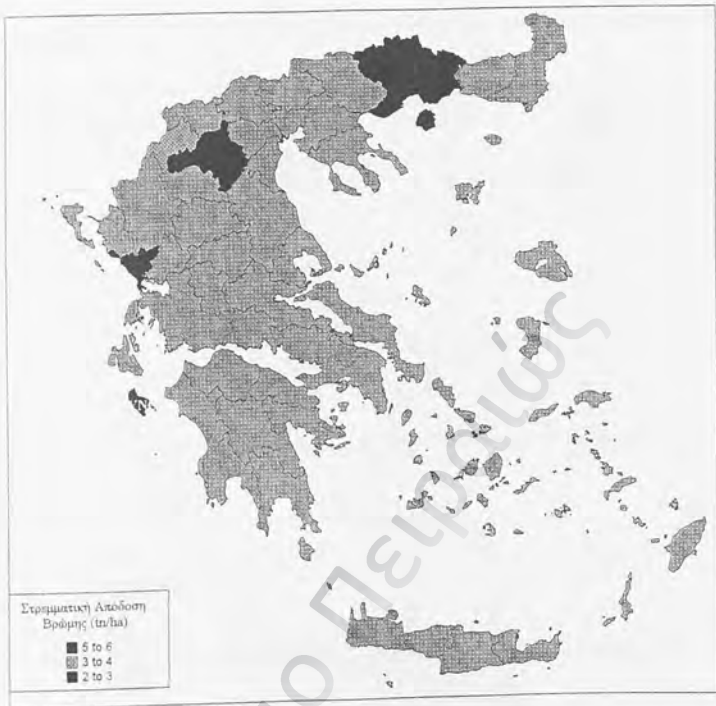
$$\eta_i = \frac{\text{Παραγωγή}(t)}{\text{Καλλιεργήσιμη έκταση}(ha)}$$

Αποτελεί δηλαδή μέτρο του πόσο καλά αξιοποιείται η γεωργική γη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα κακής χρήσης της γης αποτελεί η καλλιέργεια της βρώμης. Ενώ στην Πελοπόννησο παράγονται σημαντικές ποσότητες από την καλλιέργεια, η απόδοση της είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με αυτήν που παρουσιάζει το φυτό στη Βόρεια Ελλάδα. Στο σχήμα 29 φαίνεται εμφανώς ότι η καλλιεργήσιμες εκτάσεις με βρώμη στο

Βορρά είναι ανύπαρκτες σε αντίθεση με τη Νότια Ελλάδα, ενώ από το σχήμα 30 προκύπτει ότι στο Βορρά παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόδοση η καλλιέργεια.



Σχήμα 29. Καλλιεργούμενες εκτάσεις σιτηρών για το σύνολο της χώρας



Σχήμα 30. Στρεμματική απόδοση βρώμης

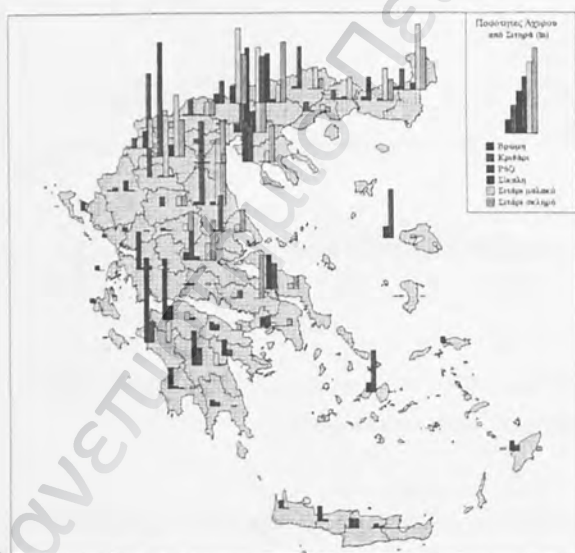
### 5.3.3 Παραγόμενη και διαθέσιμη βιομάζα

Όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα, η παραγόμενη βιομάζα υπολογίζεται μέσω συντελεστών παραγωγής των υπολειμμάτων της κάθε καλλιέργειας. Στη συνέχεια, με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μίας, προσδιορίζονται οι διαθέσιμες ποσότητες για το κάθε υπόλειμμα και τελικά η περιεχόμενη σε αυτό ενέργεια.

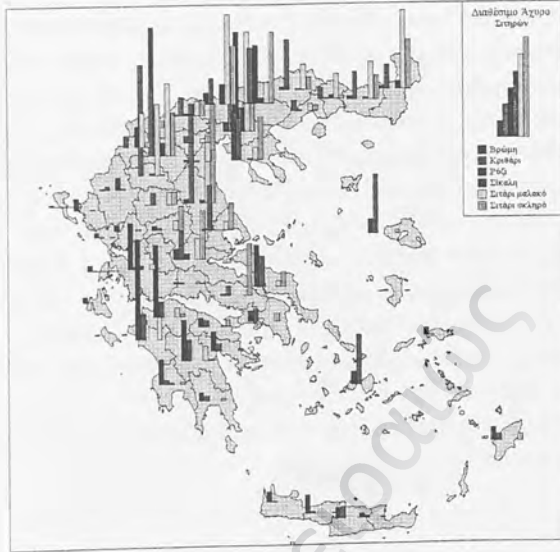
Στον Πίνακα 24 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες σιτηρών, με βάση τα οποία προσδιορίζεται το ενεργειακό δυναμικό. Στα σχήματα 31 και 32 παρουσιάζονται οι παραγόμενες και οι διαθέσιμες ποσότητες άχυρου ενώ στο Σχήμα 33 φαίνεται η ενεργειακή πυκνότητα των συγκεκριμένων υπολειμμάτων σε όλη την Ελλάδα.

Πίνακας 24. Χαρακτηριστικά υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες σιτηρών

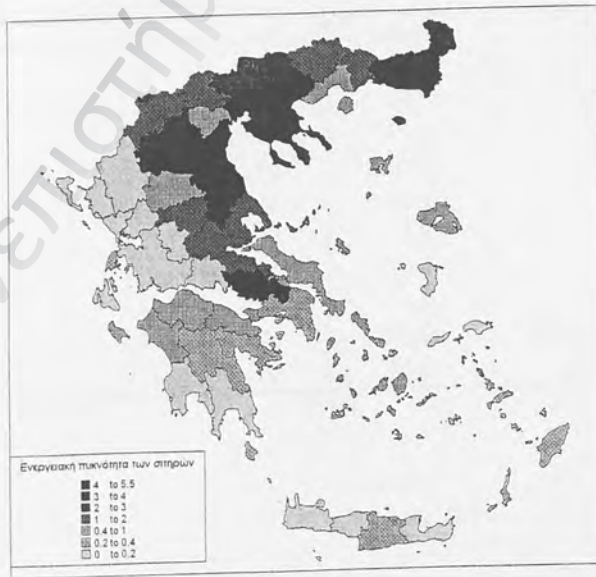
Καλλιέργεια	Στρεμματική απόδοση (tn/ha)	Υγρασία (%)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg ξηρής ύλης)	Διαθεσιμότητα (%)	Απόδοση Συλλογής (%)
Σιτάρι μαλακό	2.97	15	17.9	30	40
Σιτάρι Σκληρό	2.82	15	17.9	30	40
Κριθάρι	2.12	15	17.5	30	40
Βρώμη	1.26	15	17.4	30	40
Σίκαλη	1.26	15	17.4	30	40
Ρύζι	4.52	25	16.8	30	40



Σχήμα 31. Ποσότητες αζώτου σιτηρών



Σχήμα 32. Κατανομή διαθέσιμου άγρου σιτηρών ανά τύπο καλλιέργειας



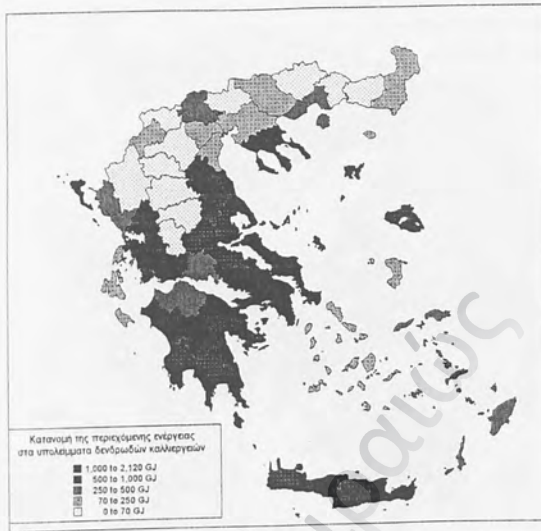
Σχήμα 33. Ενεργειακή πυκνότητα από το παραγόμενο άγρο των σιτηρών

Από τις δένδρωδεις καλλιέργειες, δηλαδή τα κυριότερα φρούτοπαραγωγικά δέντρα και τις ελιές προκύπτουν μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων, κυρίως κλαδιών, τα οποία είναι δυνατό να αξιοποιηθούν ενεργειακά με καύση. Για το σύνολο της Ελλάδας, η διαθέσιμη ενέργεια από τα κλαδοδέματα και το πυρηνόξυλο της ελιάς ανέρχεται σε 167 000 TJ περίπου. Στο Σχήμα 34 παρουσιάζεται η κατανομή της διαθέσιμης ενέργειας από τα κλαδοδέματα των δένδρωδών καλλιεργειών και του πυρηνόξυλου. Η κατανομή παρουσιάζει εικόνα αντίστοιχη της διασποράς που παρουσιάζει η καλλιέργεια δένδρων στην Ελλάδα. Η Νότια Ελλάδα και η Κρήτη παρουσιάζουν μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων και κατά συνέπεια υπάρχουν σημαντικά αποθέματα ενέργειας προς εκμετάλλευση ακόμα. Η συγκεκριμένη κατανομή έχει προκύψει λαμβάνοντας υπόψη ότι σημαντικές ποσότητες ελαιοπυρήνα, περίπου το 50 %, χρησιμοποιούνται ήδη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των ίδιων των ελαιοτριβείων. Τα χαρακτηριστικά των υπολειμμάτων των δένδρωδών καλλιεργειών παρουσιάζονται στον Πίνακα 25, [29].

Πίνακας 25. Χαρακτηριστικά κλαδεμάτων & ελαιοπυρήνα

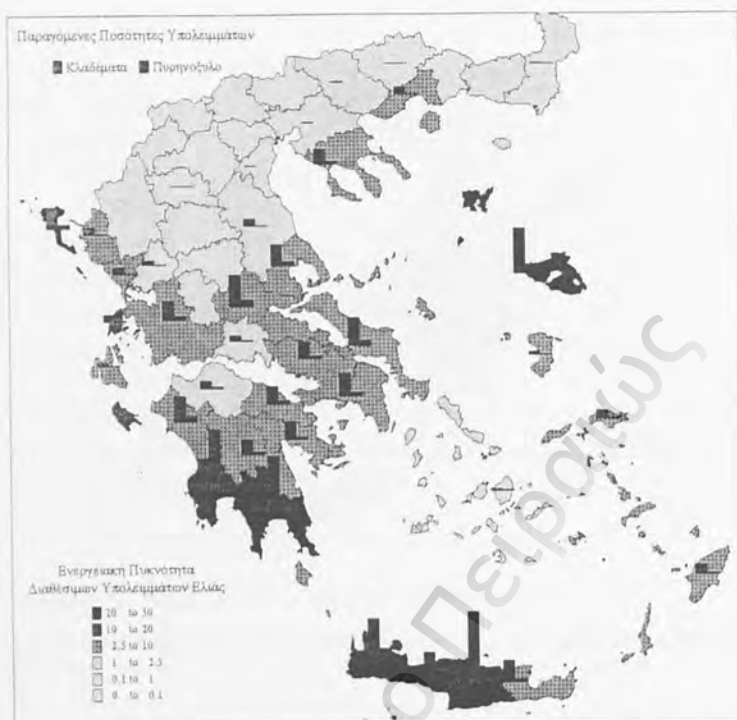
Καλλιέργεια	Στρεμματική απόδοση (tn/ha)	Υγρασία (%)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg ξηρής ύλης)	Διαθεσιμότητα (%)
Πορτοκαλιές	7,41	40	17,7	90
Λεμονιές	6,22	40	17,6	90
Μανταρινιές	9,45	40	17,6	90
Μηλιές	4,77	40	17,8	90
Αχλαδιές	16,62	40	18,0	90
Ροδακινιές	5,61	40	19,4	90
Κερασιές	5,11	40	17,6	90
Βερικοκιές	6,23	40	19,3	90
Αμυγδαλιές	6,21	40	18,4	90
Κλαδέματα Ελιάς	2,82	35	18,1	90
Ελαιοπυρήνας	0,64	60	15,7	50





Σχήμα 34. Κατανομή της διαθέσιμης ενέργειας από τις δενδρώδεις καλλιέργειες

Ειδικότερα για την ελιά, στο Σχήμα 35, που ακολουθεί παρουσιάζεται η ενεργειακή πυκνότητα των διαθέσιμων υπολειμμάτων αλλά και οι παραγόμενες ποσότητες κλαδεμάτων και ελαιοπυρήνα σε όλη την επικράτεια.

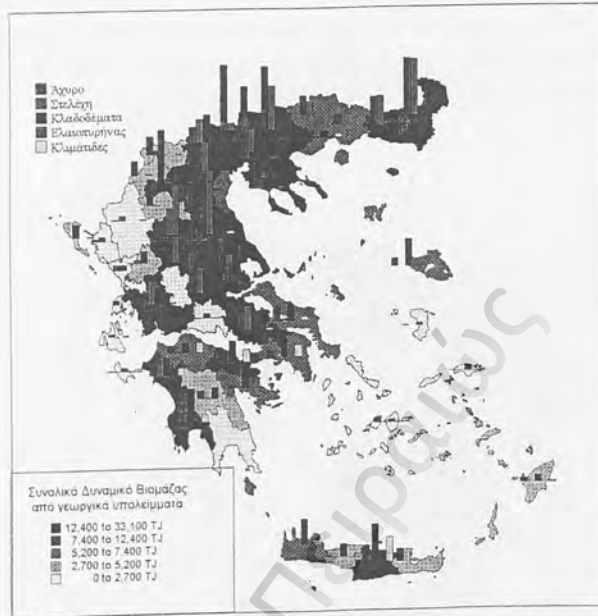


Σχήμα 35. Υπολείμματα ελιάς και διαθέσιμη ενέργεια

Στον πίνακα 32 παρουσιάζονται οι συνολικές ποσότητες παραγόμενων υπολειμμάτων και το ενεργειακό τους περιεχόμενο για το σύνολο της Ελλάδας, ενώ στο σχήμα 36 παρουσιάζεται η κατανομή των μεγεθών αυτών ανά νομό.

Πίνακας 26. Συνολικά παραγόμενα γεωργικά υπολείμματα και ενεργειακό περιεχόμενο

Τύπος υπολείμματος	Παραγόμενη ποσότητα (χιλ. τόνοι)	Ενεργειακό Περιεχόμενο (TJ)
Άχυρο	2.727,7	156.310
Στελέχη	3.199,6	111.134
Κλαδέματα	2.425,7	104.926
Πυρηνόζυλο	353,6	8,35
Κλιματίδες	627,4	24.625
Σύνολο	9.334	397.003



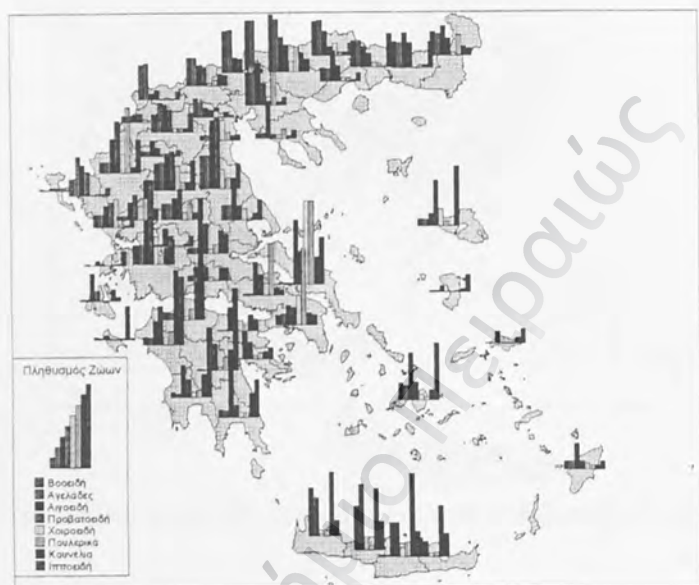
Σχήμα 36. Κατανομή του συνολικού ενεργειακού περιεχομένου υπολειμμάτων

## 5.4 Κτηνοτροφική γη

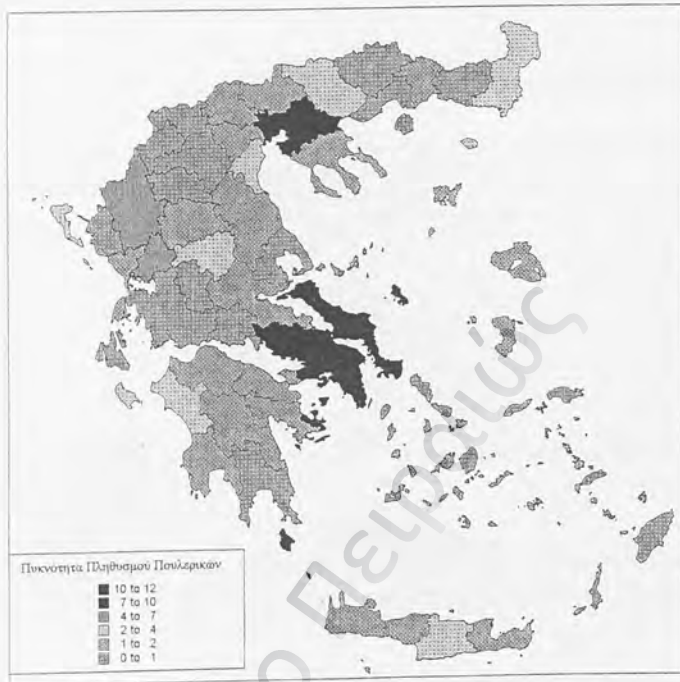
### 5.4.1 Κατανομή πληθυσμού

Με βάση τα συγκεντρωθέντα στοιχεία για τον πληθυσμό των ζώων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα (Σχήμα 37). Καταρχήν τα μεγάλα ζώα, δηλαδή αγελάδες και λουπά βοοειδή είναι συγκεντρωμένα στις πεδινές περιοχές της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας, ενώ οι πληθυσμοί τους ελαχιστοποιούνται προχωρώντας προς το Νότο. Τα ζώα αυτά εκτρέφονται σε οργανωμένες μονάδες σε αντίθεση με τα αιγοπρόβατα που συναντώνται διάσπαρτα σε όλη την Ελλάδα και ιδιαίτερα στις ορεινές και νησιωτικές περιοχές. Στα νησιά, μεγάλους πληθυσμούς εμφανίζουν και τα ιπποειδή, τα οποία εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ως μεταφορικά μέσα. Τέλος τα πουλερικά

παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένη συγκέντρωση στους νομούς Αττικής, Βοιωτίας, Εύβοιας και Θεσσαλονίκης, όπου είναι συγκεντρωμένες μεγάλες πτηνοτροφικές μονάδες προκειμένου να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση των μεγάλων αστικών κέντρων (Σχήμα 38).



Σχήμα 37. Κατανομή του πληθυσμού των ζώων



Σχήμα 38. Πυκνότητα πληθυσμού πουλερικών

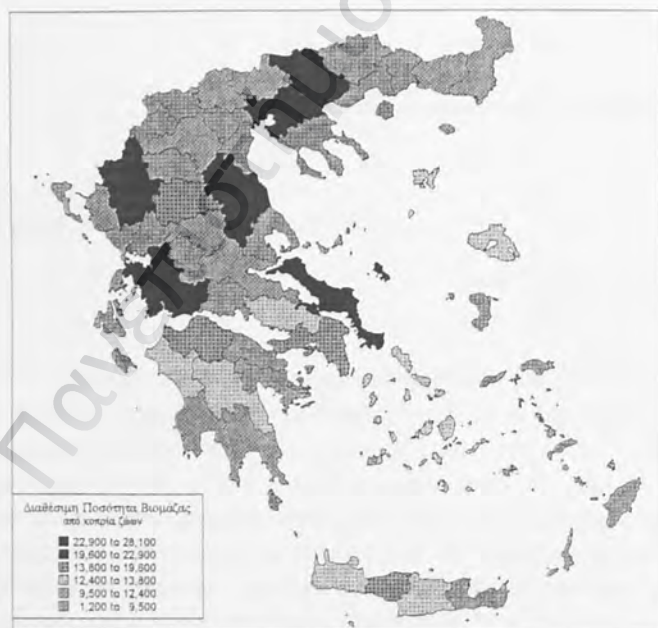
#### 5.4.2 Δυναμικό κτηνοτροφίας

Ανάλογα με τον τύπο της κτηνοτροφίας, οργανωμένη ή ελεύθερη, είναι αναμενόμενο να υπάρχει διαφοροποίηση στη διαθεσιμότητα και τη δυνατότητα συλλογής των ζωικών απορριμμάτων. Έτσι ενώ στις οργανωμένες κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις η δυνατότητα συλλογής των απορριμμάτων και η διαθεσιμότητά τους πλησιάζει στο 100%, στην περίπτωση της ελεύθερης κτηνοτροφίας είναι πολύ δύσκολο να συγκεντρωθούν τα απορρίμματα. Ακόμα όμως και σε αυτή την περίπτωση, οι ίδιοι οι κτηνοτρόφοι απορροφούν ένα πολύ σημαντικό μέρος για γεωργικές χρήσεις. Έτσι, από μελέτες που έχουν γίνει έχουν προκύψει οι παρακάτω τιμές για τα χαρακτηριστικά των ζωικών υπολειμμάτων που συνδέονται με την παραγωγή ενέργειας (Πίνακας 32), [30].

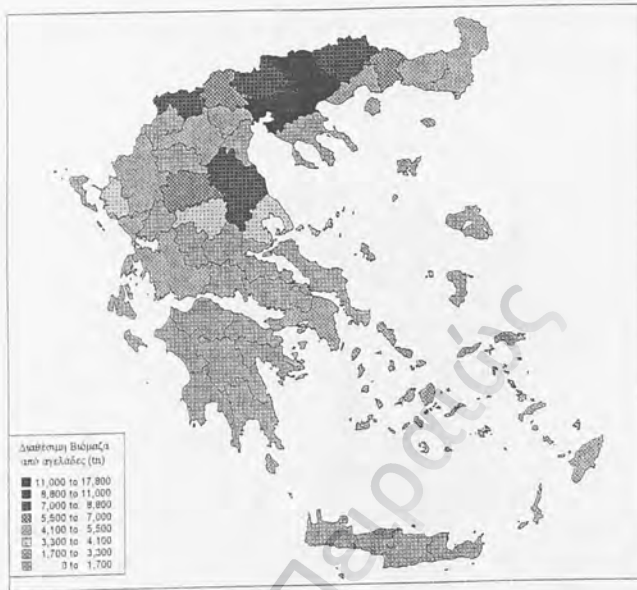
Πίνακας 27. Χαρακτηριστικά ζωικών υπολειμμάτων

Κτηνοτροφικό είδος	Συντελεστής παραγωγής (tn/head/year)	Διαθεσιμότητα (%)
Αγριοειδή	0,09	30
Προβατοειδή	0,9	30
Αγελάδες	0,36	90
Βοοειδή	0,65	90
Ιπποειδή	0,54	30
Κουνέλια	0,02	10
Πουλερικά	0,02	40

Η κατανομή των διαθέσιμων ποσοτήτων βιομάζας που προκύπτουν με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά παρουσιάζονται στα σχήματα 39 και 40.



Σχήμα 39. Διαθέσιμη βιομάζα από το σύνολο των ζώων πλην των αγελάδων



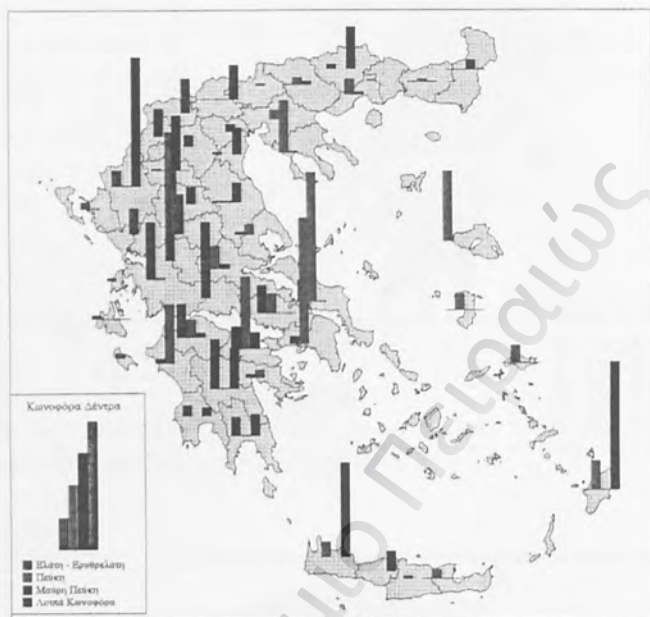
Σχήμα 40. Διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας από αγελάδες

## 5.5 Δασική γη

### 5.5.1 Κατανομή δασικών ειδών

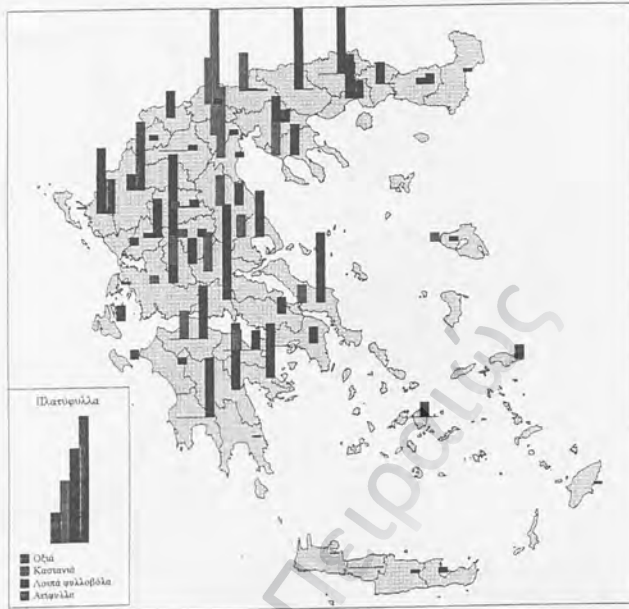
Τα αναπτυσσόμενα δασικά είδη του ελληνικού χώρου παρουσιάζουν χωρική διασπορά η οποία δικαιολογείται από το υψόμετρο και τις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Όπως φαίνεται και στα σχήματα 41 και 42, στις ορεινές περιοχές της Ηπείρου και της Δυτικής Μακεδονίας κυριαρχούν τα έλατα και η μαύρη πεύκη ενώ στην Ανατολική και Νότια Ελλάδα συναντώνται άλλες ποικιλίες πεύκης. Τέλος στα νησιά, εμφανίζονται ορισμένα είδη κωνοφόρων τα οποία όμως δε συναντώνται σε άλλες περιοχές. Στη Βόρεια Ελλάδα συναντώνται συχνότερα καστανιές και άλλα φυλλοβόλα δέντρα, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούν,

ενώ τόσο στην Πελοπόννησο όσο και κατά μήκος της Πίνδου υπάρχουν σημαντικές εκτάσεις από αείφυλλα είδη.



Σχήμα 41. Κατανομή κωνοφόρων δέντρων



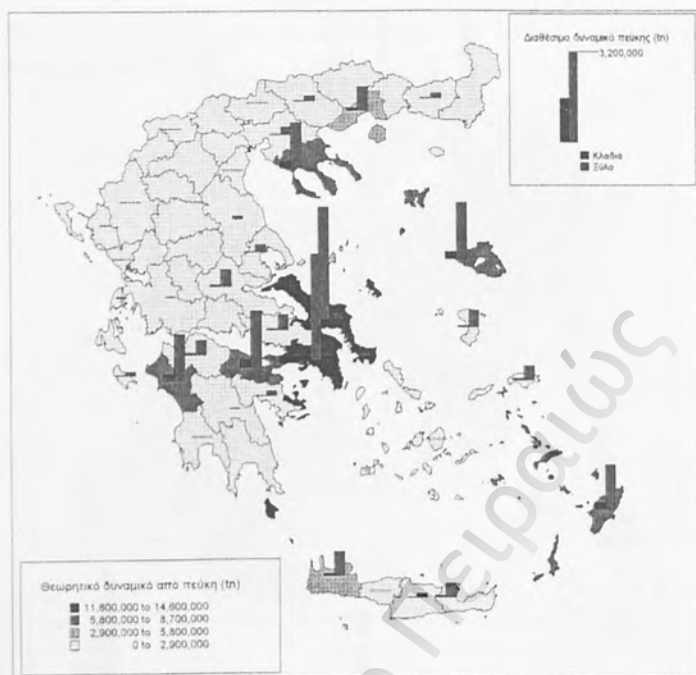


Σχήμα 42. Κατανομή πλατύφυλλων δέντρων

### 5.5.2 Δυναμικό βιομάζας από δασική ύλη

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας χρησιμοποιούνται συντελεστές παραγωγής υπολειμμάτων. Κατά τη φάση της υλοτόμησης δεν απομακρύνεται το 100 % της δασικής ύλης, για να μην προκληθεί διαταραχή του οικοσυστήματος. Περίπου το 50 % της δασικής ύλης συμπεριλαμβανομένων και των κλαδιών παραμένουν στο έδαφος, αλλά 30 % μόνο είναι διαθέσιμο για ενεργειακή αξιοποίηση. Επομένως περιορίζονται σημαντικά οι εκμεταλλεύσιμες ποσότητες. Σε αυτές δεν λαμβάνονται υπόψη τα φύλλα και οι ρίζες, οι οποίες σπανίως συλλέγονται.

Στο Σχήμα 43 παρουσιάζεται ενδεικτικά η κατανομή της θεωρητικής ποσότητας βιομάζας που προκύπτει από την πύκνη και οι ποσότητες που είναι τελικά διαθέσιμες για ενεργειακή αξιοποίηση.



Σχήμα 43. Κατανομή θεωρητικής και διαθέσιμης βιομάζας από πεύκη.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε αρχικά, σκοπός της παρούσας διπλωματικής υπήρξε η εκτίμηση του διαθέσιμου δυναμικού της βιομάζας για ενεργειακή εκμετάλλευση. Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων φαίνεται ότι υπάρχουν αξιόλογες ποσότητες βιομάζας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Το σύνολο της διαθέσιμης δασικής, γεωργικής και κτηνοτροφικής βιομάζας, σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες τεχνολογίες καθιστά το στόχο της “Λευκής Βίβλου” για το ποσοστό διείσδυσης των ΑΠΕ και ειδικότερα της βιομάζας εφικτό.

Ωστόσο υπάρχουν παράμετροι του προβλήματος οι οποίοι δεν καλύφθηκαν με την παρούσα εργασία. Ο σημαντικότερος από αυτούς είναι η εποχικότητα που παρουσιάζεται στη διαθεσιμότητα των υπολειμμάτων, και κυρίως των γεωργικών και δασικών. Η νεκρή βιομάζα σαν υλικό είναι ευπαθές και είναι πολύ δύσκολη η συντήρησή της για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επομένως και η αποθήκευσή της για μεγάλα χρονικά διαστήματα δεν ενδείκνυται.

Η ενεργειακή ζήτηση όμως δεν παρουσιάζει την ίδια χωρική διασπορά με αυτήν της προσφοράς βιομάζας, επομένως στις προτεινόμενες λύσεις για την αντιμετώπιση των αναγκών ενέργειας πρέπει να ληφθεί υπόψη ο βαθμός δυσκολίας που παρουσιάζει στη μεταφορά της η κάθε μορφή ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, το κόστος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα δεν είναι ανεξάρτητο του υψηλού κόστους μεταφοράς που παρουσιάζει το οποίο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας στην Ελλάδα δε γνωρίζουν ακόμα μεγάλη εξάπλωση, περιορίζει σημαντικά το βαθμό διείσδυσής της στην ενεργειακή αγορά.

Δεν πρέπει επίσης να παραβλεφθεί ότι σημαντικές ποσότητες γεωργικών παραπροϊόντων καταναλώνονται για μη ενεργειακούς σκοπούς, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και για τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος της παραγόμενης βιομάζας μένει ανεκμετάλλευτο λόγω της έλλειψης ενημέρωσης και σχεδίου διαχείρισής της.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Boyle, G.(Ed.) (1996), *Renewable Energy; Power for a Sustainable Future*, The Open University, Oxford University Press, UK.
2. European Commission, (1998), 1998, Annual Energy Review, Directorate General for Energy (DG XVII), Brussels.
3. UNFCCC (1997), Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 11/12/1997.
4. Union of Concerned Scientists (2000), Switching America to clean, renewable and affordable power, <http://www.ucsusa.org/energy/renewable>.
5. European Commission, (1996), Energy for the Future: Renewable Sources of Energy, Green Paper for a Community Strategy, COM (96) 576, Brussels.
6. Κούρκιος, Εμ. (1998), Βιοενέργεια–Ανασκόπηση Τεχνολογιών και Εφαρμογών στην Ελλάδα, *Πρακτικά του 1<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου για την Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας–Εθνικές Προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή Στρατηγική*, Αθήνα, 30 Νοεμβρίου–2 Δεκεμβρίου 1998, 131-133.
7. Ζερβός, Α. (1998), Οι Ανανεώσιμες Πηγές στην Ελλάδα, *Πρακτικά του 1<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου για την Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας–Εθνικές Προτεραιότητες και Ευρωπαϊκή Στρατηγική*, Αθήνα, 30 Νοεμβρίου–2 Δεκεμβρίου 1998, 2-8.

8. Διγαλέτου, Β. (1996), Παραγωγή Ενέργειας από Αεριοποίηση Νέων Ενεργειακών Φυτών. Τεχνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές πλευρές, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.
9. Bridgwater, A.V. and Peacocke, G.V.C. (2000), Fast pyrolysis processes for biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **4**, 1-73.
10. Ruth, L. (1998), Energy from Municipal Waste: a comparison with Coal Combustion Technology, *Energy Combustion Science*, **24**, 545-564.
11. Piao, G., Aono, S., Mori, S., Deguchi, S., Fujima, Y., Kondoh, M. and Yamaguchi, M. (1998), Combustion of refuse derived fuel in a fluidized bed, *Waste Management*, **18**, 509-512.
12. Holanda, M.R. and Perella Balestieri, J.A. (1999), Cogeneration in a solid power-station, *Applied Energy*, **63**, 125-139.
13. Moon, S. (1999), Biopower—A Big Leap for Biomass Gasification, <http://www.eren.doe.gov/biopower>.
14. Morris, M. and Waldheim, L. (1998), Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology, *Waste Management*, **18**, 557-564.
15. BG Systems, (1999), <http://www.bgtechnologies.net/eng>.
16. Karaosmanoglu, F., Tetik, E. and Gollu, E. (1999), Biofuel production using slow pyrolysis of the straw and stalk of the raeased plant, *Fuel Processing Technology*, **59**, 1-12.
17. National Renewable Energy Laboratory, (1999) Capturing and Converting Landfill Gas, DOE/GO 10094-015, USA.
18. Chan, Y.S.G., Chu, L.M. and Wong, M.H. (1999), Co-disposal of municipal refuse, sewage sludge and marine dredgings for methane production, *Environmental Pollution*, **106**, 123-128.
19. Harder, M.K. and Freeman, L.A. (1996), A stud of an integrated land-fill and coppice power station, *WREC*, 989-992.

20. McMillan, J.D. (1997), Bio-ethanol production: Status and Prospects, *Renewable Energy*, **10**, 295–302.
21. McCallum, B. (1997) Small-Scale Automated Biomass Energy Heating Systems: A Viable Option For Remote Canadian Communities?, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lake Forestry Center and CEDRL.
22. Φραγκίσκος, Α.Ζ. (1999), Διαχείριση αστικών στερών αποβλήτων, *Πυρφόρος*, **2**, 8–14.
23. Voivontas, D., Assimacopoulos, D. and Koukios, E. (2000), Assessment of biomass potential for power production: A GIS based method, *Biomass and Bioenergy*, accepted for publication.
24. ΕΣΥΕ (1993), Γεωργική Στατιστική της Ελλάδας Έτους 1989, Αθήνα.
25. Διαμαντής, Ε.Ι. (1996), Biobase: Μία βάση δεδομένων για τη Διαχείριση και την Ενεργειακή Αξιοποίηση βιολογικών πόρων για την "αιεφόρο" περιφερειακή ανάπτυξη στην Ελλάδα, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα.
26. Μαρκαντωνάτος, Γ., (1990), Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων–Αστικά Λύματα, Βιομηχανικά απόβλητα, Ζωικά απορρίμματα, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Αθήνα.
27. Αποστολάκης, Μ., Κυρίτσης, Σ. και Σούτερ, Χ. (1987), Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, Αθήνα.
28. Tellus Institute, LEAP–Long Range Energy Alternatives Planning System, Stockholm Environment Institute, Boston.