

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ειδίκευση : Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Εργασία με Θέμα :

«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS»

Επιβλέποντες Καθηγητές: Φ.Μπατζιάς & Δ.Σιδηράς



ΣΠΥΡΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ
ΜΠΣ/0016

ΠΕΙΡΑΙΑΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2003

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της συμμετοχής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών με τίτλο: «Συστήματα Ενεργειακής Διαχείρισης και Προστασίας Περιβάλλοντος», που πραγματοποιείται σε συνεργασία από τα τμήματα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιώς και Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με σκοπό την απόκτηση του σχετικού διπλώματος.

Πεδίο μελέτης αποτελεί η διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης της απορριπτόμενης βιομάζας ως μία εν δυνάμει ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ειδικότερα όσον αφορά το καταναμεμημένο δυναμικό της βιομάζας που προέρχεται από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες στην ελληνική επικράτεια. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων σε περιβάλλον Access με τη χρονική και γεωγραφική κατανομή του εν λόγω δυναμικού σε βιομάζα. Ενώ, κρίθηκε επίσης αναγκαία η σύνδεση της βάσης με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) της Ελλάδας και συγκεκριμένα με τη βοήθεια του Arc View που αποτελεί ένα σύγχρονο πρόγραμμα υποστήριξης στη λήψη αποφάσεων.

Επιβλέποντες καθηγητές καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας υπήρξαν οι κ.κ. Μπατζιάς Φραγκίσκος και Σιδηράς Δημήτριος, τους οποίους ευχαριστώ θερμά. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες και συνεργάτες του Εργαστηρίου Προσομοίωσης Βιομηχανικών Διεργασιών του Πανεπιστημίου Πειραιά κ.κ. Κάκο Απόστολο και Νικολάου Νίκο για την πολύτιμη βοήθειά τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος	iv
Πίνακας Περιεχομένων	v
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1. Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	4
1.1 Ορισμός-Βασικές Αρχές.....	4
1.2 Σχηματισμός Βιομάζας και Ενεργειακοί Οδοί Μετασχηματισμού	5
1.3 Συμμετοχή της Βιομάζας στην Κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών.....	8
1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	11
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	15
2.1 Θερμοχημικά Συστήματα	15
2.1.1 Απευθείας Καύση	17
2.1.2 Αεριοποίηση	18
2.1.3 Πυρόλυση	23
2.1.4 Ρευστοποίηση	25
2.2 Βιοχημικά Συστήματα	27
2.2.1 Αναερόβια Διάσπαση	27
2.2.2 Αλκοολική Ζύμωση	35
2.2.3 Κομποστοποίηση	39
2.3 Κριτήρια Επιλογής Μεθόδου Επεξεργασίας και Τεχνολογίας.....	44
3. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	48
3.1 Πρωτογενή Στοιχεία	48
3.1.1 Πληθυσμιακή Εξέλιξη Ζωικών Ειδών	49
3.1.2 Πληθυσμιακή Κατανομή Κτηνοτροφικών Μονάδων	54
3.1.3 Πληθυσμιακή Πυκνότητα Ζωικών Ειδών	55
3.2 Δυναμικό Απορριπτόμενης Ζωικής Βιομάζας.....	62
3.2.1 Μεθοδολογία Εκτίμησης.....	62
3.2.2 Συνολικός Όγκος Κτηνοτροφικών Αποβλήτων	65
3.2.3 Ενεργειακό Περιεχόμενο της Διαθέσιμης Ζωικής Βιομάζας	70
3.3 Αξιοποίηση Ζωικής Βιομάζας.....	72
3.3.1 Εκτίμηση για την Παραγωγή Βιοαερίου.....	74
3.3.2 Καθαρισμός Βιοαερίου.....	86
3.3.3 Κλίμακα Έργου και Σχεδιασμός	95
4. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	99
4.1 Πρωτογενή Στοιχεία.....	99
4.2 Βιοδυναμικό Παραπροϊόντων Φυτικής Παραγωγής	100
4.2.1 Μεθοδολογία Εκτίμησης.....	100
4.2.2 Παραγωγή Παραπροϊόντων.....	101
4.2.3 Ενεργειακό Δυναμικό	110
4.3 Προοπτικές Αξιοποίησης Φυτικής Βιομάζας	117
4.3.1 Παραγωγή Βιοαιθανόλης.....	117
4.3.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	122
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	125
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	136
Παράρτημα Α.....	137
Παράρτημα Β.....	143

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών και κυρίως μετά τις ενεργειακές κρίσεις του 1973 και του 1979 έγινε ιδιαίτερα αντιληπτό ότι τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων δεν είναι ανεξάντλητα. Η αναζήτηση νέων μορφών ενέργειας οδήγησε σταδιακά στην ανάπτυξη τεχνολογιών εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών. Ταυτόχρονα, η αυξημένη ευαισθητοποίηση σε θέματα περιβάλλοντος ευνόησε τη χρήση τους, έστω και σε πειραματικό ή ερευνητικό επίπεδο. Συνειδητοποιήθηκε ότι η οικονομική ανάπτυξη και η ποιότητα ζωής στις σύγχρονες κοινωνίες είναι στενά συνδεδεμένες τόσο με την ενέργεια όσο και με το περιβάλλον. Έτσι, πλέον, η μεγάλη σημασία της ενεργειακής συνιστώσας, στην ισορροπία ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα, είναι δύσκολο να υποτιμηθεί.

Επίσης, φαίνεται ότι το ζητούμενο είναι τελικά, η βιομηχανία της ενέργειας να μην αντιλαμβάνεται το περιβάλλον ως ένα ενοχλητικό εμπόδιο, αλλά να συνειδητοποιήσει ότι μπορεί να αποτελέσει τον κινητήριο μοχλό μιας νέας τεχνολογικής επανάστασης. Συγχρόνως γίνεται ολοένα και περισσότερο αντιληπτό, ότι η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με τα υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα, πρέπει να είναι προσανατολισμένη στην πρόληψη και όχι στην εκ των υστέρων καταστολή της προκαλούμενης ρύπανσης με την αναζήτηση τεχνολογιών αντιρρύπανσης ή την εφαρμογή ολοένα και περισσότερων εγκαταστάσεων καθαρισμού, διαδικασία που ως επί των πλείστον είναι και πολύ δαπανηρή. Οι δύο σημαντικότερες υποσχόμενες λύσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, ιδιαίτερα στην τελική της χρήση (όπως στα κτίρια, αυτοκίνητα κλπ.), και η περαιτέρω χρήση καθαρών καυσίμων με πρώτες επιλογές το φυσικό αέριο και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η βιομάζα είναι μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που προτείνεται ως εναλλακτική λύση στην αναζήτηση νέων μορφών ενέργειας που θα αντικαταστήσουν άλλοτε σε μικρότερο και άλλοτε σε μεγαλύτερο βαθμό τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Το συγκριτικό πλεονέκτημα της βιομάζας έναντι των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έγκειται στις ομοιότητες που παρουσιάζει με τα συμβατικά καύσιμα αφού έχει κατά βάση ως κύριο συστατικό τον άνθρακα, όχι όμως σε μορφή απολιθώματος αλλά σε οργανική, γεγονός που την

κατατάσσει άλλωστε ανάμεσα στις ανανεώσιμες πηγές. Η τεχνολογία αξιοποίησης της βιομάζας δεν θέτει περιορισμούς στη συμμετοχή της στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ή με μικρές τροποποιήσεις συμπληρωματικά των ορυκτών καυσίμων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του καταναμημένου δυναμικού σε ζωική βιομάζα από κτηνοτροφικές δραστηριότητες και σε φυτική βιομάζα από αγροτικές δραστηριότητες στην ελληνική επικράτεια, καθώς και η πρόταση επιλογών αξιοποίησής του. Επίσης η συμβολή στη δημιουργία μίας βάσης δεδομένων με τη χρονολογική εξέλιξη και τη γεωγραφική κατανομή του δυναμικού σε βιομάζα και η περαιτέρω σύνδεσή της με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών της Ελλάδος υπήρξε η βάση για τον καθορισμό των στόχων. Η χρονοσειρά των ετών που λήφθηκαν υπόψη ξεκινά από το 1970 και φθάνει μέχρι το τελευταίο έτος για το οποίο η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΣΥΕ) διαθέτει τα απαραίτητα πρωτογενή στοιχεία. Επίσης το 2010 επιλέχθηκε ως το τελευταίο έτος στην πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιληπτική αναφορά στα χαρακτηριστικά της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Παρουσιάζονται στοιχεία για το σχηματισμό της βιομάζας, τη συμμετοχή της στις διάφορες ενεργειακές αγορές, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που σχετίζονται γενικότερα με την αξιοποίησή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι σημαντικότερες μέθοδοι αξιοποίησης (ενεργειακής και μη) της βιομάζας και τα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης τεχνολογίας για την επεξεργασία των διαθέσιμων ποσοτήτων. Μαζί με το πρώτο κεφάλαιο αποτελούν το θεωρητικό σκέλος της εργασίας, η συγγραφή των οποίων βασίζεται αποκλειστικά στη βιβλιογραφική έρευνα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εκτίμηση για το καταναμημένο δυναμικό σε ζωική βιομάζα που διαθέτει η Ελλάδα, σύμφωνα με την επεξεργασία των στοιχείων για την κτηνοτροφική δραστηριότητα που παρέχει η ΕΣΥΕ. Εκτιμάται επίσης το ενεργειακό δυναμικό της διαθέσιμης βιομάζας και οι ποσότητες σε βιοαέριο που δύναται να παραχθούν από την αναερόβια επεξεργασία της. Εξετάζεται, επιπλέον, η προοπτική χρήσης του βιοαερίου ως υποκατάστατο καύσιμο για τον εμπλουτισμό του υπάρχοντος δικτύου φυσικού αερίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την αντίστοιχη εκτίμηση για τη φυτική βιομάζα. Αυτή τη φορά εξετάζεται η προοπτική αξιοποίησης του εν λόγω δυναμικού για την παραγωγή βιοαιθανόλης με τη μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα βασικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε για το κατανεμημένο δυναμικό σε βιομάζα από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες στην Ελλάδα, καθώς και από την έρευνα για τις προοπτικές αξιοποίησής του.

1. Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Ορισμός-Βασικές Αρχές

Ο όρος βιομάζα προέρχεται από τις λέξεις *βίος* (που σημαίνει ζωή) και *μάζα* (που αποτελεί το “alter ego” της ενέργειας) και αναφέρεται στην ποσότητα της οργανικής ύλης που υπάρχει σε κάποια περιοχή, χώρα ή ολόκληρο τον κόσμο. Η ενέργεια της βιομάζας είναι ένα είδος έμμεσης ηλιακής ενέργειας καθώς σχετίζεται με την ικανότητα της ύλης να αποθηκεύει την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας με τη μορφή χημικών δεσμών. Αρχικά, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χημική, επιτυγχάνεται από τη χλωρίδα μέσω των φωτοσυνθετικών μηχανισμών και στη συνέχεια μεταφέρεται στους ζωικούς οργανισμούς μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Στη σύγχρονη επιστημολογία, ο όρος βιομάζα χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει τα οργανικής σύστασης στερεά ή και υγρά απόβλητα από οπουδήποτε και αν αυτά προέρχονται, όπως συνοψίζονται παρακάτω [Αθανασόπουλος, 1991]:

- α) υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής.
- β) υποπροϊόντα από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών.
- γ) αστικά λύματα και σκουπίδια.
- δ) φυσικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα (π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση), είτε από τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου (μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται και οι ενεργειακές καλλιέργειες).

Σε κάθε περίπτωση ο άνθρακας αποτελεί βασικό συστατικό της βιομάζας η αποδέσμευση του οποίου από τις ενώσεις του με τα γειτονικά μόρια υδρογόνου και οξυγόνου επιδιώκεται, με ορισμένες διεργασίες όπως είναι π.χ. η καύση, ώστε να αποδοθεί η αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς ενέργεια.

Η βιομάζα συγκαταλέγεται ανάμεσα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί προσφέρει μια ανεξάντλητη πηγή άνθρακα που θα μπορούσε να υποκαταστήσει ορισμένα προϊόντα τα οποία σήμερα παράγονται αποκλειστικά από το πετρέλαιο. Με την κατάλληλη επεξεργασία οι διαθέσιμες ποσότητες βιομάζας δύναται να προσφέρουν σημαντικά ποσά ενέργειας ή και χρήσιμα προϊόντα εμπορικού ενδιαφέροντος, των οποίων η διάθεση συνεπάγεται περιβαλλοντικά οφέλη και επιπλέον συμβάλει στην ανάπτυξη των υποβαθμισμένων περιοχών.

Βέβαια, ο χαρακτηρισμός που αποδίδεται συχνά στη βιομάζα ως “ανανεώσιμη πηγή άνθρακα” είναι στην πραγματικότητα λαθεμένη μιας και ο άνθρακας στη γη βρίσκεται σε κατάσταση συνεχούς ροής, με την έννοια ότι ακόμα και όταν καταναλώνεται δεν σταματά να καθίσταται διαθέσιμος σε κάποια μορφή. Μια σειρά από αντιστρέψιμες αλλά και μη αντιστρέψιμες χημικές αντιδράσεις συμβάλλουν στην ολοκλήρωση του κύκλου του άνθρακα καθιστώντας όλες τις μορφές που απαντάται στο γήινο σύστημα, ακόμη και αυτές των συμβατικών πηγών, ανανεώσιμες. Το ζητούμενο, όμως, είναι ο χρόνος που απαιτείται για το μετασχηματισμό του άνθρακα από την μία μορφή στην άλλη, που στην περίπτωση της αναπλήρωσης των αποθεμάτων της γης σε ορυκτά καύσιμα ισοδυναμεί με μερικά εκατομμύρια χρόνια. Αντιθέτως, ο σχηματισμός της αποκαλούμενης και ως πράσινης πηγής ενέργειας, δηλαδή της βιομάζας, λαμβάνει χώρα σε σύντομο χρονικό διάστημα τέτοιο ώστε να μπορεί να θεωρηθεί συνεχώς διαθέσιμη. Συνυπολογίζοντας και το γεγονός ότι απαντάται σε μεγάλες ποσότητες, είτε με τη φυσική της μορφή είτε με τη μορφή βιοαπορριμμάτων, καθιστά τη χρήση του όρου ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αποδεκτή.

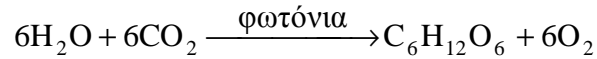
1.2 Σχηματισμός Βιομάζας και Ενεργειακοί Οδοί Μετασχηματισμού

Η βιομάζα είναι ουσιαστικά αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών της ξηράς, αλλά και των υδροβίων. Δευτερογενώς η φυτική βιομάζα μετατρέπεται σε ζωική, μέσω της διεργασίας του μεταβολισμού κατά την οποία αντιστρέφεται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, για την επιτέλεση των οποίων βασικές πρώτες ύλες είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα, που αφθονούν στη φύση. Όσον αφορά την ενέργεια, αυτή προέρχεται από το ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι θεμελιώδεις αντιδράσεις πραγματοποιούνται στους χλωροπλάστες. Οι χρωστικές ύλες “συλλαμβάνουν” τα φωτόνια και στη συνέχεια ενεργοποιούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, κατά την οποία το διοξείδιο του άνθρακα ανάγεται σε υδατάνθρακες. Το ισχυρό αναγωγικό μέσο αποτελεί η φερροδοξίνη, μια πρωτεΐνη σιδήρου-θείου η οποία προκύπτει από τη διάσπαση των μορίων του νερού, που επιτυγχάνεται με παράλληλη μεταφορά ηλεκτρονίων. Οι αντιδράσεις αυτές συνοδεύονται από έκλυση οξυγόνου, με ταυτόχρονη μείωση της περιεκτικότητας του κυττάρου σε διοξείδιο του άνθρακα. Η διαφορά συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα μέσα και έξω από το κύτταρο

εξασφαλίζει τη συνεχή απορρόφηση του αερίου αυτού από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κυττάρου.

Το συνολικό ισοζύγιο της φωτοσυνθετικής διεργασίας στα φυτά εκφράζεται από την παρακάτω αντίδραση:

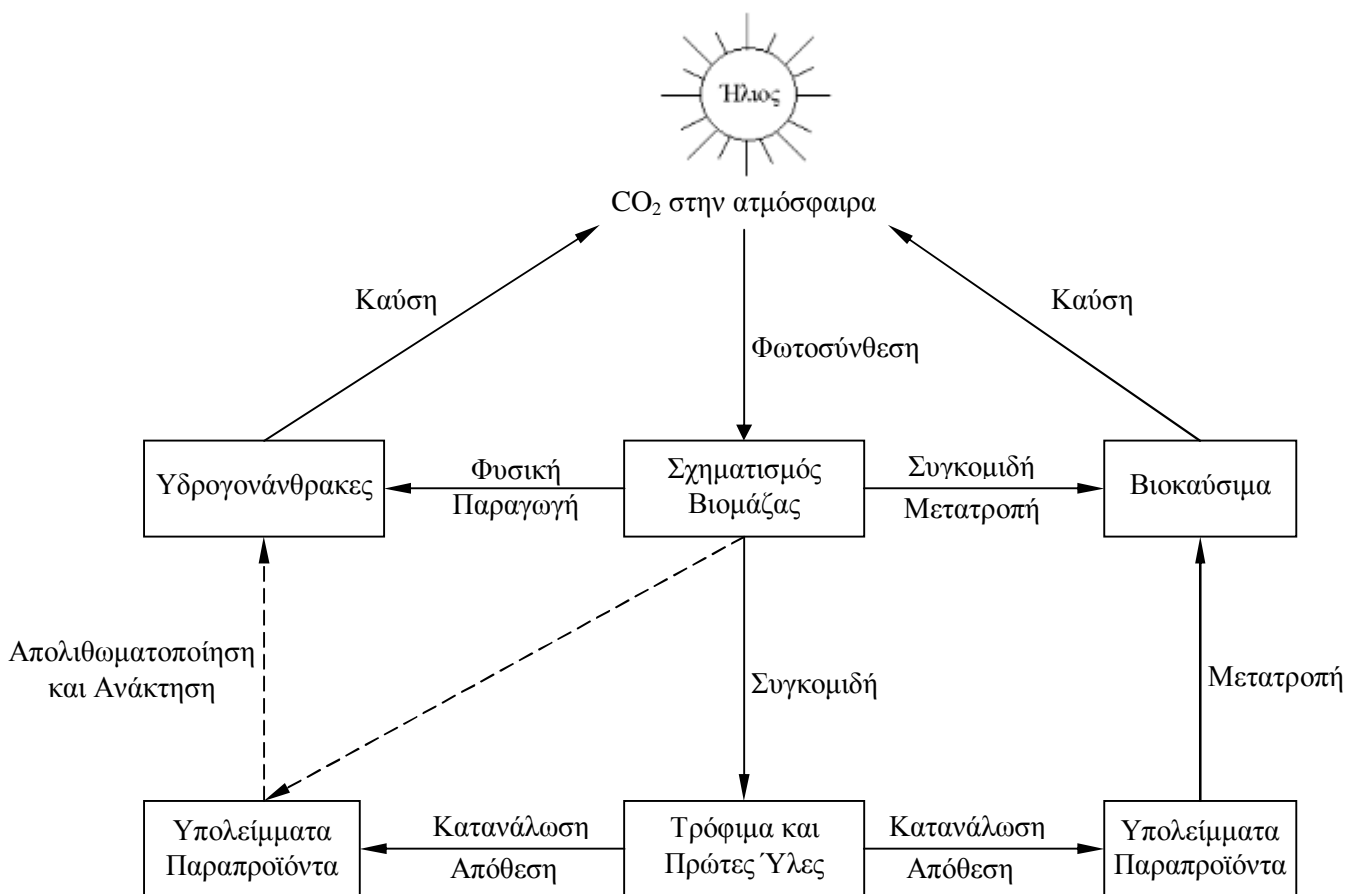


Ασφαλώς απαντώνται πολλά ενδιάμεσα στάδια από την αρχική έως την τελική κατάσταση που παρουσιάζεται μέσω της αντίδρασης αυτής. Κατά την πορεία επιτέλεσης του φωτοσυνθετικού μηχανισμού σχηματίζονται πολύπλοκα μόρια όπως πρωτίδια και λιπίδια, τα οποία μαζί με τους υδατάνθρακες παρέχουν στο φυτικό οργανισμό το απαραίτητο υλικό για το σχηματισμό και την ανάπτυξη των διαφόρων οργάνων του. Όμως, για την παραγωγή βιομάζας πρέπει να συνυπάρξουν και άλλοι παράγοντες όπως τα ανόργανα στοιχεία, τα οποία απορροφούν οι ρίζες από το έδαφος, καθώς και οι κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες για κάθε φυτικό είδος.

Παρά το γεγονός ότι η απόδοση της φωτοσυνθετικής διεργασίας μπορεί να φθάσει μέχρι και το 30% σε μεμονωμένα φυτά, στο σύνολο των φυτών η απόδοση κατά μέσο όρο δεν υπερβαίνει το 5% [ΕΛΚΕΠΑ, 1987]. Η σχετικά μικρή αυτή απόδοση οφείλεται στην ανάκλαση του φωτός από το φύλλωμα, στη μεταφορά ενέργειας στο έδαφος και στην αναπνοή του φυτού. Βέβαια, για να πραγματοποιηθούν ακόμη και αυτοί οι χαμηλοί βαθμοί απόδοσης, θα πρέπει να συντρέχουν οι κατάλληλες συνθήκες για την ανόργανη θρέψη των φυτών.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μηχανισμού χρησιμοποίησης της βιομάζας σαν πηγή ενέργειας απεικονίζονται, σε διαγραμματική μορφή, στο Σχήμα 1.1. Η αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας, με τη συμβατική έννοια, περιλαμβάνει τη συγκομιδή της για την παραγωγή τροφίμων, ινών και άλλων πρώτων υλών ή την εγκατάλειψή στις περιοχές σχηματισμού της όπου λαμβάνει χώρα η φυσική αποσύνθεση. Η βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη και τα απόβλητα διεργασιών συγκομιδής και επεξεργασίας βιομάζας (εφόσον αποτίθενται στο έδαφος), θεωρητικά μπορεί μερικώς να επανακτηθούν μετά από μια μακρά χρονική περίοδο ως ορυκτά καύσιμα. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο εν λόγω σχήμα με τις διακεκομμένες γραμμές.

Εναλλακτικά, από τη βιομάζα και τα όποια παραπροϊόντα προκύπτουν από την επεξεργασία ή την κατανάλωσή της, μπορεί να παραχθούν οργανικά καύσιμα (βιοκαύσιμα), εφόσον βέβαια εφαρμοστούν πρώτα οι κατάλληλες διεργασίες επεξεργασίας. Ένας ακόμη τρόπος παραγωγής ενεργειακών προϊόντων είναι η



Σχήμα 1.1 Κύριοι οδοί ενεργειακού μετασχηματισμού της βιομάζας
 [Πηγή: Klass, 1998].

καλλιέργεια ειδικών φυτών, όπως είναι π.χ. το καουτσουκόδεντρο (*Hevea brasiliensis*), υψηλής περιεκτικότητας σε υδρογονάνθρακες. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι γνωστή και σαν ενεργειακή καλλιέργεια. Γενικά, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1 υπάρχουν διάφοροι οδοί (φυσικοί και μη) μέσω των οποίων μπορεί να μετασχηματιστεί ο οργανικός άνθρακας και να επανέλθει με τη μορφή CO₂ στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας καθαυτό τον τρόπο ένα κύκλο που συντηρεί την αέναη ροή της ύλης.

1.3 Συμμετοχή της Βιομάζας στην Κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών

Η βιομάζα αποτελούσε ανέκαθεν μία από της σημαντικότερες ενεργειακές πηγές για τον γήινο πληθυσμό. Μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα ικανοποιούσε σε μεγάλη κλίμακα το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών του σε ενέργεια, οπότε και άρχισε η ευρεία χρήση των συμβατικών καυσίμων - παράλληλα με την ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής - στην αρχή με αργούς ρυθμούς και εντατικότερα όσο περνούσαν τα χρόνια. Κατά την περίοδο της επικράτησης των συμβατικών πηγών ενέργειας, η ενεργειακή αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας μειώθηκε σημαντικά. Όμως, μετά τις δύο πετρελαϊκές κρίσεις στη δεκαετία του '70 η αναζήτηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας σε συνδυασμό με την όξυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την βιομηχανία της ενέργειας, οδήγησε τις κυβερνήσεις πολλών χωρών να επανεξετάσουν την ενεργειακή τους πολιτική και να αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της βιομάζας.

Καθώς στις υπό ανάπτυξη περιοχές του πλανήτη η βιομάζα συνέχιζε να αποτελεί μία πολύ σημαντική πηγή ενέργειας, η αναγκαιότητα για μια ανεξάντλητη πηγή με βάση τον άνθρακα, επανέφερε ξανά στο ενεργειακό πλάνο των βιομηχανικών χωρών τη βιομάζα, οι τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης της οποίας αναμένεται να σημειώσουν σημαντική ανάπτυξη τον 21^ο αιώνα. Επί του παρόντος η βιομάζα καλύπτει το 10-14% των ενεργειακών αναγκών του παγκόσμιου πληθυσμού [McKendry, 2002]. Όμως το αντίστοιχο ποσοστό που αφορά μόνο το σύνολο των αναπτυσσόμενων χωρών της υφηλίου δεν ξεπερνά το 3%, όταν στην αφρικανική ήπειρο το μερίδιο της βιομάζας στο ενεργειακό της ισοζύγιο ανέρχεται στο 60% περίπου, στην Ινδία φθάνει το 56% και στην Λατινική Αμερική το 18% (Πίνακας 1.1).

Περιοχή	1995				2020			
	Βιομάζα	Συμβατική Ενέργεια	Σύνολο	Συμμετοχή Βιομάζας (%)	Βιομάζα	Συμβατική Ενέργεια	Σύνολο	Συμμετοχή Βιομάζας (%)
Κίνα	8.7	27.3	36.0	24	9.4	64.0	73.4	13
Ανατολική Ασία	4.5	13.3	17.8	25	5.0	34.2	39.2	13
Νότια Ασία	9.9	7.9	17.8	56	11.6	22.0	33.6	35
Λατινική Αμερική	3.1	14.4	17.5	18	3.4	29.7	33.1	10
Αφρική	8.6	5.7	14.3	60	15.6	10.9	26.4	59
Σύνολο Υπό Ανάπτυξη Χωρών	34.7	68.5	103.2	34	45.0	160.7	205.7	22
Σύνολο Χωρών Εκτός ΟΑΣΑ	35.7	112.1	147.8	24	46.1	230.8	276.9	17
Σύνολο Χωρών ΟΑΣΑ	3.4	127.9	131.3	3	4.0	162.6	166.6	2
Υφήλιος	39.1	240.0	279.1	14	50.1	393.3	443.4	11

Πίνακας 1.1 Συμμετοχή της βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας (EJ) σε διάφορες περιοχές της γης και πρόβλεψη για το 2020 [Πηγή: ΟΑΣΑ, 1998].

Σήμερα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση η ενέργεια από βιομάζα αντιστοιχεί σε ποσοστό περίπου 3% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Οι εκτιμήσεις για τη μελλοντική της ανάπτυξη προβλέπουν το αντίστοιχο ποσοστό να ανέλθει σε 8.5% κατά το έτος 2010. Η κύρια χρήση της βιομάζας εστιάζεται επί του παρόντος στην παραγωγή θερμικής ενέργειας, ενώ αρκετές χώρες (Δανία, Φινλανδία, Σουηδία, Ιταλία, Μεγάλη Βρετανία κ.α.) προσανατολίζονται ήδη προς συστήματα υψηλότερης βιομηχανικής απόδοσης μέσω της συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, αλλά και στη χρήση βιοκαυσίμων στις μεταφορές. Στη Φινλανδία, όπου η βιομάζα καλύπτει το 17% των ενεργειακών αναγκών, έχει αναπτυχθεί σημαντική τεχνολογία συστημάτων συμπαραγωγής μεγάλης κλίμακας με βιομάζα (>30 MW). Σημαντικά κονδύλια έχουν επενδυθεί, επίσης, από τις Γενικές Διευθύνσεις Ενέργειας της Ε.Ε. για την εγκατάσταση-επίδειξη πιλοτικών μονάδων συμπαραγωγής με τεχνολογίες καύσης, αεριοποίησης, αλλά και ακαριαίας (ταχείας) πυρόλυσης [ICAP, 2000].

Στην Ελλάδα η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα υπολογίζεται ότι ανέρχεται περίπου στα 38 PJ ανά έτος, με ποσοστό συμμετοχής που πλησιάζει το 3.4% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων [ICAP, 2000]. Το μεγαλύτερο μέρος της ποσότητας αυτής αφορά στην κατανάλωση καυσόξυλων στον οικιακό τομέα και την κατανάλωση υπολειμμάτων επεξεργασίας ξύλου από τη βιομηχανία. Η συμμετοχή της βιομάζας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι προς το παρόν μηδαμινή. Σήμερα, οι κύριες εφαρμογές με πηγή ενέργειας τη βιομάζα περιλαμβάνουν:

- ◆ τη θέρμανση θερμοκηπίων
- ◆ τη θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς / κεντρικούς λέβητες
- ◆ την παραγωγή θερμότητας για ξήρανση σε εκκοκκιστήρια
- ◆ την παραγωγή ενέργειας στις βιομηχανίες
- ◆ την τηλεθέρμανση

Στο βιοδυναμικό της χώρας συγκαταλέγονται σημαντικά γεωργικά και δασικά υπολείμματα για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης παρατηρείται μεγάλο εύρος πρώτων υλών της βιομάζας που σε συνδυασμό με τον αυστηρά τοπικό χαρακτήρα της παραγωγής και διάθεσής τους, δυσχεραίνει την ανάπτυξη των απαραίτητων μεθοδολογιών αποτίμησης του διαθέσιμου δυναμικού βιομάζας, τεχνικά και οικονομικά. Η ανάπτυξη σχετικών μεθοδολογιών θεωρείται ένας εξαιρετικά κρίσιμος παράγοντας για την αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού σε βιομάζα.

1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει μια σειρά από προτερήματα έναντι των συμβατικών ή των υπολοίπων ανανεώσιμων πηγών που την καθιστούν ανταγωνιστική απέναντί τους. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της βιομάζας ως πηγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- α) Πρόκειται για ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, εύκολα προσιτή σε οποιαδήποτε περιοχή του κόσμου. Η αξιοποίησή της μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, εκ των οποίων μερικές χρησιμοποιούν σχετικά απλές τεχνολογίες, που εν συνεχεία προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων.
- α) Με το σχηματισμό της επιτυγχάνεται πολύ καλή απόδοση και ποιότητα μετασχηματισμού της ηλιακής ενέργειας σε χημική μορφή. Επιπρόσθετα, η βιομάζα αποθηκεύεται εύκολα. Ενεργειακά συστήματα που αξιοποιούν για παράδειγμα την ηλιακή ενέργεια, απαιτούν ξεχωριστά και ακριβά συστήματα αποθηκείσεως.
- α) Η διαθεσιμότητά της δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, όπως αντιθέτως συμβαίνει με την αιολική, ηλιακή και υδροδυναμική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι θεωρητικά τουλάχιστον μπορεί να στηρίξει 100% ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εν αντιθέσει με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές που υπόκεινται σε περιορισμούς για λόγους σταθερότητας του συστήματος. Επιπλέον, η διαθεσιμότητά της δεν εξαρτάται από διεθνείς πολιτικές, στρατιωτικές και οικονομικές συνθήκες καθιστώντας τη χρήση της λιγότερη ‘‘ευαίσθητη’’ σε εξωγενείς παράγοντες.
- α) Παρ’ ότι η καύση της βιομάζας ή των ενεργειακών προϊόντων που προκύπτουν από την επεξεργασία της συνεπάγεται έκλυση CO₂ θεωρείται πως έχει ουδέτερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, μιας και η έκλυση αυτή αντισταθμίζεται με την απορρόφηση του CO₂ κατά τη διαδικασία της φωτοσυνθέσεως για το σχηματισμό ισόποσης βιομάζας.
- α) Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε θείο των βιοκαυσίμων είναι κατά πολύ μικρότερη από εκείνη των ορυκτών καυσίμων, κατά την καύση τους παράγονται σημαντικά μικρότερες ποσότητες SO₂. Το ίδιο ισχύει και για την εκπομπή οξειδίων του αζώτου. Αυτό συνεπάγεται λιγότερους κινδύνους για τη δημόσια υγεία, αλλά και περιβαλλοντικά οφέλη μεταξύ των οποίων η αποφυγή του φαινομένου της όξινης βροχής.

- α Τα υγρά βιοκαύσιμα έχουν υψηλούς αριθμούς οκτανίων και χαμηλές εκπομπές αερίων ρυπαντών.
- α Τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με βιομάζα επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης.
- α Η αξιοποίηση του εγχώριου βιοδυναμικού μπορεί να επιφέρει πολλαπλά οφέλη για μια χώρα, όπως είναι η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τρίτες χώρες και η εξοικονόμηση συναλλάγματος.
- α Επίσης, σε τοπικό επίπεδο τα οφέλη σχετίζονται με την εξασφάλιση εργασίας και τη συνακόλουθη συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στην περιφέρεια.

Παρά τα όποια πλεονεκτήματα, η επεξεργασία των διαθέσιμων ποσοτήτων βιομάζας για την παραγωγή ενεργειακών προϊόντων έγκειται σε ορισμένους περιορισμούς. Το κατά πόσο η βιομάζα θα αποτελέσει μια σημαντική εναλλακτική λύση ενόψει της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων εξαρτάται από το βαθμό που θα καταστεί δυνατή η αντιμετώπιση των σημαντικότερων μειονεκτημάτων που παρουσιάζει η ενεργειακή της αξιοποίηση.

Τα σημαντικότερα προβλήματα που συνδέονται με την εφαρμογή τεχνολογιών μετασχηματισμού της βιομάζας σε χρήσιμα προϊόντα είναι τα εξής:

- α Η χαμηλή, μέχρι μέτρια, θερμοαντική αξία της βιομάζας ανά μονάδα βάρους, που είναι ακόμη πιο χαμηλή εφόσον λογίζεται ανά μονάδα όγκου, συγκριτικά με εκείνη ενός συμβατικού ή πυρηνικού καυσίμου. Ενδεικτικό είναι ότι λογίζεται ως καύσιμο χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου. Για παράδειγμα, η ξηρή βιομάζα έχει λιγότερο από το μισό περιεχόμενο σε ενέργεια από ότι το πετρέλαιο.
- α Ο μεγάλος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα υγρασίας ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Ως συνέπεια, η μεταφορά της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς σε μεγάλες αποστάσεις είναι τις περισσότερες φορές ασύμφορη, γεγονός που περιορίζει τη χρήση της σε τοπικό επίπεδο.
- α Η μεγάλη διασπορά της βιομάζας και οι εποχιακές διακυμάνσεις στην παραγωγή της, καθιστούν δυσκολότερη τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία αυτής έναντι των ορυκτών καυσίμων.
- α Η ποιότητα του καυσίμου μπορεί να είναι απρόβλεπτη καθώς εξαρτάται από μη ελεγχόμενους παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό της βιομάζας (ηλιακή ακτινοβολία, θρέψη κλπ).
- α Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι περισσότερες και μεγαλύτερης σημασίας συγκριτικά με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές, κυρίως διότι κατά το στάδιο

της επεξεργασίας παρουσιάζονται σημαντικές θερμικές απώλειες προκαλώντας θερμική ρύπανση, ενώ ταυτόχρονα έχουμε την έκλυση αιωρούμενων σωματιδίων, μονοξειδίου του άνθρακα και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων.

- α Για την αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας απαιτούνται δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός. Παρά το μικρό χρόνο απόσβεσης που έχει για παράδειγμα μια μονάδα καύσεως βιομάζας, έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος επένδυσης σε αντίθεση με μια μονάδα καύσης ορυκτών καυσίμων. Η απαίτηση υψηλού αρχικού κεφαλαίου επηρεάζει πολλές φορές αρνητικά τις επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα.
- α Η έρευνα για την ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων επεξεργασίας βρίσκεται ακόμη στα πρώτα στάδια. Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας δεν θεωρούνται ακόμα ώριμες γεγονός που αυξάνει το επενδυτικό ρίσκο και την επιφυλακτικότητα των επενδυτών.

Εξαιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων, πολλές φορές το κόστος ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας παραμένει υψηλό συγκριτικά με το πετρέλαιο και την καύση των υπολοίπων ορυκτών καυσίμων (άνθρακα και φυσικό αέριο), αλλά και της πυρηνικής ενέργειας.

Παραμένει όμως αμφίβολο το κατά πόσο διατηρείται αυτό το πρόβλημα υψηλού κόστους έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας, από τη στιγμή που θα υπάρξει εσωτερικοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους/οφέλους στις αντίστοιχες εκτιμήσεις και υπολογισμούς. Στην Σουηδία η επιβολή φόρου στην εκπομπή CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων, ευνόησε τις επενδύσεις στο τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που στην περίπτωση της βιομάζας καθιστά ανταγωνιστική τη χρήση της έναντι των συμβατικών πηγών, με αποτέλεσμα το ποσοστό συμμετοχής της στο ενεργειακό ισοζύγιο να είναι σήμερα αρκετά υψηλό (16%) [Hall & Scrase, 1998].

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η βαθμιαία άνοδος της τιμής του πετρελαίου και όλων των υπό εξάντληση ορυκτών καυσίμων που αναμένεται να παρουσιαστεί εντονότερα στο βραχυπρόθεσμο μέλλον. Επίσης σημαντικοί παράγοντες που θα ευνοήσουν την άρση των περιορισμών στην ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σχετίζονται με:

- την αξιοποίηση μεγάλων ποσοτήτων διαθέσιμης βιομάζας με τρόπο που να την καθιστά βιώσιμη και χαμηλού κόστους πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας

- ▶ την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας που θα αξιοποιούν στο μέγιστο τις δυνατότητες της εκάστοτε τεχνολογίας και από τα οποία θα είναι ικανή η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε ανταγωνιστικές τιμές
- ▶ την ανάπτυξη συστημάτων (δικτύων) διανομής βιοκαυσίμων σε εθνικό επίπεδο που θα καθιστά απλούστερη τη πρόσβαση στον καταναλωτή και ευκολότερη τη χρήση
- ▶ την αύξηση των διαθέσιμων κεφαλαίων από ιδιωτικούς φορείς για χρηματοδότηση της έρευνας στην ανάπτυξη τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα από οποιαδήποτε πηγή και αν προέρχεται για να αξιοποιηθεί ενεργειακά πρέπει με κάποιο τρόπο να μετασχηματιστεί σε αέρια, στερεά ή υγρά καύσιμα, σε θερμότητα ή ηλεκτρισμό. Αναφερόμενοι στη συνέχεια στα σημαντικότερα συστήματα αξιοποίησης απορριπτόμενης βιομάζας σημειώνεται ότι από όλες τις τεχνολογίες που εξετάζονται, μόνο από την εφαρμογή της μεθόδου της κομποστοποίησης δεν προκύπτει κάποιο ενεργειακό προϊόν. Αυτό δεν σημαίνει, όμως, ότι δεν προκύπτουν διαχειριστικά και άλλα οφέλη που ενδεχομένως να την καθιστούν ανταγωνιστική απέναντι στα άλλα συστήματα. Οι μέθοδοι μετασχηματισμού της βιομάζας σε χρήσιμα προϊόντα (ενεργειακά και μη) διακρίνονται σε *θερμοχημικές* (ξηρές) και *βιοχημικές* (υγρές).

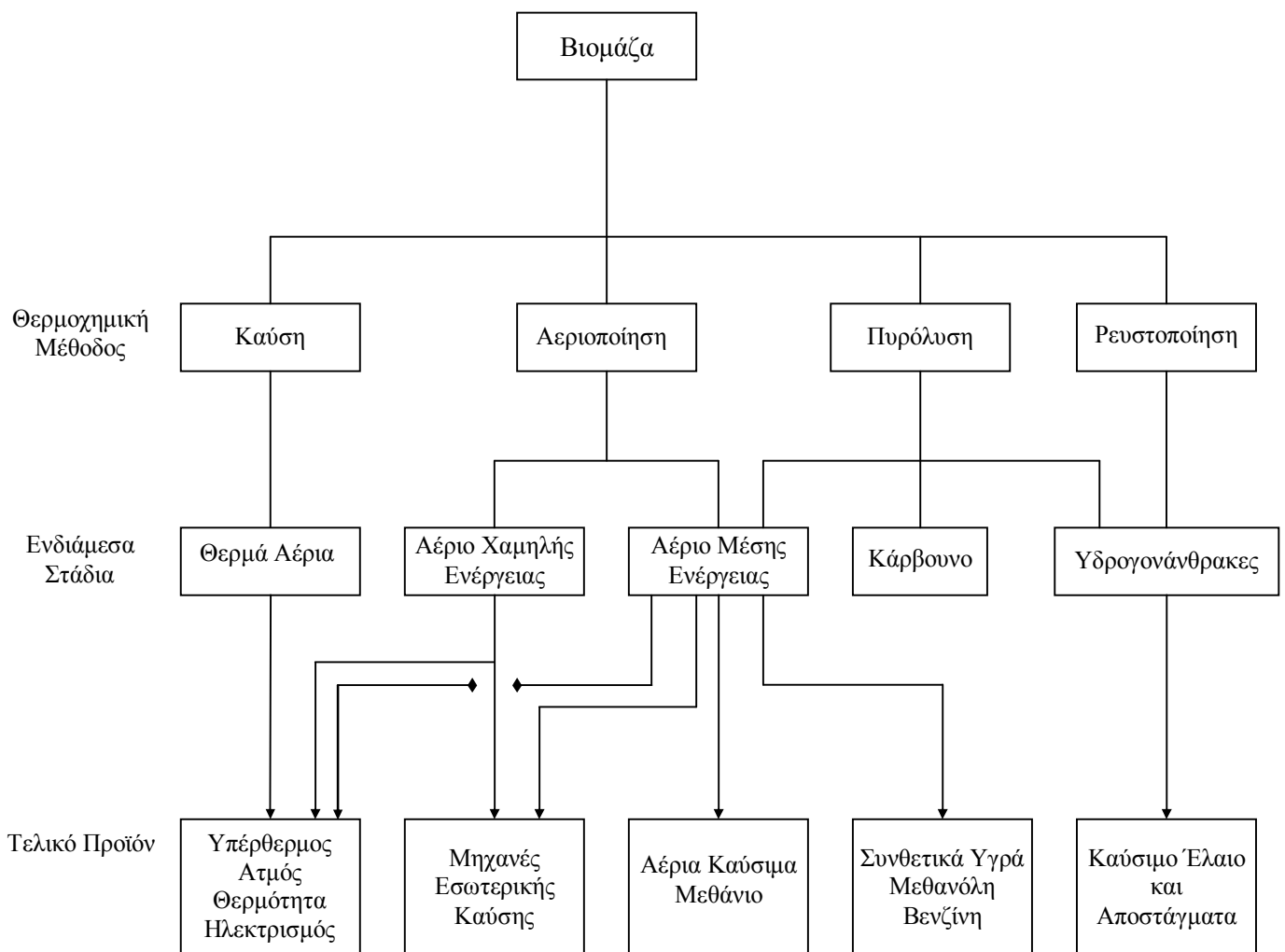
2.1 Θερμοχημικά Συστήματα

Από τη θερμική επεξεργασία οργανικών αποβλήτων δύναται να παραχθεί θερμότητα, υγρά ή αέρια καύσιμα καθώς και διάφορα άλλα ενεργειακά ή χημικά προϊόντα. Οι κυριότερες θερμοχημικές διαδικασίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας είναι οι εξής:

- Απευθείας καύση (Combustion)
- Αεριοποίηση (Gasification)
- Πυρόλυση (Pyrolysis)
- Ρευστοποίηση (Liquefaction)

Οι σημαντικότερες τεχνικές, τα ενδιάμεσα στάδια και τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν από την εφαρμογή θερμοχημικών συστημάτων ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας παρατίθενται στο Σχήμα 2.1.

Οι επικρατέστερες τεχνικές σήμερα στην Ευρώπη και στον Καναδά είναι η αεριοποίηση και η (ταχεία) πυρόλυση [Σαμολαδά & Ζαμπανιώτου, 1997]. Μια καινούργια τεχνική, η εφαρμογή της οποίας βρίσκεται ακόμη σε πιλοτικό στάδιο, είναι η υδρο-θερμική αναβάθμιση (ΥΘΑ). Με την ΥΘΑ η βιομάζα οδηγείται σε υγρό περιβάλλον και κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης μετατρέπεται σε μερικώς οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες προς παραγωγή βιοελαίου [McKendry, 2002].



Σχήμα 2.1 Κύριες διαδικασίες, ενδιάμεσα στάδια και τελικά προϊόντα θερμοχημικών συστημάτων ενεργειακής μετατροπής βιομάζας [Πηγή: McKendry, 2002].

2.1.1 Απευθείας Καύση

Η καύση είναι μια αερόβια διαδικασία από την οποία προκύπτουν ποικίλα ενεργειακά προϊόντα μετασχηματίζοντας τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην οργανική ύλη σε θερμότητα, ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια (υπέρθερμος ατμός) με τη χρήση διαφόρων ειδών εξοπλισμού όπως κλίβανους, φούρνους, ατμοστρόβιλους, στροβιλοκινητήρες κ.α. Από την καύση της βιομάζας παράγονται θερμά αέρια σε θερμοκρασίες γύρω στους 800 με 1000 °C. Η καύση προτιμάται για προϊόντα των οποίων η περιεκτικότητα σε υγρασία δεν ξεπερνά το 50%, εκτός και αν η βιομάζα έχει προ-ξηραθεί. Βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία αποτελεί καταλληλότερο υπόστρωμα για την εφαρμογή βιοχημικών διαδικασιών μετατροπής.

Το μέγεθος των μονάδων καύσης ποικίλει από πολύ μικρές (οικιακή χρήση) μέχρι μεγάλου μεγέθους βιομηχανικές μονάδες της τάξεως των 100-3000 MW. Η χρήση της βιομάζας ως συμπληρωματικό καύσιμο σε μονάδες που καίνε άνθρακα είναι μια ιδιαίτερα ελκυστική πρακτική εξαιτίας της υψηλής απόδοσης μετασχηματισμού που επιτυγχάνεται στις μονάδες αυτές. Γενικά, η καθαρή απόδοση για μονάδες καύσης βιομάζας κυμαίνεται από 20% έως 40%. Οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται στα συστήματα ισχύος άνω των 100 MWe ή όταν πρόκειται για τεχνολογίες συνδυασμένης καύσης βιομάζας με άλλα καύσιμα [McKendry, 2002].

Ο πιο συνήθης εξοπλισμός καύσης βιομάζας εν ισχύ είναι ο λέβητας διασποράς τροφοδοσίας (spreader stoker boiler) που ενσωματώνει αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και διανομή της βιομάζας πάνω από μετακινούμενη σχάρα, στον όροφο της οποίας το καύσιμο καίγεται χρησιμοποιώντας αέρα από ένα θάλαμο τοποθετημένο κάτω από τη σχάρα. Ως εναλλακτικές τεχνολογίες απευθείας καύσης αναφέρονται αυτές που περιλαμβάνουν:

- α) Καυστήρες τροφοδοσίας σωρού
(pile burners)
- β) Λέβητες όπου η καύση γίνεται με την καύσιμη ύλη σε αιώρηση
(suspension-fired boilers)
- γ) Καυστήρες κυκλοφορούμενης ρευστοποιημένης κλίνης
(circulating fluidized bed combustors – CFBC)
- δ) Καυστήρες κοχλάζουσας ρευστοποιημένης κλίνης
(bubbling fluidized bed combustors – BFBC)

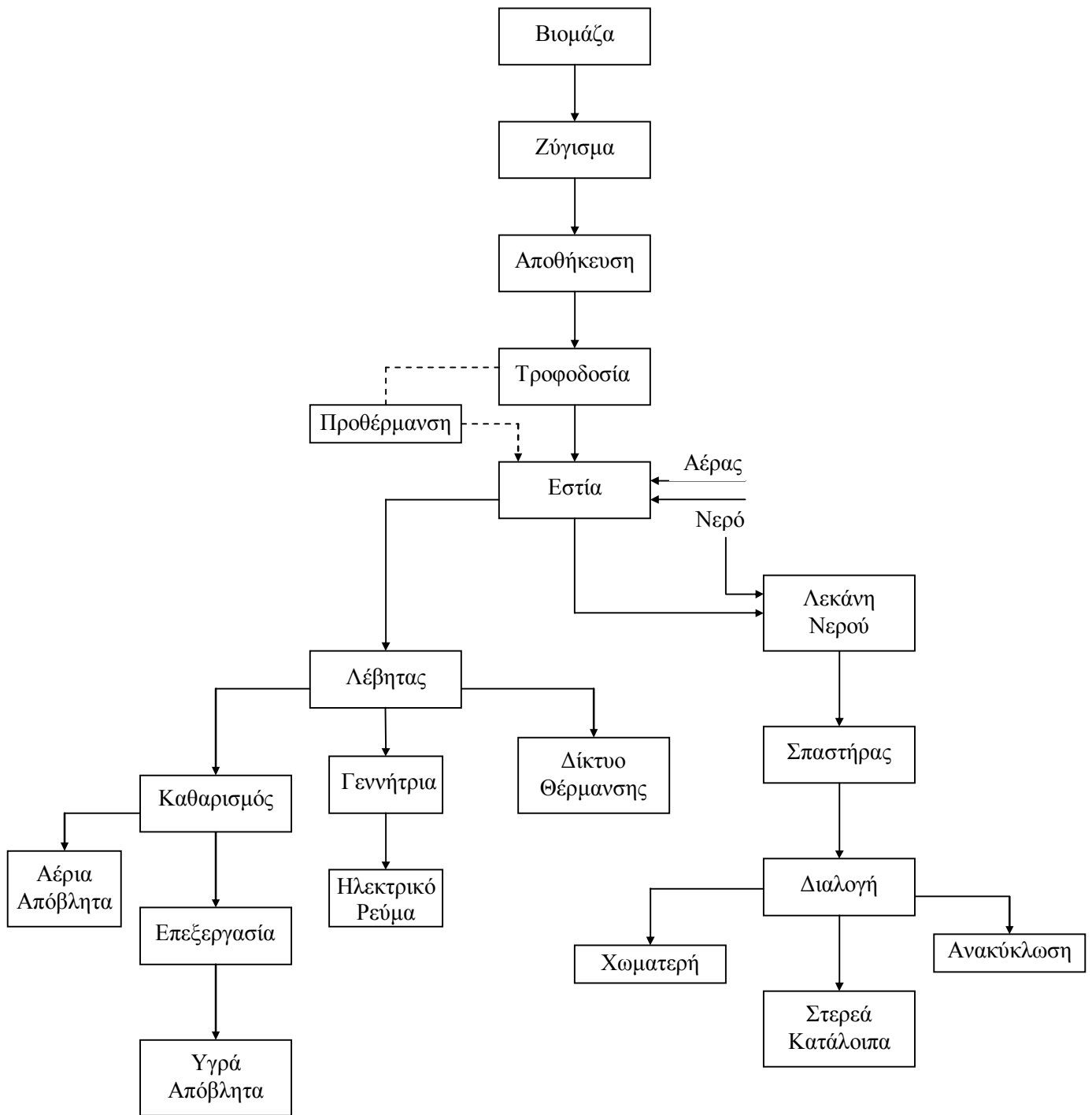
Η αποδοτικότητα τέτοιων λεβήτων κυμαίνεται από 65-75% και εξαρτάται από την ποσότητα υγρασίας στο καύσιμο [Κακλαμάνης, 1997]. Λόγω του ότι η επιθυμητή περιεκτικότητα σε υγρασία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, στην προς καύση βιομάζα εφαρμόζεται συχνά προξήρανση στο τμήμα τροφοδοσίας, με προθερμασμένο αέρα. Διαγραμματικά η όλη διαδικασία που αφορά την καύση φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

Παρόλο που η καύση συνιστά την απλούστερη αλλά και την περισσότερο τεχνολογικά ανεπτυγμένη από όλες τις διαδικασίες, η χρήση της είναι περιορισμένη εξαιτίας των προβλημάτων που παρουσιάζει. Οι κυριότερες επιφυλάξεις αναφέρονται στα επιβλαβή συστατικά που υπάρχουν στα απαέρια, καθώς και στα διαχειριστικά προβλήματα από τα στερεά κατάλοιπα που παράγονται. Πολλές φορές η θέσπιση περιβαλλοντικών προτύπων για τα χαρακτηριστικά των απαερίων από μονάδες καύσης καθιστά αναγκαία την εγκατάσταση συστημάτων καθαρισμού, επιβαρύνοντας το κόστος λειτουργίας τους. Επίσης, η βιομάζα ως στερεό καύσιμο είναι πολύ ογκώδης και είναι δύσκολο να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι, συχνά προτιμάται να γίνει μετατροπή του στερεού σε αέριο καύσιμο με άλλες θερμικές διαδικασίες. Το πλεονέκτημα των αερίων καυσίμων είναι ότι καίγονται χωρίς κατάλοιπα, διανέμονται ευκολότερα και μετατρέπονται εύκολα σε υγρά ή χημικά προϊόντα.

2.1.2 Αεριοποίηση

Αεριοποίηση είναι η διαδικασία μετατροπής της βιομάζας σε εύφλεκτο αέριο μίγμα μέσω της μερικής της οξείδωσης σε υψηλές θερμοκρασίες, της τάξεως των 800-900 °C. Η κύρια διαφορά αυτής της μεθόδου από την καύση είναι ότι η ποσότητα του παρεχόμενου αέρα στον αντιδραστήρα είναι χαμηλότερη, με αποτέλεσμα τη μερική οξείδωση της τροφοδοσίας και την παραγωγή ενός καυσίμου αερίου με χαμηλή έως μέτρια θερμογόνο ικανότητα. Το παραγόμενο αέριο αποτελείται κυρίως από άζωτο (50%), μονοξείδιο του άνθρακα (20%) και υδρογόνο (15%), ενώ περιέχει και μικρές ποσότητες μεθανίου και ανώτερων υδρογονανθράκων [Κακλαμάνης, 1997].

Εναλλακτικά του αέρα, ως μέσο αεριοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί οξυγόνο ή υδρογόνο προς παραγωγή αερίου καυσίμου μεγαλύτερης θερμογόνου δύναμης. Όμως, τόσο το οξυγόνο όσο και το υδρογόνο κοστίζουν, σε αντίθεση με τον αέρα που αποτελεί δημόσιο αγαθό και δεν απαιτείται επιπλέον δαπάνη για τη



Σχήμα 2.2 Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας καύσεως βιομάζας.

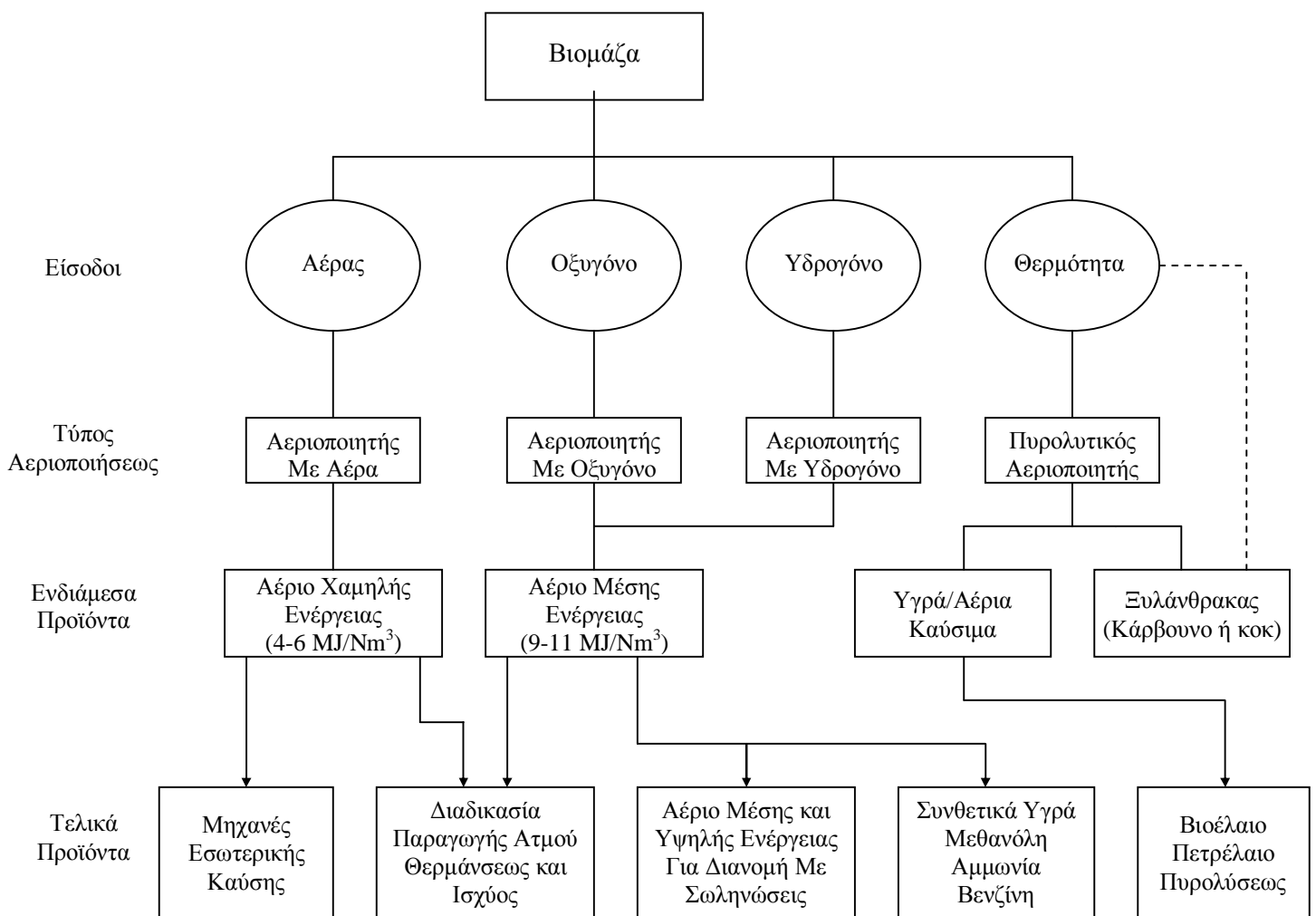
χρησιμοποιήσής του. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, τα ενεργειακά προϊόντα διαφέρουν και η επιλογή του κατάλληλου τύπου αεριοποίησης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την επιθυμητή εφαρμογή τελικής-χρήσης. Στο Σχήμα 2.3 παρατίθενται τα ποικίλα ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα που προκύπτουν από την αεριοποίηση της βιομάζας και με τους τρεις αεριοποιητές (αέρας, οξυγόνο, υδρογόνο), μαζί με τον πυρολυτικό τύπο αεριοποίησης για τον οποίο θα γίνει ειδική αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο της πυρολύσεως.

Η διαδικασία αεριοποίησης με αέρα παράγει αέριο χαμηλής ενέργειας (low energy gas, LEG), το οποίο είναι αραιωμένο με άζωτο από τον αέρα. Παρόλο που δεν είναι κατάλληλο για διανομή με σωληνώσεις μπορεί να καεί σε λέβητες που έχουν σχεδιαστεί να χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Επίσης, θεωρείται ικανοποιητικό καύσιμο για να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή σε αεριοτουρμπίνα προς παραγωγή ηλεκτρισμού. Καλύτερης ποιότητας καύσιμο παράγεται όταν η αεριοποίηση γίνεται σε ατμόσφαιρα οξυγόνου. Το προϊόν συνίσταται σε αέριο μέσης ενέργειας από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Αυτός ο τύπος αερίου είναι επίσης γνωστός ως “συνθετικό αέριο” (synthesis gas ή syngas) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για να παραχθεί μεθανόλη (μεθυλική αλκοόλη) και υδρογόνο, το καθένα από τα οποία αναμένεται ότι θα αποτελέσουν στο μέλλον εναλλακτικές λύσεις καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Σήμερα χρησιμοποιούνται δύο ειδών διατάξεις αεριοποίησης της βιομάζας, σε κάθε μία εκ των οποίων κατηγοριοποιείται ένας αριθμός ποικίλων τεχνολογιών. Πρόκειται για τις εξής:

- i) Η διάταξη αεριοποίησης σταθερής κλίνης (fixed bed), που χρησιμοποιείται ως επί των πλείστων για τη θερμοχημική μετατροπή ξυλώδης βιομάζας και γενικά για χοντρά υλικά
- ii) Η διάταξη αεριοποίησης ρευστοποιημένης κλίνης (fluidised bed), που προτιμάται για ελαφρά και λεπτά προϊόντα.

Ειδικότερα, όμως, από όλες τις διαθέσιμες τεχνολογίες αεριοποίησης της βιομάζας εκείνες των οποίων η εφαρμογή είναι σήμερα ευρύτερα αποδεκτή, αναφέρονται στις τεχνολογίες αεριοποίησης κυκλοφορούμενης ρευστοποιημένης κλίνης (circulating fluidised bed gasification - CFBG). Οι κυριότερες εκ των οποίων περιγράφονται παρακάτω:



Σχήμα 2.3 Ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα από τη χρησιμοποίηση διαφορετικών μέσων αεριοποιήσεως της βιομάζας [Πηγή: Δρής, 1996].

- α) Απευθείας αεριοποίηση σε ατμοσφαιρική πίεση, με καθαρισμό αερίου σε χαμηλή θερμοκρασία και συμπίεση του αερίου καυσίμου πριν την καύση του σε αεριοτουρμπίνα. Η θερμότητα από τη ψύξη του αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ατμού.
- β) Απευθείας αεριοποίηση υπό πίεση, με καθαρισμό αερίου σε υψηλή θερμοκρασία. Το σύστημα συμπιέζεται με το συμπιεστή της αεριοτουρμπίνας.
- γ) Έμμεση αεριοποίηση υπό ατμοσφαιρική πίεση, με καθαρισμό αερίου σε χαμηλή θερμοκρασία και συμπίεση του αερίου καυσίμου πριν την καύση του σε αεριοτουρμπίνα. Με τον τρόπο αυτό παράγεται αέριο μέσης ενεργειακής αξίας αντί χαμηλής της απευθείας αεριοποίησης.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των τεχνολογιών αεριοποίησης κυκλοφορούμενης ρευστοποιημένης κλίνης είναι η ευελιξία χρήσης διαφόρων τύπων βιοκαυσίμων διαφορετικών διαστάσεων και ιδιοτήτων και ο υψηλός βαθμός απόδοσης [Κακλαμάνης, 1997].

Μία αρκετά υποσχόμενη προοπτική, όσον αφορά την ενεργειακή αξιοποίηση της απορριπτόμενης βιομάζας, παρουσιάζεται με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που βασίζονται στην ενσωμάτωση ενός αεριοποιητή βιομάζας σε συνδυασμένο κύκλο ατμού-αερίου (integrated gasifier combined cycle - IGCC). Με την περαιτέρω ανάπτυξη των τεχνολογιών που βασίζονται σε αυτή την ιδέα, οι αεροστρόβιλοι αναμένεται να επιτύχουν μεγάλη αποδοτικότητα μετατροπής του αερίου καυσίμου σε ηλεκτρισμό με κόστος κεφαλαίου μικρότερο από τα αντίστοιχα των ανταγωνιστικών τεχνολογιών καύσης βιομάζας. Όμως, προς το παρόν, οι εν λόγω τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

Παρ' ότι η αεριοποίηση έχει προσφάτως εφαρμοστεί με επιτυχία σε μεγάλη κλίμακα και αρκετά προγράμματα αξιοποίησης των τεχνολογιών της βρίσκονται σε εξέλιξη, παραμένει μια ακριβή μέθοδος ενεργειακής μετατροπής συγκρινόμενη με τα κλασσικά συμβατικά ενεργειακά συστήματα, αντιμετωπίζοντας οικονομικές και άλλες μη τεχνικές δυσκολίες όταν γίνεται προσπάθεια να εισχωρήσει στην ενεργειακή αγορά [Maniatis, 2001]. Επίσης, η απομάκρυνση και γενικότερα η διαχείριση των μεγάλων ποσοτήτων λάσπης που προκύπτουν ως παραπροϊόν της αεριοποίησης παραμένει η κυριότερη τεχνική δυσκολία που καλείται να ξεπεραστεί στις περισσότερες από τις περιπτώσεις εφαρμογής της.

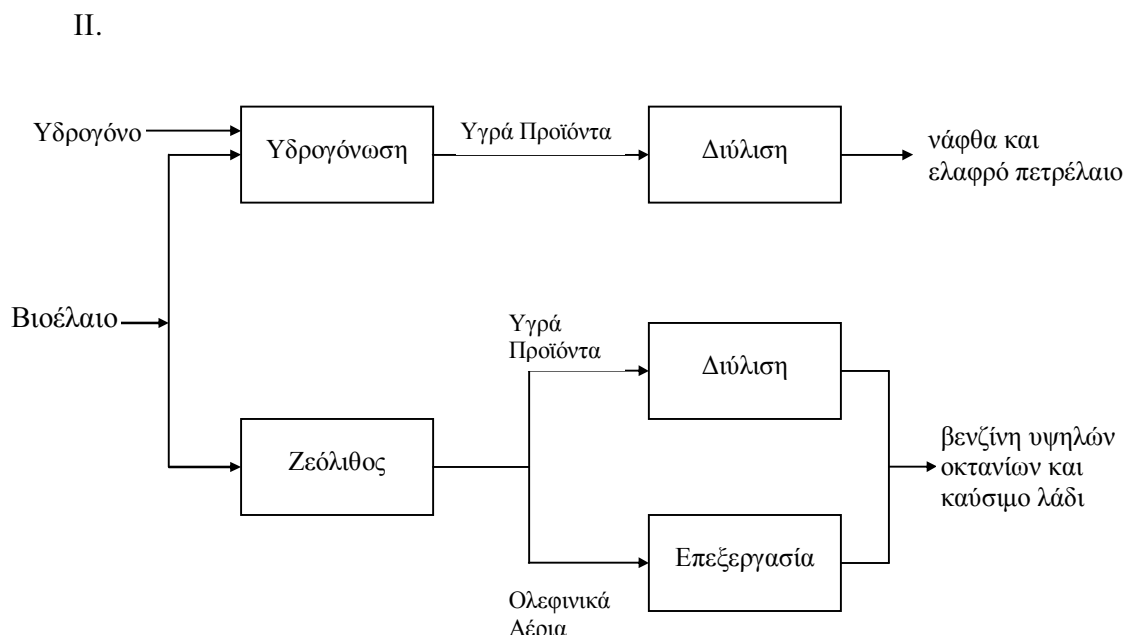
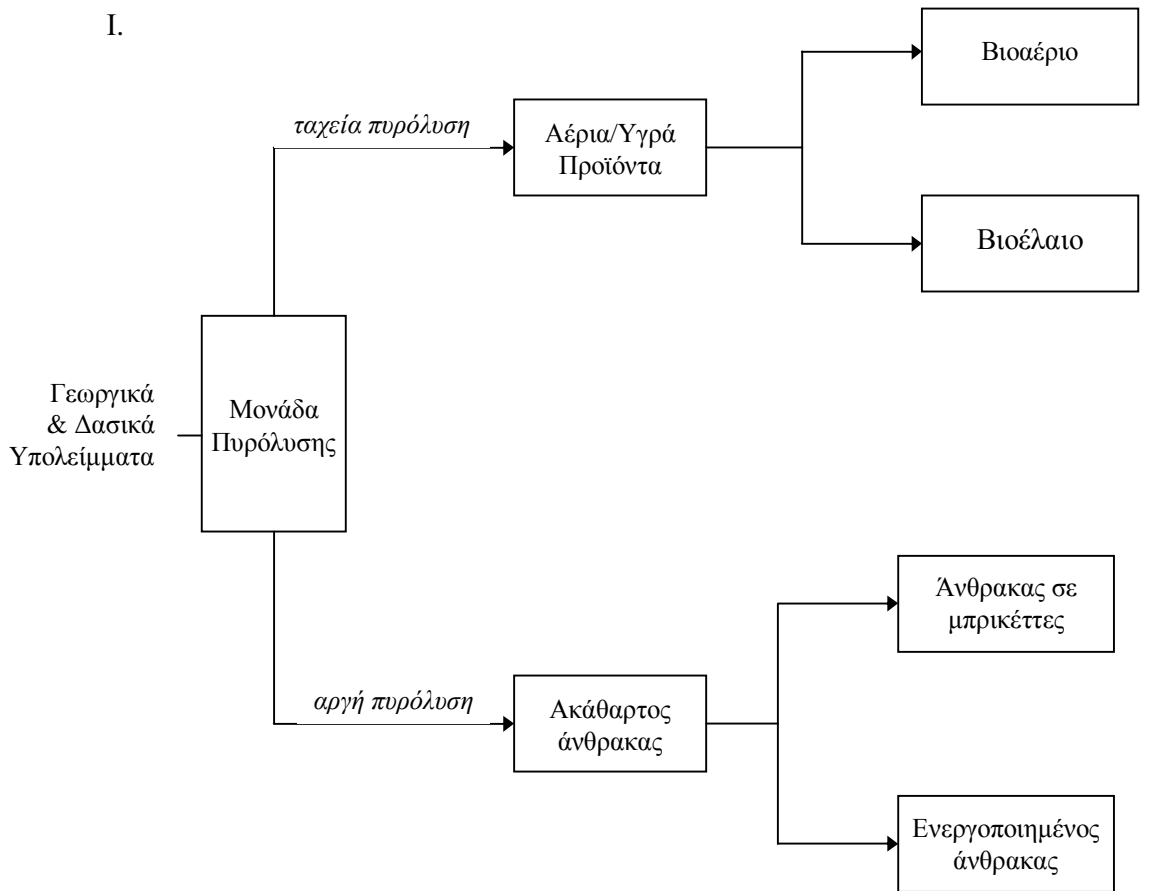
2.1.3 Πυρόλυση

Πυρόλυση είναι η διάσπαση της ύλης και κατ' επέκταση η μετατροπή της βιομάζας σε υγρά, στερεά ή αέρια κλάσματα, με θέρμανση, χωρίς την παρουσία οξυγόνου (αέρα), σε θερμοκρασία της τάξεως των 500-800°C. Ανάλογα με το επιθυμητό προϊόν, τις συνθήκες και τις τεχνολογίες παραγωγής, η πυρόλυση διακρίνεται σε ανθρακοποίηση (αργή πυρόλυση) και υγροποίηση (ταχεία πυρόλυση).

Ο όρος ανθρακοποίηση χρησιμοποιείται κυρίως όταν το παραγόμενο προϊόν είναι ο ξυλάνθρακας (κάρβουνο ή κοκ). Η όλη διαδικασία της ανθρακοποίησης συνίσταται στον εμπλουτισμό του προϊόντος σε άνθρακα με την απομάκρυνση των άλλων συστατικών του. Η απομάκρυνση των υγρών και στερεών συστατικών επιτρέπει την αύξηση της θερμογόνου δύναμης και μια καθαρότερη καύση. Ο ξυλάνθρακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας απευθείας ή να μετατραπεί με υγροποίηση ή αεριοποίηση σε υγρά και αέρια καύσιμα. Μέρος του κάρβουνου ανακυκλώνεται για να παραχθεί η θέρμανση που απαιτείται για τη συνέχιση της πυρολύσεως. Η θερμογόνος δύναμη του ξυλάνθρακα που παράγεται με τη διεργασία της ανθρακοποίησης κυμαίνεται, για περιεκτικότητα σε άνθρακα 60-80%, μεταξύ των 22 MJ/kg-33 MJ/kg [ΕΛΚΕΠΑ, 1987].

Η ταχεία πυρόλυση, προς παραγωγή υγρών ή αναβάθμιση των υγρών για παραγωγή καυσίμων και χημικών προϊόντων, αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο πυρολύσεως. Το πλεονέκτημα της ταχείας πυρόλυσης έγκειται στο ότι οδηγεί σε υγρά καύσιμα υψηλής θερμοαντικής αξίας, τα οποία εν συνεχεία με απόσταξη μπορούν να δώσουν μια ποικιλία χημικών προϊόντων (π.χ. νάφθα, βενζίνη κ.α.), αξιοποιώντας έτσι περισσότερο τη μέθοδο. Το αέριο καύσιμο που παράγεται καίγεται για την κάλυψη των αναγκών της πυρόλυσης. Ως υγρό καύσιμο παράγεται βιοέλαιο υψηλής θερμοαντικής αξίας. Το βιοέλαιο, αποκαλούμενο και ως πυρολυτικό λάδι (ή πετρέλαιο πυρολύσεως), μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες και στροβίλους ενώ μελετάται και η χρησιμοποίηση του ως πρώτη ύλη τροφοδοσίας σε δυλιστήρια. Η θερμογόνος δύναμη του βιοελαίου κυμαίνεται μεταξύ των 20 MJ/kg-30 MJ/kg [ΕΛΚΕΠΑ, 1987].

Συνοπτικά, τα προϊόντα που δύναται να παραχθούν από την επεξεργασία της βιομάζας με τη μέθοδο της πυρολύσεως παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4. Επιπλέον, στο ίδιο σχήμα, καταγράφεται η πιθανή περαιτέρω επεξεργασία και οι διαθέσιμες επιλογές αναβάθμισης του βιοελαίου.



Σχήμα 2.4 i) Παραγωγή προϊόντων πυρόλυσης

ii) Επεξεργασία και επιλογές αναβάθμισης βιοελαίου

[Πηγή: McKendry, 2002].

Η εφαρμογή της μεθόδου της πυρολύσεως για την ενεργειακή αξιοποίηση διαθέσιμης προς επεξεργασία βιομάζας προϋποθέτει την συλλογή ικανών ποσοτήτων οργανικών απορριμμάτων ώστε να είναι οικονομικά αποδεκτή. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις η συλλογή μεγάλων ποσοτήτων οργανικού υλικού για να τροφοδοτηθεί ένα εργοστάσιο επεξεργασίας σε μια περιοχή δεν είναι εφικτή. Εν δυνάμει περιοχές που μπορεί να αποτελέσουν πηγή προέλευσης μεγάλων ποσοτήτων απορριπτόμενης βιομάζας κατάλληλων για επεξεργασία με τη μέθοδο της πυρολύσεως είναι όσες βρίσκονται κοντά σε μεγάλα εργοστάσια παραγωγής οργανικών αποβλήτων, μεγάλες πόλεις, μονάδες εκτροφής ζώων και εργοστάσια κοπής ξύλου.

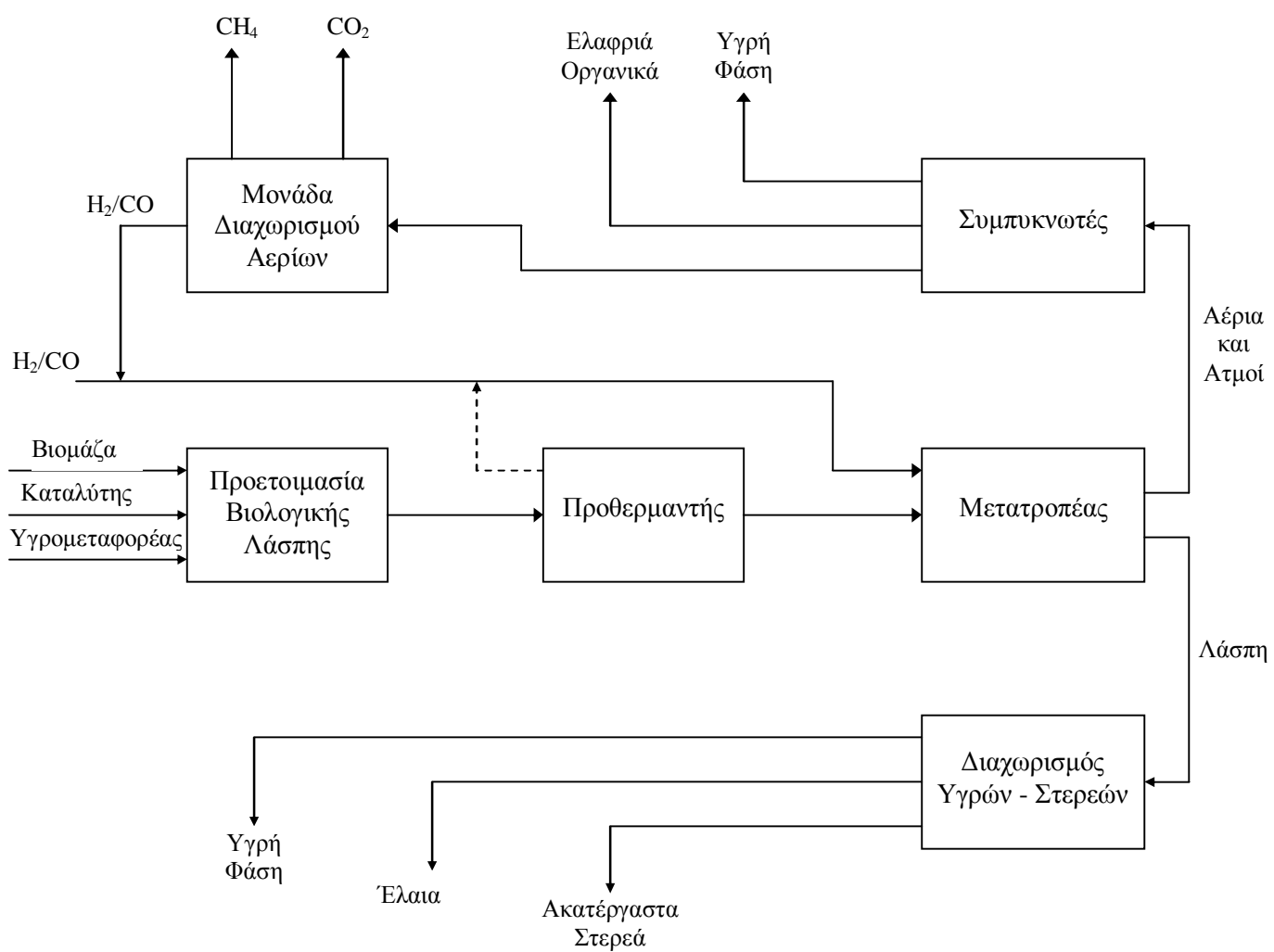
Όσον αφορά τη διαδικασία μετατροπής και τη μετέπειτα χρήση των προϊόντων πυρολύσεως, προβλήματα όπως η φτωχή θερμική απόδοση των καυσίμων και η διαβρωτική τους ικανότητα, χρειάζεται να ξεπεραστούν για να καταστεί η μέθοδος περισσότερο ανταγωνιστική.

2.1.4 Ρευστοποίηση

Με τη ρευστοποίηση μεγάλες ποσότητες στερεής οργανικής ύλης δύναται να μετατραπούν σε αέρια ή υγρά καύσιμα. Η διαδικασία της ρευστοποίησης περιλαμβάνει αντιδράσεις με υδρογόνο (ή μίγμα υδρογόνου) και μονοξειδίου του άνθρακα. Για αυτό εναλλακτικά ονομάζεται και υδρογόνωση. Κατά κύριο λόγο, αναπτύχθηκε και αρχικά εφαρμόστηκε για την παραγωγή πετρελαίου ή αερίου καυσίμου από κάρβουνο. Εν συνεχεία, όμως, η τεχνολογία εξελίχθηκε και εφαρμόστηκε επιτυχώς σε πειράματα για την παραγωγή των ίδιων καυσίμων και από οργανικά απόβλητα.

Στη ρευστοποίηση η διαθέσιμη οργανική ύλη οδηγείται στον αντιδραστήρα όπου και θερμαίνεται στους 380°C με μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και ατμό υπό πίεση. Υπολογίζεται ότι περίπου το 99% του άνθρακα που περιέχεται στην απορριπτόμενη βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιοέλαιο [Δρής, 1996]. Βέβαια, η όλη διαδικασία δεν είναι τόσο απλή. Ένα γενικευμένο διάγραμμα ροής της διαδικασίας που ακολουθείται κατά τη ρευστοποίηση της βιομάζας παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5.

Επιπρόσθετα, η χημική σύνθεση και η ποιότητα του παραγόμενου καυσίμου ποικίλει αναλόγως τη σύνθεση του υποστρώματος τροφοδοσίας και την ακολουθούμενη διαδικασία επεξεργασίας. Το καύσιμο που εξάγεται με τη



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας που ακολουθείται κατά τη ρευστοποίηση απορριπτόμενης βιομάζας (γενικευμένη μορφή) [Πηγή: McKendry, 2002].

ρευστοποίηση περιέχει περισσότερο οξυγόνο από ότι το ακατέργαστο πετρέλαιο και απαιτεί εκτεταμένη επεξεργασία, εκτός και αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μόνο για άμεση καύση.

Το ενδιαφέρον για τη ρευστοποίηση παραμένει έως και σήμερα μικρό, κυρίως επειδή οι αντιδραστήρες και τα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου είναι και πιο πολύπλοκα αλλά και ακριβότερα από εκείνα που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες επεξεργασίας βιομάζας με πυρόλυση. Έτσι, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όταν επιλέγεται να εφαρμοστεί μια θερμοχημική μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης της απορριπτόμενης βιομάζας, μεταξύ της πυρόλυσης και της ρευστοποίησης προτιμάται η πρώτη.

2.2 Βιοχημικά Συστήματα

Οι βιοχημικές διεργασίες ονομάζονται κατά αυτόν τον τρόπο επειδή είναι αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Χρησιμοποιούνται, δηλαδή, ένζυμα, μύκητες ή μικροοργανισμοί (βακτήρια), για να προκαλέσουν χημικές μεταβολές που παράγουν αέρια ή υγρά καύσιμα. Οι κυριότερες βιοχημικές μέθοδοι ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας είναι οι εξής:

- Αναερόβια διάσπαση (Anaerobic digestion)
- Αλκοολική ζύμωση (Fermentation)
- Κομποστοποίηση (Composting)

Η αναερόβια διάσπαση αναφέρεται και ως αναερόβια επεξεργασία ή μεθανική ζύμωση. Για τη λειτουργία βιοχημικών συστημάτων μεθανικής και αλκοολικής ζύμωσης απαιτούνται αναερόβιες συνθήκες ενώ η κομποστοποίηση επιτυγχάνεται κάτω από αερόβιες συνθήκες.

2.2.1 Αναερόβια Διάσπαση

Η αναερόβια διάσπαση (ή μεθανική ζύμωση) στηρίζεται στη δράση μικροοργανισμών για την παραγωγή αερίου καυσίμου πλούσιο σε μεθάνιο. Ουσιαστικά πρόκειται για την περίπτωση εκείνη όπου η αναερόβια επεξεργασία οργανικών αποβλήτων αποσκοπεί στην παραγωγή βιοαερίου, ενός αερίου μίγματος δηλαδή μεγάλης περιεκτικότητας σε μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) με μικρές ποσότητες άλλων αερίων (όπως υδρόθειο). Μια τυπική αναλογία

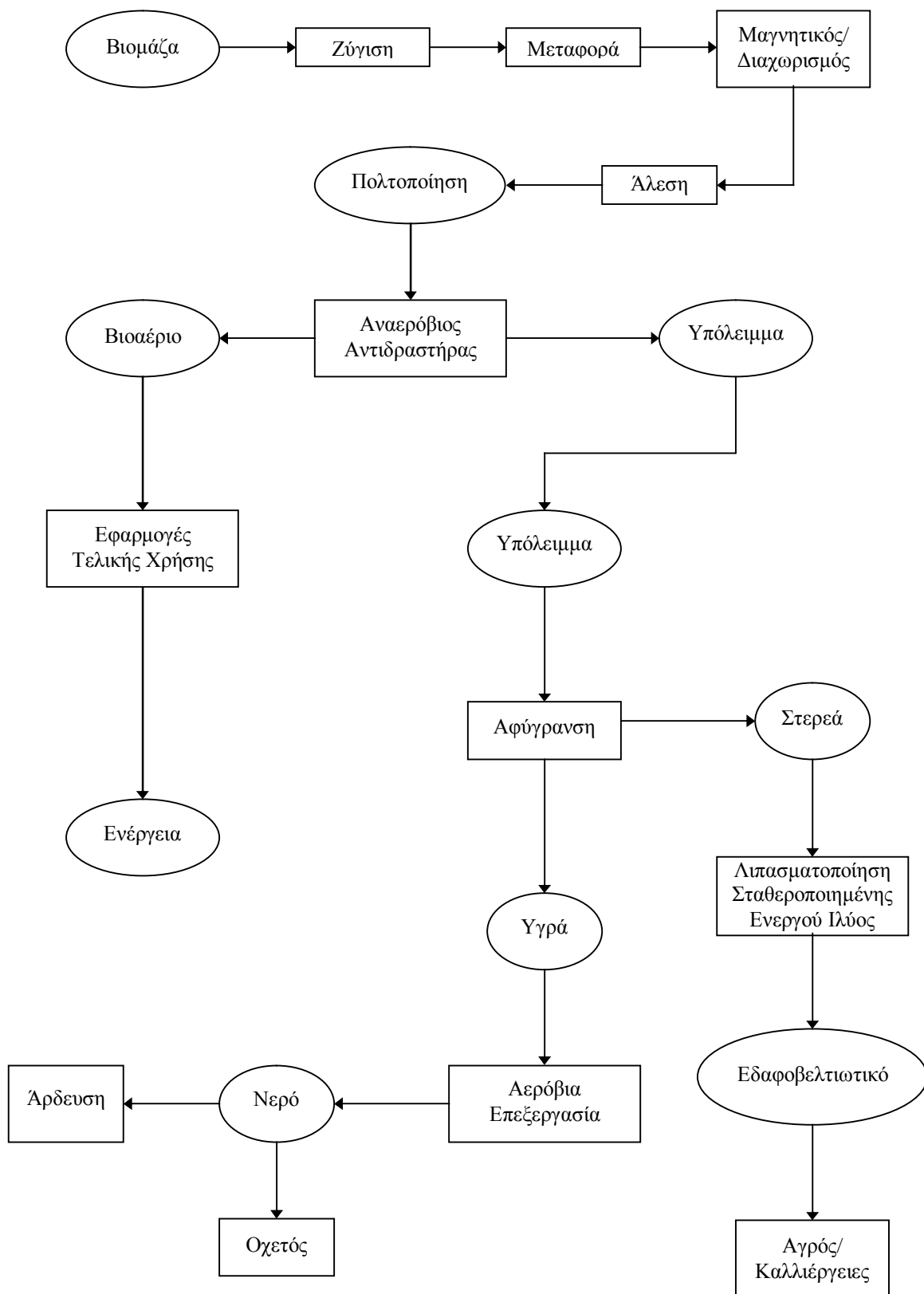
συμμετοχής των δύο κύριων συστατικών του βιοαερίου είναι 65% για το CH₄ και 35% για το CO₂. Βέβαια, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε CH₄ (και συνεπώς όσο μικρότερη σε CO₂) τόσο πιο πολύ αυξάνεται το θεωρητικό ποσό της ενέργειας που μπορεί να εκληφθεί από τη χρήση του ως καύσιμη ύλη. Αυτό το ποσό προσδιορίζεται από τη θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου, ανάλογα με την ακριβή σύσταση του οποίου μπορεί να κυμαίνεται από 17 έως 25 MJ/m³ [ISAT, 2000].

Μια τυπική απεικόνιση ενός ολοκληρωμένου συστήματος αναερόβιας επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.6. Η μονάδα παραγωγής βιοαερίου όπου λαμβάνει χώρα η αναερόβια χώνευση της οργανικής ύλης μπορεί να είναι από μια απλή εφαρμογή έως ένα σχετικά πολύπλοκο υποσύστημα. Αυτό εξαρτάται μεταξύ άλλων και από το μέγεθος της μονάδας (δηλαδή από τον όγκο των αποβλήτων που δέχεται αυτή), αλλά και από το είδος του υποστρώματος τροφοδοσίας.

Το προϊόν της αναερόβιας επεξεργασίας που πρόκειται να αξιοποιηθεί ενεργειακά είναι προφανώς το βιοαέριο. Η παραγόμενη ποσότητα του οποίου μπορεί να αποτελέσει απευθείας την καύσιμη ύλη για μια σειρά οικιακών και βιομηχανικών εφαρμογών τελικής χρήσης. Εναλλακτικά δύναται να οδηγηθεί σε ειδικά σχεδιασμένες για την καύση αερίων με υψηλή περιεκτικότητα υδρογονανθράκων κινητήρων ή γεννητριών και σε αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη σε όλες σχεδόν τις εφαρμογές τελικής χρήσεως του φυσικού αερίου αφού προηγηθεί ειδική επεξεργασία για τον καθαρισμό του από τα ανεπιθύμητα συστατικά.

Ως παραπροϊόν της αναερόβιας επεξεργασίας με ιδιαίτερο διαχειριστικό ενδιαφέρον είναι η σταθεροποιημένη λάσπη. Η αξιοποίησή της μπορεί να επιτευχθεί είτε με την απευθείας χρήση ως λίπασμα σε κήπους, είτε με το να οδηγηθεί αρχικά σε ένα σύστημα λιπασματοποίησης σταθεροποιημένης ενεργού ιλύος και εν συνεχεία να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό στον αγροτικό τομέα. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται εκτός από την αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου της βιομάζας και η ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών της.

Τα συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας βιομάζας κατηγοριοποιούνται στη βάση των ακολούθων κριτηρίων [Kranert, 1997]:



Σχήμα 2.6 Τυπικό σύστημα αναερόβιας επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων

[Πηγή: McKendry, 2002].

α) Περιεκτικότητα σε υγρασία

Η αναερόβια επεξεργασία δύναται να λάβει χώρα κάτω από ένα ευρύ πεδίο περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία, με τιμές που ξεκινούν από 60% περίπου και φθάνουν έως ακόμη και 99%. Αν το ποσοστό περιεκτικότητας σε νερό είναι μεγαλύτερο από 80%, τότε τα συστήματα ονομάζονται «υγρά» (υγρή ζύμωση). Αν το ποσοστό υγρασίας είναι μικρότερο από 80% τότε τα συστήματα καλούνται «ξηρά» (ξηρή ζύμωση). Τα ξηρά συστήματα λειτουργούν σε ένα στάδιο ενώ τα υγρά σε ένα με τρία στάδια. Η ανάμιξη στα ξηρά συστήματα γίνεται είτε με ανάδευση είτε με χρήση του βιοαερίου. Οι διεργασίες ανάμιξης είναι ευκολότερες στην περίπτωση των υγρών συστημάτων, όπως και η μεταφορά μάζας και θερμότητας. Γενικότερα, όμως, η τεχνική των υγρών συστημάτων είναι δυσκολότερη από εκείνη των ξηρών.

β) Θερμοκρασία αντιδράσεων

Επίσης, η αναερόβια επεξεργασία δύναται να λάβει χώρα κάτω από ένα ευρύ πεδίο θερμοκρασιών του υποστρώματος, που κυμαίνεται γύρω στους 4° με 70°C. Παρόλα αυτά, οι συμβατικοί αντιδραστήρες αναερόβιας επεξεργασίας είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να λειτουργούν κατά κύριο λόγο είτε στη μεσοφιλική περιοχή θερμοκρασιών (μεταξύ 20° και 45°C) είτε στη θερμοφιλική θερμοκρασιακή περιοχή (πάνω από 45°C).

Υπάρχουν συνήθως δύο λόγοι για τους οποίους προτιμούνται θερμοκρασίες στη μεσοφιλική ή τη θερμοφιλική περιοχή. Ο πρώτος σχετίζεται με το ότι ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης του οργανικού φορτίου αυξάνει ανάλογα με τη θερμοκρασία. Έτσι, σε υψηλότερες θερμοκρασίες ο χρόνος υδραυλικής κατακράτησης του οργανικού υλικού σε έναν αντιδραστήρα σταθερού όγκου γίνεται συντομότερος και άρα μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω ο ρυθμός τροφοδότησής του, αυξάνοντας ουσιαστικά κατά αυτόν τρόπο την παραγωγικότητα του βιοαντιδραστήρα. Και ο δεύτερος λόγος, έχει να κάνει με το ότι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την ικανότητα καταστροφής των ανεπιθύμητων και επιβλαβών παθογόνων μικροοργανισμών που ενδέχεται να περιέχονται στην υπό επεξεργασία οργανική ύλη, ιδιαίτερα όταν αυτή προέρχεται από απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων.

Βέβαια, πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη ότι όσο υψηλότερα καθορίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία του υποστρώματος τόσο αυξάνουν και οι ανάγκες του συστήματος σε (θερμική) ενέργεια που πρέπει να δαπανηθεί. Και αυτό διότι συνήθως η θερμοκρασία της βιομάζας δεν ξεπερνά τους 20°C. Έτσι, τίθεται ένας

περιορισμός στον καθορισμό υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας των αντιδραστήρων που εν αντιπαραθέσει με τους δύο προαναφερθέντες λόγους δικαιολογεί εν τέλει την επικράτηση θερμοκρασιών κυρίως στη μεσοφιλική περιοχή.

γ) Αριθμός σταδίων διεργασίας

Στα συστήματα μιας βαθμίδας, η όλη μικροβιολογική διεργασία πραγματοποιείται σε έναν αντιδραστήρα. Το πλεονέκτημα είναι ότι πρόκειται για ένα απλό σύστημα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται πάντα στα ξηρά συστήματα και ορισμένες φορές στα υγρά. Η επίτευξη της βελτιστοποίησης όλων των παραμέτρων που επιδρούν στην υδρόλυση και τη μεθανογένεση είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Στα συστήματα δύο και τριών βαθμίδων η υδρόλυση και η μεθανογένεση λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικούς αντιδραστήρες. Σε αυτά τα συστήματα ο διαχωρισμός υγρής και στερεάς φάσης είναι εφικτός. Επίσης μπορούν να ρυθμιστούν η θερμοκρασία και το pH αναλόγως των απαιτήσεων για τη βέλτιστη δράση των μικροοργανισμών.

δ) Είδος λειτουργίας

Οι αντιδραστήρες μπορεί να λειτουργούν είτε συνεχώς είτε ασυνεχώς. Τα ασυνεχή συστήματα είναι απλούστερα των συστημάτων συνεχούς ή ημι-συνεχούς λειτουργίας. Όμως η ρύθμιση των συστημάτων συνεχούς λειτουργίας είναι καλύτερη και ευκολότερο να επιτευχθεί κοντά στις βέλτιστες συνθήκες. Επίσης το κλάσμα όγκου προς χρόνο παραμονής είναι βελτιωμένο.

ε) Είδος ανάδευσης

Το υλικό στο βιοαντιδραστήρα τίθεται σε κίνηση με χρήση αναδευτήρα ή μίκτη. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα ανάδευσης με τη διοχέτευση βιοαερίου υπό πίεση εντός του υλικού. Στα ξηρά συστήματα χρησιμοποιείται συχνά ο διαποτισμός μέσω ανακύκλωσης του νερού διεργασίας.

Στη βιβλιογραφία απαντώνται διάφορες κατηγοριοποιήσεις όσον αφορά τους βασικούς τύπους βιοαντιδραστήρων που σχεδιάστηκαν για την αναερόβια επεξεργασία οργανικών αποβλήτων. Στα συμβατικά συστήματα μεσαίας ταχύτητας η απαιτούμενη ποσότητα βιομάζας επιτυγχάνεται συνδυάζοντας τον συνεχώς ή κατά διαστήματα αναδευόμενο αντιδραστήρα με έναν εσωτερικό ή εξωτερικό διαχωρισμό της λάσπης και επιστροφή της στον αντιδραστήρα. Από την άλλη, όλα τα σύγχρονα ταχύρυθμα συστήματα στηρίζονται στην κατά κάποιο τρόπο ακινητοποίηση της βακτηριακής λάσπης, όπως με:

- α) το σχηματισμό εύκολα καθιζήσιμων συσσωματωμάτων λάσπης σε συνδυασμό ταχέως διαχωρισμού του βιοαερίου και καθίζηση της λάσπης

- α την προσκόλληση των βακτηρίων σε σωματίδια πληρωτικού υλικού μεγάλης πυκνότητας ή στο ακίνητο πληρωτικό υλικό του αντιδραστήρα
- α τον εγκλωβισμό των συσσωματωμάτων λάσπης στο πληρωτικό υλικό του αντιδραστήρα

Στη συνέχεια παρατίθενται τα κυριότερα συστήματα που έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα ακολουθώντας κατά κάποιο τρόπο και την εξελικτική τους πορεία, από τα πρωτοεμφανιζόμενα μεσαίας ταχύτητας έως τα μεταγενέστερα ταχύρρυθμα. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται επτά τύποι αντιδραστήρων αναερόβιας επεξεργασίας από τους οποίους οι 1 και 2 συγκαταλέγονται στα πρώτα, ενώ οι υπόλοιποι πέντε στα δεύτερα [Αθανασόπουλος, 1991].

1. Ο συμβατικός αντιδραστήρας

Τα συμβατικά συστήματα απαιτούν μεγάλους όγκους και είναι οικονομικά ασύμφορη η χρήση τους για σχετικά αραιά απόβλητα.

2. Ο αντιδραστήρας επαφής (Contact)

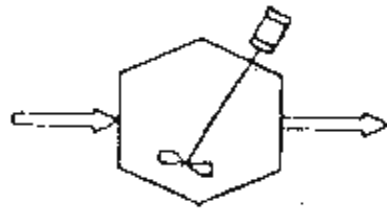
Παρά τις μεγάλες δυσκολίες που συχνά προκύπτουν για την επίτευξη του απαραίτητου διαχωρισμού και της αύξησης των ποσοτήτων λάσπης το σύστημα επαφής εφαρμόζεται και σήμερα στην πράξη, αλλά περιορίζεται σε θερμοκρασίες λειτουργίας μεγαλύτερες των 25°C.

3. Ο αντιδραστήρας αναερόβιου φίλτρου με ροή προς τα πάνω (Upflow Anaerobic Filter, UAF)

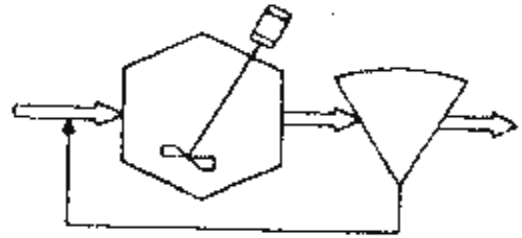
Τα απόβλητα εισέρχονται στον πυθμένα και ρέουν προς τα πάνω διαμέσου ενός πληρωτικού υλικού. Το μεγαλύτερο ποσοστό βιομάζας βρίσκεται σε αιωρούμενη μορφή. Το πληρωτικό υλικό επιτρέπει το διαχωρισμό του αερίου και την καθίζηση της αιωρούμενης βιομάζας. Το σοβαρό μειονέκτημα του συστήματος είναι ο κίνδυνος απόφραξης από συσσωρευμένα αιωρούμενα στερεά με αποτέλεσμα τη δημιουργία καναλισμών. Διάφορα πληρωτικά υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε αντιδραστήρες εργαστηριακής και βιομηχανικής κλίμακας, όπως για παράδειγμα πέτρες, πλαστικά δακτυλίδια με ακτινωτά νεύρα, τεμάχια από πτυχωτά φύλλα PVC σε διάφορες γωνίες μεταξύ τους, τεμάχια πλαστικών σωλήνων κλπ.

4. Ο αντιδραστήρας αναερόβιου φίλτρου με ροή προς τα κάτω (Downflow Anaerobic Filter, DAF)

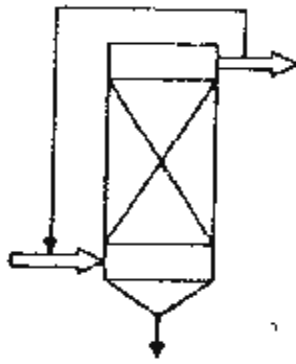
Ο σχεδιασμός του είναι παρόμοιος με αυτόν του UAF και αναπτύχθηκε για να αποφευχθούν τα προβλήματα απόφραξης του τελευταίου. Ο σημαντικός παράγοντας στο σύστημα αυτό είναι η ανάπτυξη και η σταθερότητα ενεργού



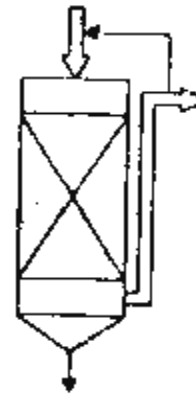
(1)



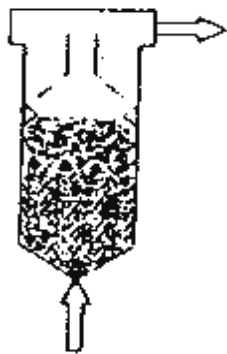
(2)



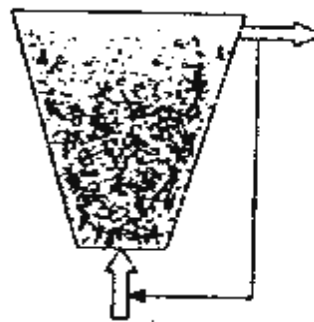
(3)



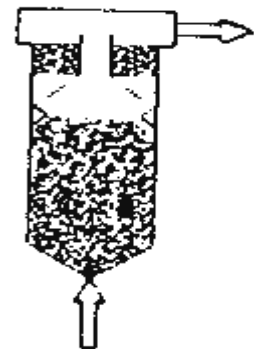
(4)



(5)



(6)



(7)

Σχήμα 2.7 Αντιδραστήρες αναερόβιας επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων.

βιολογικού στρώματος στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού. Η φόρτισή του περιορίζεται από την ποσότητα ενεργού ιλύος που μπορεί να συγκρατηθεί στον αντιδραστήρα.

5. Ο αντιδραστήρας στρώματος λάσπης με ροή προς τα πάνω (Upflow Anaerobic Sludge Bed, UASB)

Αναπτύχθηκε, επίσης, με σκοπό να λυθεί το πρόβλημα του UAF, δηλαδή η απόφραξη του πληρωτικού υλικού. Έτσι, λοιπόν, το πληρωτικό υλικό του UAF αντικαταστάθηκε από μια απλή κατασκευή συλλογής του βιοαερίου που επιτρέπει ταυτόχρονα και την καθίζηση της αιωρούμενης βιομάζας. Είναι δυνατό να λειτουργήσει με υψηλή συγκέντρωση βιομάζας, με μεγαλύτερη οργανική φόρτιση και να αποδίδει παράλληλα εξαιρετική απομάκρυνση του COD. Τα προβλήματα του UASB σχετίζονται με την ανάπτυξη της κοκκώδους λάσπης που εξαρτάται από το είδος των αποβλήτων.

6. Ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης ή διαστελλόμενης κλίνης (Anaerobic fluidized Bed, AFB)

Ο εν λόγω αντιδραστήρας φέρει τη βιομάζα προσκολλημένη στην επιφάνεια μικρών αδρανών σωματιδίων, όπως είναι η λεπτή άμμος που αποτελεί την κλίνη. Για να κρατηθούν τα σωματίδια σε αιώρηση απαιτείται ομαλή και ταχεία ροή των αποβλήτων. Το κόστος εγκατάστασης των αντλιών και του συστήματος διανομής είναι υψηλό, ενώ η καθαρή ενεργειακή απόδοση του συστήματος είναι χαμηλότερη συγκριτικά με τους υπόλοιπους αντιδραστήρες.

7. Ο αντιδραστήρας υβρίδιο UASB και UAF

Το βιοαέριο που παράγεται στον UASB διοχετεύεται στο πάνω μέρος του UAF και διαφεύγει με το εξερχόμενο υγρό. Το σύστημα αυτό λειτουργεί σαν υπερταχύρυθμος αντιδραστήρας.

Η επιλογή του κατάλληλου αντιδραστήρα σε κάθε περίπτωση αποτελεί ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα, καθώς εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες μεταξύ των οποίων οι ακόλουθοι είναι και οι πιο σημαντικοί:

- ▶ Το κόστος του αντιδραστήρα
- ▶ Η απόδοση του αντιδραστήρα
- ▶ Η προέλευση των υπό επεξεργασία αποβλήτων
- ▶ Η σύνθεση του υποστρώματος τροφοδοσίας
- ▶ Η τεχνογνωσία
- ▶ Η παραδοσιακή χρήση βιοαντιδραστήρων σε μια περιοχή ανάλογα με τις κλιματικές, οικονομικές και παραγωγικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτήν.

Οι σημαντικότεροι λόγοι στους οποίους οφείλεται η ραγδαία αύξηση του ενδιαφέροντος για την αναερόβια επεξεργασία, που παρατηρείται από τις αρχές τις δεκαετίας του '90 έως και σήμερα, είναι οι εξής:

- μείωση του επενδυτικού ρίσκου εξαιτίας της σταθεροποίησης των τιμών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο
- αυξημένη παραγωγικότητα εξαιτίας της προόδου που σημειώθηκε στη βελτιστοποίηση της σύνθεσης του μίγματος τροφοδοσίας βιοαντιδραστήρων
- αυξημένες δυνατότητες χρήσης όλων των προϊόντων της αναερόβιας επεξεργασίας (βιοαέριο, σταθεροποιημένη λάσπη) και πρόοδος στις λεπτομέρειες της αντίστοιχης τεχνολογίας

Η τεχνολογία αναερόβιας επεξεργασίας της βιομάζας είναι σήμερα αποδεκτή στην ενεργειακή αγορά και χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία οργανικών αποβλήτων. Παρόλα αυτά, στην Ελλάδα, γενικότερα το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μεθόδων ενεργειακής αξιοποίησης της απορριπτόμενης βιομάζας υπήρξε μέχρι πρότινος πολύ μικρό. Ειδικά, μάλιστα, για την αναερόβια επεξεργασία αγροτικών ή κτηνοτροφικών αποβλήτων παραμένει μηδαμινό. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι μόνο μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου από ζωικά υπολείμματα λειτουργεί σε ολόκληρη τη χώρα και αυτή σε πειραματικό επίπεδο [Chatziathanassiou, 1998].

Οι αιτίες αυτής της έλλειψης επενδυτικού ενδιαφέροντος σχετίζονται με την ελλιπή πληροφόρηση, την κυβερνητική αδράνεια, την απουσία οικονομικών κινήτρων και των κατάλληλων υποδομών. Το αυξημένο αρχικό κόστος επένδυσης, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής υπαίθρου και η απαιτούμενη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών τοπικών συντελεστών παραγωγής έρχονται σε σύγκρουση με άλλες παραμέτρους, όπως είναι το δημόσιο ενδιαφέρον για την περιβαλλοντική προστασία, η απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς κλπ.

2.2.2 Αλκοολική Ζύμωση

Η αλκοολική ζύμωση είναι μία από τις παλαιότερες βιοχημικές μεθόδους μετατροπής της βιομάζας, για την οποία το ενδιαφέρον έχει αναθερμανθεί τα τελευταία χρόνια, λόγω της όξυνσης του ενεργειακού προβλήματος. Πρόκειται για αναερόβια μέθοδο που στηρίζεται στη δράση ενζύμων σε άμυλο και σάκχαρα φρούτων, δημητριακών και άλλων μορφών βιομάζας. Τα ένζυμα που εκτελούν τη

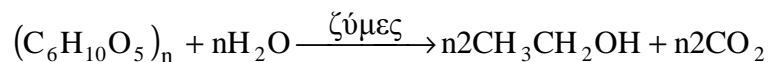
διαδικασία είναι εκκρίσεις (μαγιές) μικροοργανισμών που απαντώνται στη φύση. Ο κυριότερος από αυτούς τους οργανισμούς είναι ο ζυμομύκητας που ανήκει στο είδος *Saccharomyces cerevisiae* της τάξης των ασκομυκήτων.

Οι αλκοόλες είναι σημαντικά υγρά βιοκαύσιμα που μπορούν να αναμιχθούν με βενζίνη ή να καούν από μόνες τους. Υπάρχουν πολλές μορφές, αλλά η πιο διαδεδομένη είναι η αιθανόλη (ή αιθυλική αλκοόλη) που όταν προέρχεται από διάφορους τύπους βιομάζας, με χημικές και βιολογικές διεργασίες, καλείται και ως βιοαιθανόλη. Τρεις τύποι βιομάζας συνιστούν το κατάλληλο υπόστρωμα τροφοδοσίας για την παραγωγή βιοαιθανόλης:

- α) σακχαρούχες ύλες (μελάσσα, σταφίδα, χαρούπι, γλυκό σόργο, ξερά σύκα κ.α.)
- β) αμυλούχες ύλες (σιτάρι, κριθάρι, πατάτες, παραπροϊόντα άλεσης σιτηρών, βολβοί κ.α.)
- γ) κυτταρινούχες ύλες (άχυρο, ξυλώδη τμήματα φυτών, γεωργικά παραπροϊόντα, δασικά υπολείμματα, παραπροϊόντα αγροτικών βιομηχανιών κ.α.)

Οι σακχαρούχες ύλες θεωρούνται ελκυστικότερες για την παραγωγή αιθανόλης, καθώς περιέχουν σάκχαρα ζυμώσιμα σε αλκοόλη. Όμως, η διαθεσιμότητα των κυτταρινούχων υλικών είναι συνήθως μεγαλύτερη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, μάλιστα, παρουσιάζει η χρησιμοποίηση των κυτταρινούχων υπολειμμάτων των σιτηρών (αχυροκυτταρίνη), τα οποία μένουν κατά ένα μέρος ανεκμετάλλευτα και αποτελούν μια φθηνή πρώτη ύλη. Η παραγόμενη με αυτή τη διαδικασία αιθανόλη μπορεί να συναγωνιστεί με τις παρούσες συνθήκες το κόστος της βενζίνης, προβλέπεται δε ότι στο μέλλον εξαιτίας του πεπερασμένου των συμβατικών καυσίμων θα γίνει ακόμη πιο ανταγωνιστική απέναντί τους [ΕΛΚΕΠΑ, 1987].

Η στοιχειομετρία της όλης διαδικασίας για τη μετατροπή της καθαρής κυτταρίνης σε αλκοόλη περιγράφεται σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



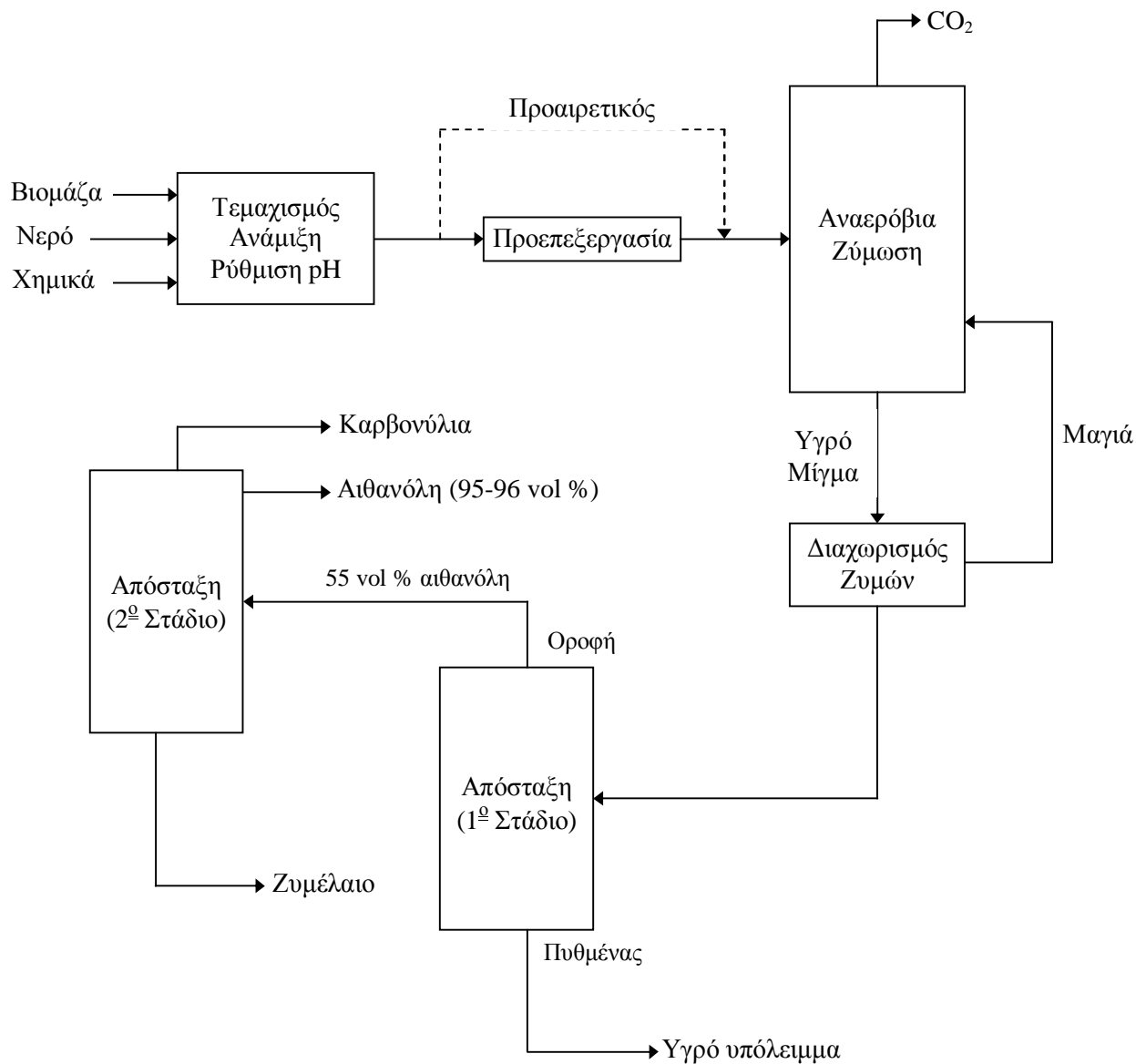
Πρόσθετα με τα βασικά προϊόντα της αλκοολικής ζύμωσης (αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα) παράγονται μικρές ποσότητες παραπροϊόντος οξικού οξέως, γλυκερόλης, γαλακτικού οξέως, ηλεκτρικού οξέως και ζυμέλαιο. Επίσης μέρος του οργανικού άνθρακα καταναλώνεται για την παραγωγή νέων ενζυμικών κυττάρων. Ενώ από την όλη διαδικασία, υπολογίζεται ότι περίπου 900 kJ θερμικής ενέργειας απελευθερώνονται ανά λίτρο παραγόμενης βιοαιθανόλης [Klass, 1998].

Η ζύμωση παράγει ένα μίγμα νερού και αλκοόλης, ο διαχωρισμός των οποίων κρίνεται απαραίτητος ώστε να εξασφαλιστεί η ποιότητα του καυσίμου.

Επειδή το σημείο βρασμού για το νερό είναι στους 100°C ενώ για την αλκοόλη είναι κοντά στους 78 °C, ο διαχωρισμός τους μπορεί να επιτευχθεί με απόσταξη. Τα βασικά στάδια για τη μετατροπή της βιομάζας σε αιθανόλη παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.8. Τα απόβλητα της ζύμωσης και της απόσταξης παρουσιάζουν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο, ενώ και η επεξεργασία τους είναι εξαιρετικά δύσκολη. Παρόλα αυτά έχουν αναπτυχθεί κάποιες πρακτικές αντιμετώπισης, όπως η συλλογή των αποβλήτων σε δεξαμενές και την εξάτμιση του νερού ή η διασπορά τους υπό μορφή σπρέι σε καλλιέργειες. Επίσης για την δέσμευση του CO₂ απαιτείται ειδική προεπεξεργασία που αυξάνει όμως το κόστος παραγωγής. Πάντως το ζήτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πρέπει να εξετάζεται σφαιρικά, καθώς για παράδειγμα η χρήση της αιθανόλης ως καύσιμη ύλη σε οχήματα μειώνει τις αέριες εκπομπές υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου.

Κατά τη ζύμωση των σακχάρων η τιμή του pH πρέπει να είναι από 4 έως 5, ενώ η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 30-32°C. Η αλκοολική ζύμωση μπορεί να είναι διαλείπωντος έργου, ημισυνεχής ή συνεχής. Ο αριθμός των οκτανίων της καθαρής αιθανόλης όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα οχήματα είναι 106 σε σύγκριση με 90-92 της απλής βενζίνης και 97-99 της super. Η ανάμιξη της αιθανόλης με βενζίνη σε ποσοστό μέχρι και 20 με 25% δεν απαιτεί αλλαγές στον κινητήρα του αυτοκινήτου. Εφόσον αναμιχθεί αιθανόλη σε μεγαλύτερο ποσοστό ή χρησιμοποιηθεί σε καθαρή μορφή, τότε απαιτούνται ειδικά σχεδιασμένες μηχανές καύσης ή τροποποίηση στον κινητήρα. Σήμερα παράγονται και διατίθενται στην αγορά τα επονομαζόμενα ως FFV (flexible fuel-vehicles) αυτοκίνητα ευέλικτου καυσίμου, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιήσουν μίγμα βενζίνης και αλκοόλης σε οποιαδήποτε αναλογία. Επιπρόσθετα ανάμιξη αλκοόλης με ντίζελ σε ποσοστό έως και 15% είναι αποδεκτή. Ενώ, η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται επίσης με επιτυχία σε κινητήρες ντίζελ, με την προσθήκη ειδικού πρόσθετου, που εξασφαλίζει την αυτανάφλεξή της.

Η προσπάθεια για τη βιοχημική παραγωγή αιθανόλης με σκοπό τη χρησιμοποίησή της ως υγρό καύσιμο, με σχετικά σημαντικό κόστος από σχετικά φθηνή πρώτη ύλη (όπως είναι τα κυτταρινούχα παραπροϊόντα γεωργικής χρήσης) παρουσιάζει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον με την πάροδο των ετών. Σε πολλές χώρες σήμερα χρησιμοποιούν τη βιοαιθανόλη σαν καύσιμη ύλη αυτοκινήτων, αμιγή ή σε πρόσμιξη. Οι πιο σημαντικές επενδύσεις στον τομέα αυτό έχουν γίνει στη Βραζιλία, στις Η.Π.Α., τον Καναδά και τη Γαλλία, ενώ και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες (όπως σε Γερμανία, Αυστρία, Σουηδία, Ισπανία) εργάζονται πάνω σε



Σχήμα 2.7 Βιοχημική παραγωγή αιθανόλης με αλκοολική ζύμωση οργανικής ύλης [Πηγή: Klass, 1998].

μικρότερης κλίμακας εφαρμογές [ICAP, 2000]. Στην Ελλάδα η παραγωγή βιοκαυσίμων από αλκοολική ζύμωση οργανικής ύλης έχει δοκιμαστεί μόνο πειραματικά, στα πλαίσια προγραμμάτων χρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η βιοαιθανόλη είναι καύσιμο υψηλής ενεργειακής περιεκτικότητας (αποδίδει το 75% του έργου των πετρελαιοειδών), καθαρότερο περιβαλλοντικά, μπορεί να παραχθεί ακόμα και σε τοπικό επίπεδο, με εγχώρια πρώτη ύλη και σχετικά χαμηλό κόστος. Παρόλα αυτά η ευρύτερη χρήση της τεχνολογίας εξαρτάται πρωτίστως από το κατά πόσο θα καταστεί δυνατή η αντιμετώπιση των κυριότερων μειονεκτημάτων που παρουσιάζει, όπως είναι:

- το υψηλό κόστος συλλογής και μεταφοράς της πρώτης ύλης (βιομάζα)
- το υψηλό κόστος παραγωγής
- η ωρίμανση της μεθόδου
- η κοινωνική και οικονομική αποδοχή

2.2.3 Κομποστοποίηση

Με τον όρο κομποστοποίηση νοείται η ελεγχόμενη αερόβια διαδικασία βιολογικής αποδόμησης οργανικών ουσιών και η μετατροπή τους σε σταθερές οργανικές χουμικές ενώσεις. Η υπό επεξεργασία βιομάζα μπορεί να προέρχεται από φυτικά υπολείμματα, κτηνοτροφικά απόβλητα, υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας φυτικών και ζωικών προϊόντων (π.χ. κονσερβοποιίες, σφαγεία). Η κομποστοποίηση θεωρείται ένα τεχνολογικά ώριμο σύστημα επεξεργασίας απορριπτόμενης βιομάζας και δύναται να εφαρμοστεί είτε σε μικρή κλίμακα (οικογενειακή αγροτική εκμετάλλευση) είτε σε μεγάλη κλίμακα (βιομηχανική παραγωγή). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Ιταλία σήμερα λειτουργούν 40 περίπου μονάδες, με συνολική παραγωγή της τάξεως των 200 χιλιάδων τόνων κομπόστας ετησίως [Νικολαΐδης, 1997].

Οι μεγάλες μονάδες κομποστοποίησης, η μελέτη των οποίων παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βασικά στάδια:

- καταγραφή και ζύγιση
- αποθήκευση
- προεπεξεργασία
- διεργασία κομποστοποίησης

- μετα-επεξεργασία (καθαρισμός)
- ωρίμανση και αποθήκευση

Αναλυτικότερα, η όλη διαδικασία που ακολουθείται σε μια μεγάλη μονάδα κομποστοποίησης φαίνεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 2.9.

Αρχικά σχηματίζεται προσεκτικά το κατάλληλο μίγμα των υπό επεξεργασία υλικών. Κατά την προεπεξεργασία, τύμπανο κοσκινίσματος χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των μεγαλύτερου μεγέθους υλικών. Ο μαγνητικός διαχωρισμός κρίνεται αναγκαίος για τη μείωση των βαρέων μετάλλων στο τελικό προϊόν. Τα μεγαλύτερα μεγέθους υλικά μπορεί να διαχωριστούν χειρωνακτικά, ενώ τα μεγάλα οργανικά μέρη (όπως π.χ. υπολείμματα δέντρων) τεμαχίζονται σε ειδικό μύλο (hammer-mill ή screw-mill).

Το προεπεξεργασμένο υλικό στη συνέχεια οδηγείται στη διεργασία κομποστοποίησης. Κάτω από αερόβιες συνθήκες το οργανικό μίγμα σε διάστημα λίγων ημερών αρχίζει να θερμαίνεται. Η θερμότητα που εκλύεται είναι προϊόν βακτηριακής δράσης. Η θερμοκρασία του μίγματος, αν δεν ελεγχθεί, μπορεί να φθάσει στη θερμοφιλή περιοχή (80°C περίπου). Όμως η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης βρίσκεται στη μεσοφιλική περιοχή θερμοκρασιών (45-55 °C). Το επιθυμητό επίπεδο της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με την ανάδευση του υλικού, η οποία στην αρχή γίνεται συχνά και αραιότερα με την πάροδο του χρόνου. Η βασική διαδικασία διαρκεί ένα περίπου μήνα, οπότε και η θερμοκρασία του σωρού μειώνεται σημαντικά.

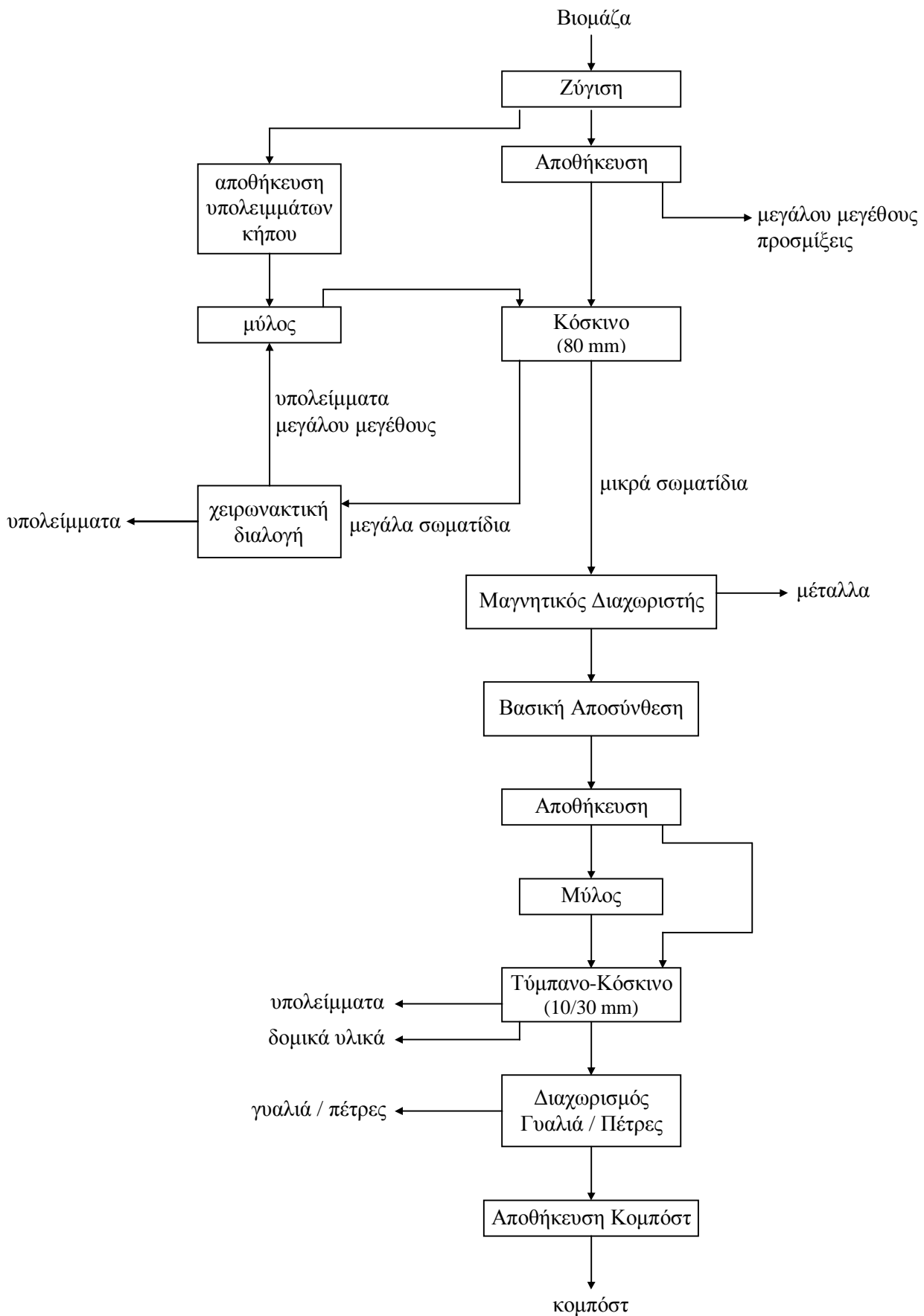
Όσον αφορά στην καθεαυτό διεργασία της κομποστοποίησης διακρίνονται τρία βασικά συστήματα [Kranert, 1997]:

1. Στατικά συστήματα

Στα συστήματα αυτά η διεργασία της κομποστοποίησης λαμβάνει χώρα ενώ το υπό επεξεργασία υλικό βρίσκεται σε πλήρη ακινησία. Συνήθως συνδυάζονται και με δεύτερο σύστημα ωρίμανσης, μιας και η βασική αποσύνθεση γίνεται σε κλειστό χώρο η οποία διαρκεί μία με τρεις εβδομάδες και συνεπάγεται έντονες εκπομπές οσμών. Τα στατικά συστήματα κομποστοποίησης που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο είναι κιβώτια ή μεγάλα δοχεία (containers) και πρέσες (Bricollare συστήματα). Στατικά συστήματα στοιβάδων δεν χρησιμοποιούνται συχνά, για λόγους υγιεινής.

2. Ημι-δυναμικά συστήματα

Στα ημιδυναμικά συστήματα η κομποστοποίηση επιτυγχάνεται ενώ το οργανικό μέρος των απορριμμάτων βρίσκεται σε κίνηση ή περιστροφή. Τα συστήματα



Σχήμα 2.8 Διάγραμμα ροής μεγάλης μονάδας κομποστοποίησης [Πηγή: Kranert, 1997].

αυτά είναι συνήθως εγκλεισμένα σε κτίριο ή αντιδραστήρα ώστε να αποφεύγονται εκπομπές οσμών και διαρροές στραγγισμάτων. Επιπλέον είναι δυνατό να αντισταθμιστεί η απώλεια της αποσύνθεσης, να ρυθμιστεί η υγρασία της κομπόστας και να επιτευχθεί η ομογενοποίηση. Ο απαιτούμενος όγκος αέρα για τον καθαρισμό εξαρτάται από τον εσωτερικό όγκο των κτιρίων. Η διάρκεια της κομποστοποίησης κυμαίνεται μεταξύ 6 και 12 εβδομάδων.

Στα ημιδυναμικά συστήματα κομποστοποίησης συγκαταλέγονται:

- τα αεριζόμενα συστήματα ταινιών με κινητά συστήματα ανάδευσης
- οι (αεριζόμενες) εκτεταμένες στοιβάδες με σταθερά συστήματα ανάδευσης
- αγωγοί και κανάλια
- κιβώτια και θάλαμοι
- οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες (πύργοι κομποστοποίησης)

3. Δυναμικά συστήματα

Στα δυναμικά συστήματα κομποστοποίησης το υπό επεξεργασία υλικό αναδεύεται συνεχώς μέσα σε τύπανα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει επιπρόσθετα αερισμός. Η διάρκεια κομποστοποίησης κυμαίνεται μεταξύ μίας και επτά ημερών. Τα συστήματα αυτά οδηγούν στην προκαταρκτική αποσύνθεση. Δεν επιτυγχάνεται πλήρης ωρίμανση και για το λόγο αυτό τα δυναμικά συστήματα συνδυάζονται με αεριζόμενα συστήματα ταινιών.

Γενικά, η απαιτούμενη επιφάνεια για την κομποστοποίηση εξαρτάται από τη δυναμικότητα της μονάδος επεξεργασίας και το σύστημα που χρησιμοποιείται. Μονάδες μικρής δυναμικότητας και συστημάτων αεριζόμενων ταινιών ή μικρών στοιβάδων παρουσιάζουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε επιφάνεια σε σύγκριση με μονάδες μεγάλης δυναμικότητας και συμπαγούς συστήματος όπως είναι για παράδειγμα εκείνες των αντιδραστήρων. Επίσης τα ειδικά κόστη εξαρτώνται άμεσα από τη δυναμικότητα και τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την επεξεργασία και την αποφυγή εκπομπών. Κλειστά συστήματα με μικρή έκλυση οσμών και συστήματα καθαρισμού του αέρα σε βιολογικά φίλτρα κοστίζουν περισσότερο από ανοιχτά αεριζόμενα συστήματα ταινιών.

Οι απώλειες λόγω κομποστοποίησης ανέρχονται περίπου στο 60% του εισερχόμενου υλικού και τα υπολείμματα φθάνουν το 5%, με αποτέλεσμα μόνο το 35% να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κομπόστ. Οι ενεργειακές απαιτήσεις των μονάδων εξαρτώνται από τον τύπο των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την προεπεξεργασία και την μετα-επεξεργασία, τον αερισμό και τη διαχείριση του αέρα.

Υπολογίζεται δε ότι κυμαίνονται μεταξύ των 20 και 100 κιλοβατών ανά τόνο πρώτης ύλης [Kranert,1997].

Για τον τελικό καθαρισμό του, το προϊόν (κομπόστα) διέρχεται από κόσκινο μερικών χιλιοστών. Αδρανή, όπως γυαλιά και πέτρες, συλλέγονται σε διαχωριστή. Το υλικό αφήνεται για 2-3 μήνες να “ωριμάσει” και κατόπιν είναι έτοιμο προς χρήση ως εδαφοβελτιωτικό. Η σημασία του για τη συμβατική γεωργία είναι περιορισμένη, είναι όμως υλικό απαραίτητο στη βιολογική γεωργία. Τα οφέλη από τη χρήση του είναι πολλαπλά:

- α) Εμπλουτισμός του εδάφους με χούμο. Ο αέρας διαπερνά το χώμα και φτάνει μέχρι το ριζικό σύστημα των περισσότερων φυτών. Βελτιώνεται η δομή του εδάφους με αποτέλεσμα να προστατεύεται από τη διάβρωση.
- β) Αύξηση της ικανότητας του εδάφους στην κατακράτηση νερού. Αυτό σημαίνει εξοικονόμηση νερού άρδευσης, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για ξηροθερμικές χώρες όπως είναι και η Ελλάδα.
- γ) Ανάπτυξη πλούσιας βιοκοινότητας από μικροοργανισμούς. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής των ευρισκόμενων στο έδαφος μικροοργανισμών είναι αζωτοδεσμευτικοί. Έτσι, ενώ το κομπόστ περιέχει ελάχιστο άζωτο (από 0.5% έως 1.5%), το έδαφος στο οποίο έχει εφαρμοστεί μπορεί να δεσμεύσει άζωτο απ’ ευθείας από την ατμόσφαιρα και εν συνεχεία να τεθεί σε διαθεσιμότητα για τα φυτά υπό μορφή πρωτεΐνης.
- δ) Ενίσχυση του φυσικού βακτηριδιακού ανταγωνισμού και καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Έρευνες για παθογόνους παράγοντες (παράτυφος, τέτανος, άνθρακας κ.α.) έδειξαν ότι αυτοί δεν επιζούν από τη διαδικασία της κομποστοποίησης.
- ε) Παραγωγή ιχνοστοιχείων που απορροφώνται εύκολα από τα φυτά. Ιχνοστοιχεία όπως ψευδάργυρος, χαλκός, μαγνήσιο, μαγγάνιο κ.α. διατίθενται σε εύληπτη μορφή για τους φυτικούς οργανισμούς.

Γίνεται φανερό, λοιπόν, ότι όταν το προϊόν της κομποστοποίησης εφαρμοστεί στο έδαφος επιφέρει σημαντικές αλλαγές βιολογικού και φυσικο-χημικού χαρακτήρα που στην ουσία δίνει ζωή στα ‘νεκρά’ χώματα και συντελεί τα μέγιστα στην αειφορία του εδάφους.

Παρ’ ότι με την κομποστοποίηση δεν προκύπτουν ενεργειακά οφέλη, η σημασία της μεθόδου έγκειται στην ανακύκλωση της οργανικής ύλης που επιτυγχάνεται με σχετικά απλό τρόπο. Ο ρόλος της κομποστοποίησης στη διαχείριση των απορριμμάτων βιολογικής προέλευσης αποκτά πρόσθετο βάρος στην

χώρα μας, όπου τα προβλήματα διάθεσης και αξιοποίησης της απορριπτόμενης βιομάζας είναι ακόμα ανοικτά.

2.3 Κριτήρια Επιλογής Μεθόδου Επεξεργασίας και Τεχνολογίας

Όταν σε ένα διαχειριστικό σύστημα η βιομάζα αποτελεί την πρώτη ύλη τροφοδοσίας, η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων διάθεσης ή και επεξεργασίας της δεν είναι μια εύκολη υπόθεση. Τόσο οι ιδιότητες της οργανικής ύλης που καθορίζουν τη μορφή της βιομάζας όσο και οι απαιτήσεις για την βέλτιστη λειτουργία των διαθέσιμων διεργασιών πρέπει να εξετάζονται μαζί και σε βάθος, με σκοπό την ανάπτυξη ενός τεχνικά και οικονομικά βιώσιμου συστήματος παραγωγής χρήσιμων προϊόντων. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προσδιορίζεται από μια σειρά παραγόντων που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με τα εξής:

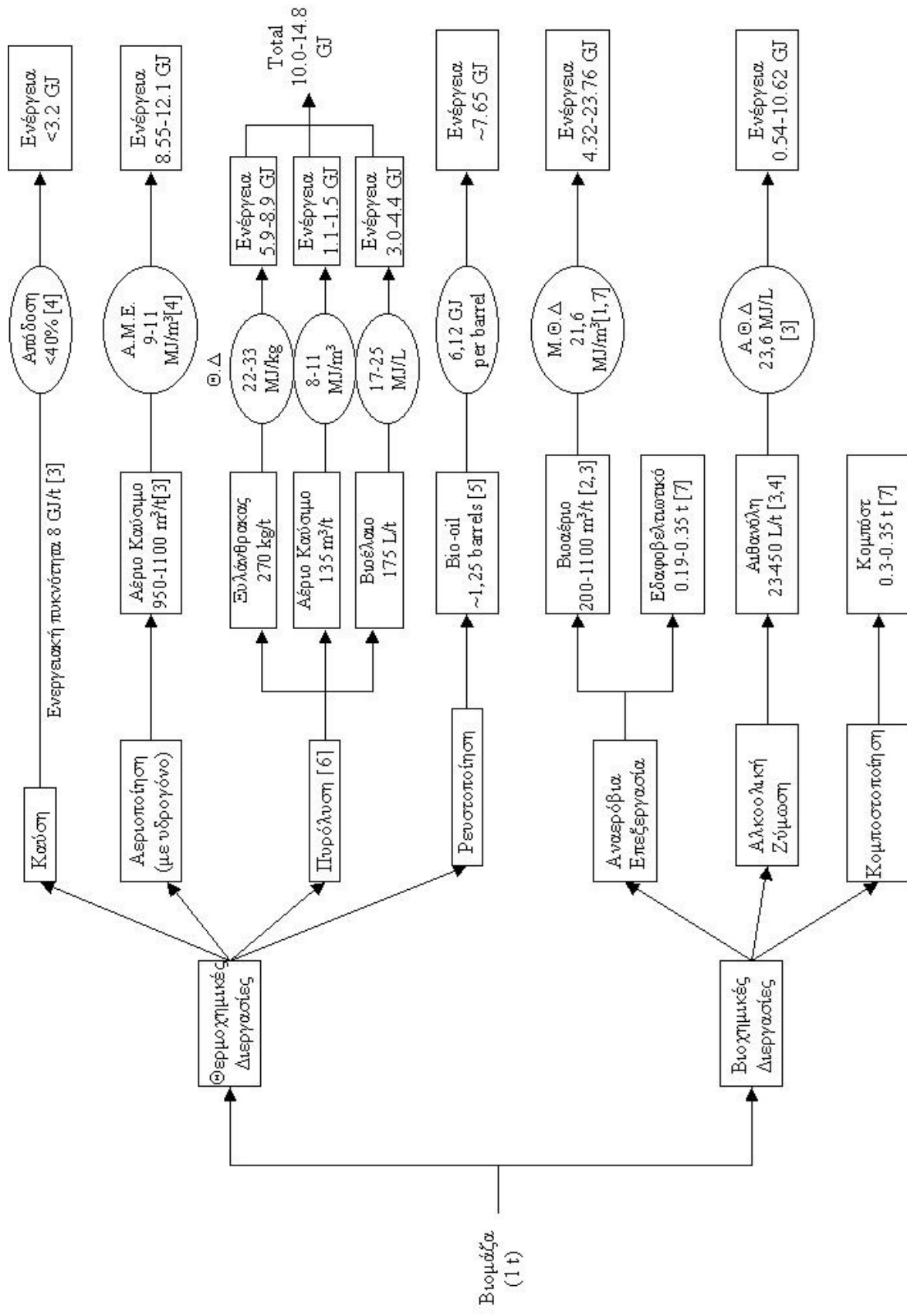
- τον τύπο ή τη μορφή (προέλευση) του οργανικού υποστρώματος
- τη διαθέσιμη προς αξιοποίηση ποσότητα βιομάζας
- τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του υλικού τροφοδοσίας, που είναι η σχέση της συγκέντρωσης του άνθρακα προς εκείνη του αζώτου (C/N) στη σύσταση του και η περιεχόμενη υγρασία των αποβλήτων την ώρα της συλλογής
- την επιθυμητή μορφή ενέργειας και τις προδιαγραφές των εκάστοτε εφαρμογών τελικής χρήσης
- τις οικονομικές και τεχνικές παραμέτρους
- τα περιβαλλοντικά κριτήρια και πρότυπα
- τους ιδιαίτερους παράγοντες στο σχεδιασμό ενός έργου

Οι ιδιότητες του υποστρώματος τροφοδοσίας είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας. Συγκεκριμένα, οι θερμοχημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για τα είδη της βιομάζας με σχέση C/N μεγαλύτερη του 30 και υγρασία μικρότερη από 50%. Ενώ οι βιοχημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για προϊόντα όπου η σχέση C/N είναι μικρότερη από 30 και η υγρασία είναι μεγαλύτερη από 50% [Αθανασόπουλος, 1991].

Ένα ακόμα κριτήριο μπορεί να είναι η απόδοση των συστημάτων, βάση των οποίων προκύπτει η ποσοτική ανάλυση των μεθόδων επεξεργασίας που περιγράφηκαν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10. Στο εν λόγω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι μέθοδοι που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο αυτό, δίνοντας μια

εκτίμηση του θεωρητικού ποσού ενέργειας που δύναται να παραχθεί από την επεξεργασία ενός τόνου βιομάζας. Εκτός από τη διεργασία της καύσεως, στο τελικό ποσό ενέργειας δεν συνυπολογίζονται οι απώλειες μετασχηματισμού κατά την επεξεργασία και οι τυχόν ενεργειακές ανάγκες για την λειτουργία των ίδιων των μονάδων. Επιπλέον, μια ολοκληρωμένη θεώρηση πρέπει να λαμβάνει υπόψη και την απόδοση των εφαρμογών τελικής χρήσης όπου οδηγείται το τελικό προϊόν.

Επιπλέον, στην εκτίμηση για την καύση, η ενεργειακή πυκνότητα της υπό επεξεργασία βιομάζας θεωρήθηκε εκείνη της ξυλώδους βιομάζας με περιεκτικότητα σε υγρασία 50%. Για κάποιον άλλο τύπο βιομάζας θα προέκυπτε και διαφορετικό ενεργειακό ποσό. Γενικά το τελικό αποτέλεσμα για την καύση δεν είναι άμεσα συγκρίσιμο με των υπόλοιπων μεθόδων στην πλειονότητα των οποίων δίνεται ένα εύρος στην τιμή του ενεργειακού ποσού εξαιτίας ακριβώς του ότι εξαρτάται και από το είδος της υπό επεξεργασία βιομάζας. Όσον αφορά την κομποστοποίηση το τελικό αποτέλεσμα δεν μετριέται σε ενέργεια αλλά σε ποσότητα εδαφοβελτιστικού που δύναται να προκύψει από την εφαρμογή της μεθόδου.



Σχήμα 2.9 Ποσοτική εκτίμηση μεθόδων επεξεργασίας βιομάζας.

Υπόμνημα Σχήματος 2.9

Συντομογραφίες

A.M.E.= Αέριο Μέσης Ενέργειας

Θ.Δ.= Θερμογόνος Δύναμη

M.Θ.Δ.= Μέση Θερμογόνος Δύναμη

A.Θ.Δ.= Ανώτερα Θερμογόνος Δύναμη

Βιβλιογραφικές Πηγές

1. ISAT, 2000.
2. Polprasert, 1996.
3. Klass, 1998.
4. McKendry, 2002.
5. Δρής, 1986.
6. ΕΛΚΕΠΑ, 1987.
7. Kranert, 1997.

3. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων (σε περιβάλλον Access) με τα στατιστικά στοιχεία για την κτηνοτροφική δραστηριότητα στην ελληνική επικράτεια, όπου συμπεριλήφθηκε συν τοις άλλοις και η εκτίμηση του βιοδυναμικού των σχετικών αποβλήτων. Η σύνδεση της βάσης με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) της Ελλάδος λειτουργεί αποτελεσματικά στην εξαγωγή των πρώτων σε μεγάλη κλίμακα (επίπεδο νομού) συμπερασμάτων.

3.1 Πρωτογενή Στοιχεία

Η συλλογή των στοιχείων όσον αφορά τον πληθυσμό των ζώων, που σχετίζονται με την κτηνοτροφία στον ελλαδικό χώρο, έγινε από τις ετήσιες απογραφές της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας [ΕΣΥΕ, 1970-1998], όπου οι όποιες πληροφορίες προσφέρονται κατά γεωγραφικό διαμέρισμα και νομό. Η τελευταία διαθέσιμη δημοσίευση με στατιστικά στοιχεία για τον πληθυσμό των ζώων - μέχρι την περάτωση της εργασίας αυτής - αφορούσε το έτος του 1998. Ως εκ τούτου στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν λαμβάνεται ως έτος βάσης. Επίσης, η εξέλιξη του πληθυσμού των ζώων μελετάται επιλέγοντας το 1970 σαν τελευταίο έτος του παρελθόντος. Η περίοδος που καλύπτεται δηλαδή, συνολικά και σε ετήσια βάση στην παρούσα εργασία, αφορά την περίοδο μεταξύ του 1970 και του 1998.

Πιο λεπτομερή στοιχεία για το ζωικό κεφάλαιο παρέχονται από την ΕΣΥΕ κάθε 10 χρόνια, ανά δήμο και κοινότητα. Η συλλογή τους για το σύνολο της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα εφόσον δεν προσφέρονται σε ηλεκτρονική μορφή. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας εξετάζονται μόνο για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, όπου η γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα είναι αρκετά έντονη. Τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία ανά δήμο και κοινότητα προκύπτουν από την απογραφή του 1991 μιας και τα αποτελέσματα της απογραφής του 2001 δεν είχαν δημοσιευθεί μέχρι την περίοδο συλλογής των στοιχείων για την διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης.

Τα στατιστικά στοιχεία συνεκτιμήθηκαν στις εξής επτά κύριες κατηγορίες ζωικών ειδών:

- Βοοειδή

- Χοιροειδή
- Αιγοπρόβατα (οικόσιτα και κοπαδιάρικα)
- Νομαδικά αιγοπρόβατα
- Πουλερικά
- Ιπποειδή
- Κουνέλια

Η λογική διαχωρισμού των νομαδικών από τα υπόλοιπα προβατοειδή και αιγοειδή σχετίζεται με τη δυσκολία αξιοποίησης των υπολειμμάτων από νομαδικούς πληθυσμούς, γεγονός που δεν θα μπορούσε παρά να ληφθεί ιδιαίτερα υπόψη στις εκτιμήσεις του βιοδυναμικού κτηνοτροφικών αποβλήτων. Στη συνέχεια όταν θα αναφερόμαστε στην κατηγορία των αιγοπροβάτων θα εννοείται ο οικόσιτος και κοπαδιάρικος πληθυσμός τους, ενώ για τα νομαδικά θα γίνεται ξεχωριστή αναφορά.

3.1.1 Πληθυσμιακή Εξέλιξη Ζωικών Ειδών

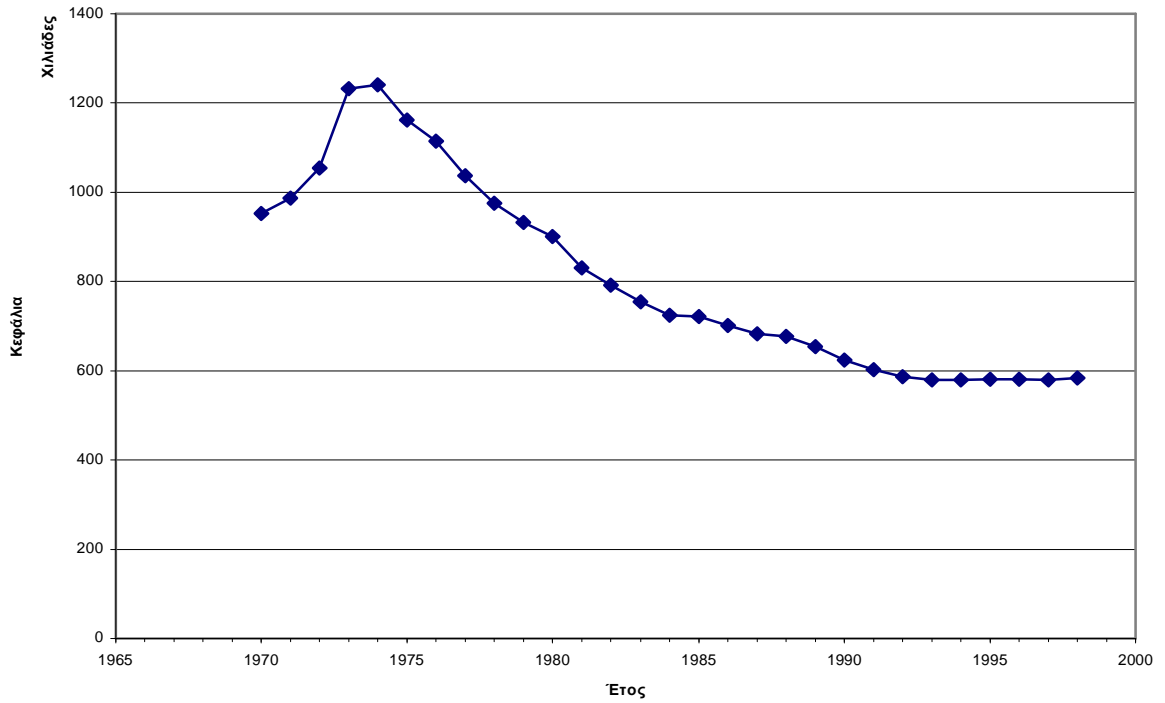
Στα σχήματα που ακολουθούν καταγράφεται η εξέλιξη του πληθυσμού των ζώων ανά κατηγορία. Πρέπει να προσεχθεί ότι η κλίμακα στον κάθετο άξονα των γραφημάτων αυτών δεν είναι πάντα η ίδια και εξαρτάται από το ύψος στο οποίο κυμαίνεται ο πληθυσμός από είδος σε είδος.

Ξεκινώντας από το Σχήμα 3.1, στα βοοειδή παρατηρείται μία συνεχής πτώση του πληθυσμού των ζώων από το 1975 και μετά με μια τάση όμως σταθεροποίησης τα τελευταία πέντε χρόνια. Την αντίθετη εικόνα παρουσιάζει η εξέλιξη του πληθυσμού για τα χοιροειδή, όπου επίσης από το 1975 και μετά, αυτή τη φορά έχουμε συνεχής αύξηση με τη σταθεροποίηση του πληθυσμού γύρω στα ένα εκατομμύρια κεφάλια από το 1985 κι ύστερα.

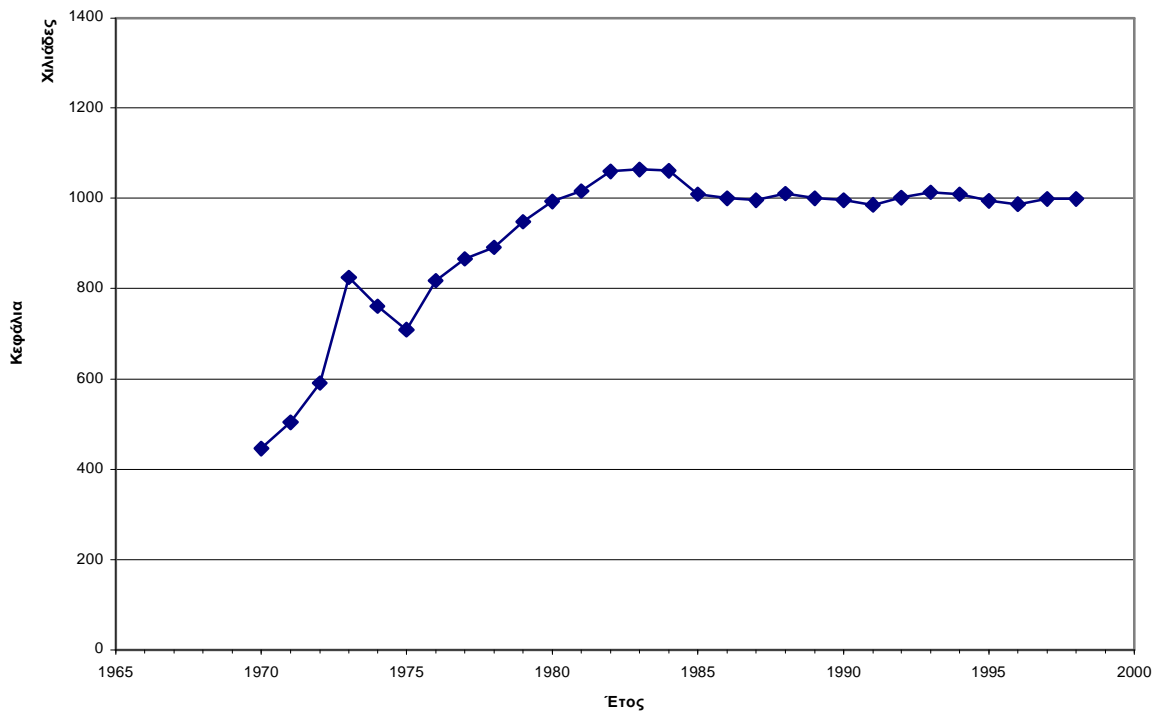
Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται η πτωτική πορεία στον πληθυσμό των ιπποειδών ή οποία είναι συνεχής για όλη τη χρονική περίοδο μελέτης. Ενδεικτικό είναι ότι κάθε δέκα χρόνια ο πληθυσμός τους μειώνεται σε ποσοστό λίγο μεγαλύτερο από το 50% (τη δεκαετία του '70 η πτώση ανέρχεται στο 53%, ενώ για τη δεκαετία του '80 στο 52%). Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί συνδέεται με το γεγονός αντικατάστασης του αλόγου στις γεωργικές εργασίες από σύγχρονα μηχανήματα.

Στα αιγοπρόβατα (οικόσιτα και κοπαδιάρικα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3, διαγράφεται μία διαρκής αύξηση του πληθυσμού τους, με εξαίρεση κάποιες μικρές περιόδους κάμψης (όπως π.χ. την τετραετία 1976-79 και την τριετία 1990-92). Ίσως

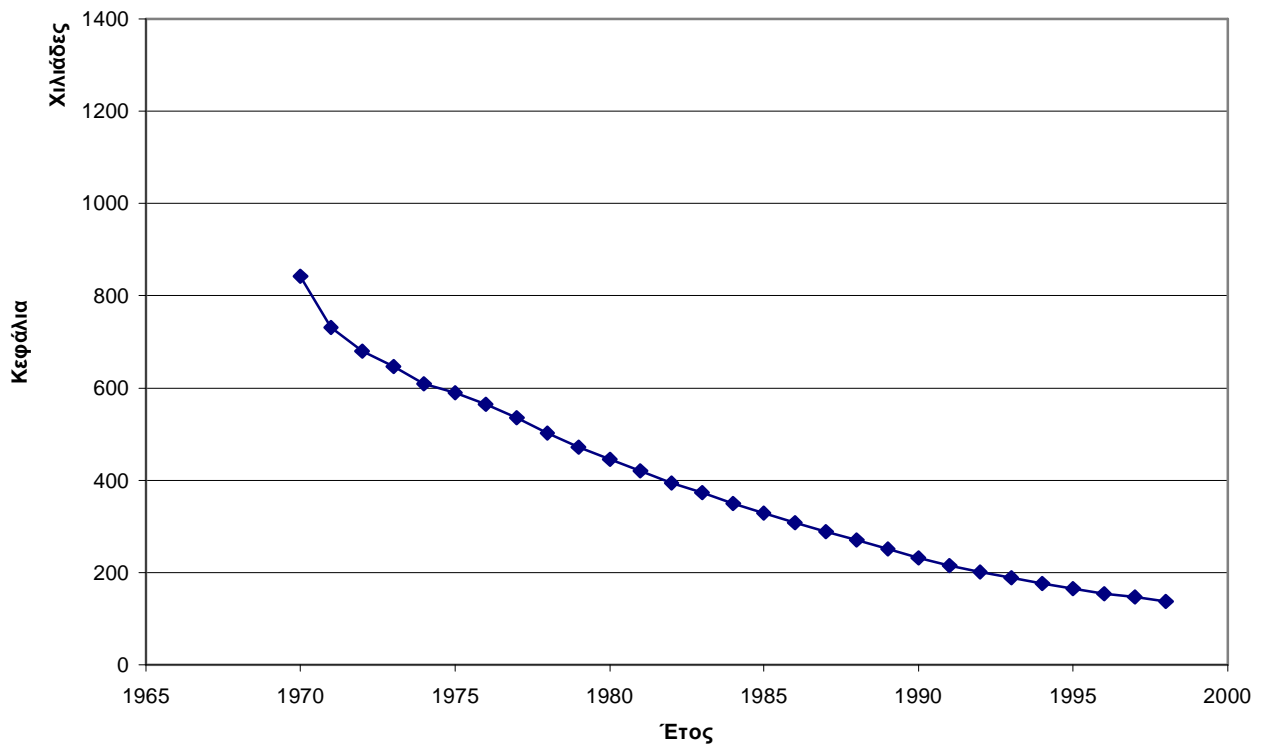
I.



II.

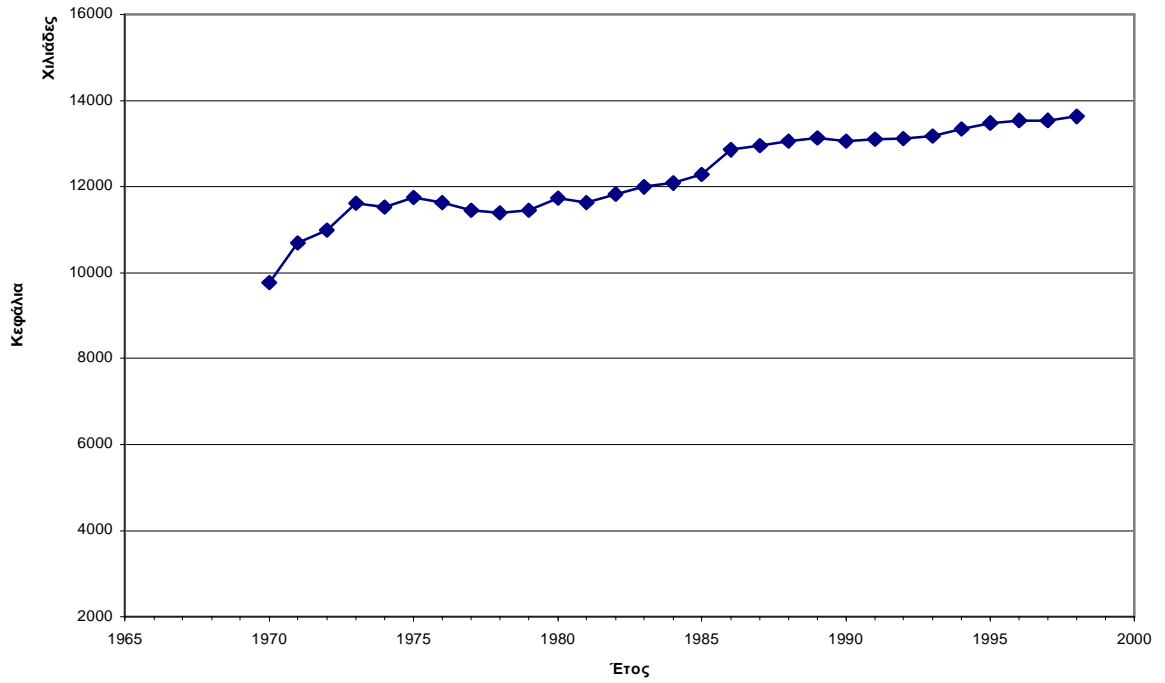


Σχήμα 3.1 Εξέλιξη πληθυσμού ζώων στην Ελλάδα I) για τα βοοειδή II) για τα χοιροειδή [Πηγή: ΕΣΥΕ, 1970-1998].

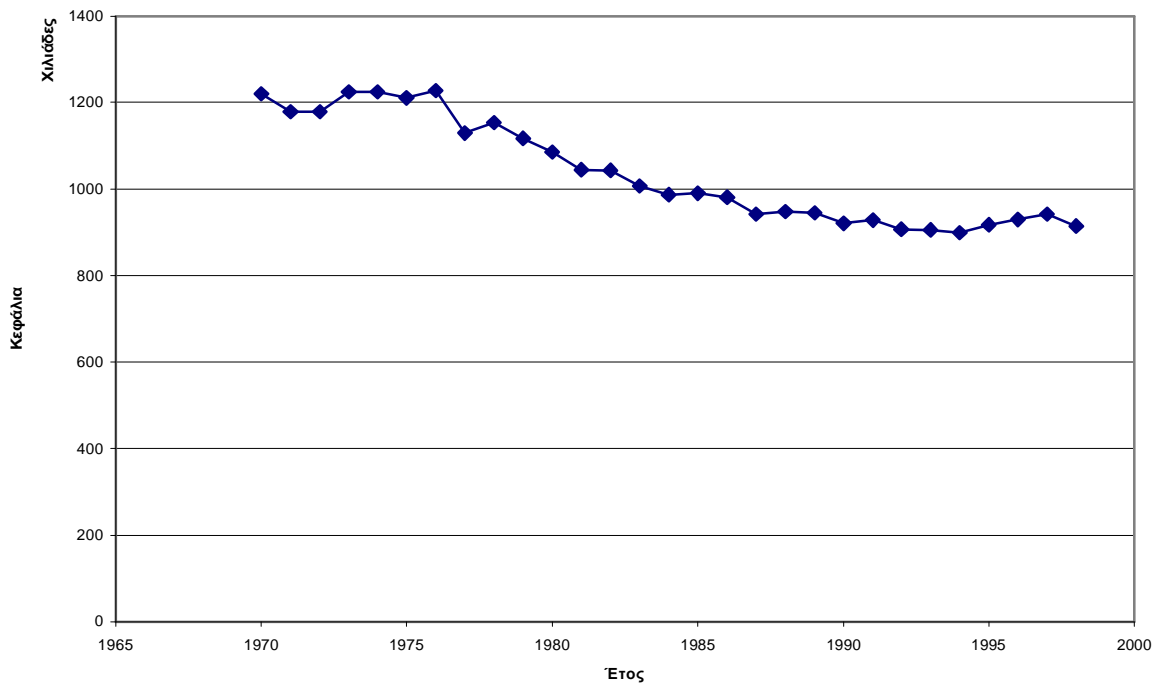


Σχήμα 3.2 Εξέλιξη πληθυσμού ζώων στην Ελλάδα για τα ιπποειδή [Πηγή: ΕΣΥΕ, 1970-1998].

I.

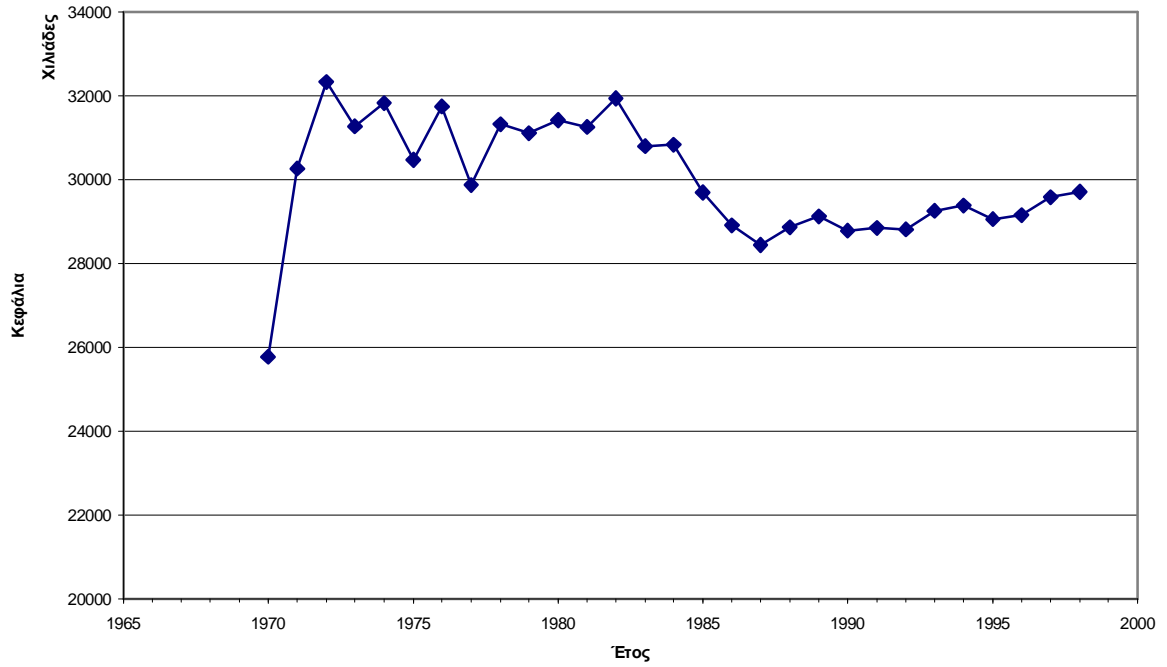


II.

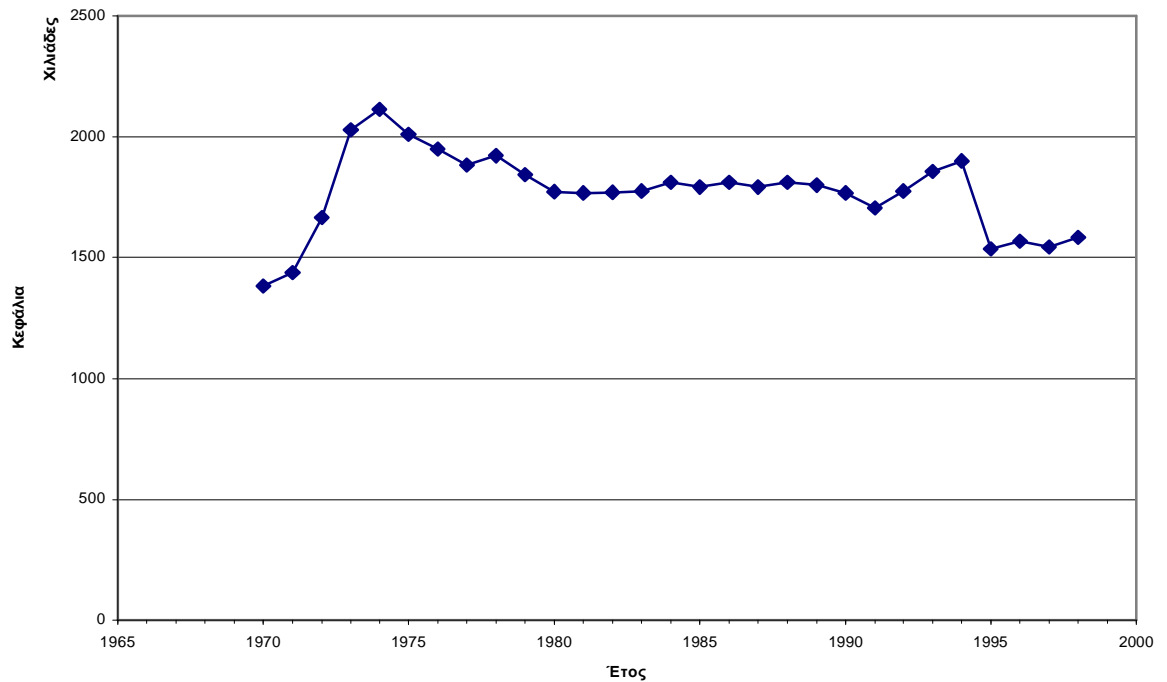


Σχήμα 3.3 Εξέλιξη πληθυσμού ζώων στην Ελλάδα για τα αιγοπρόβατα I) οικόσιτα και κοπαδιάρικα II) νομαδικά [Πηγή: ΕΣΥΕ, 1970-1998].

I



II.



Σχήμα 3.4 Εξέλιξη πληθυσμού ζώων στην Ελλάδα I) για τα πουλερικά II) για τα κουνέλια [Πηγή: ΕΣΥΕ, 1970-1998].

αυτό έχει να κάνει με την όλο και μεγαλύτερη μείωση των αντίστοιχων νομαδικών πληθυσμών, επιδεικνύοντας πιθανά μια τάση ένταξης των τελευταίων σε οικόσιτους ή και κοπαδιάρικους πληθυσμούς.

Τα πουλερικά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4, αποτελούν μια διαφορετική περίπτωση καθώς η εξέλιξη του πληθυσμού τους παρουσιάζει συνεχής αυξομειώσεις και μόνο τα τελευταία χρόνια, μετά τη μεγάλη πτώση που σημειώθηκε την πενταετία 1983-87, διαφαίνεται μια τάση ανόδου. Εν τέλει, όσον αφορά τα κουνέλια, ο πληθυσμός τους κυμαίνεται κατά κύριο λόγο σε σταθερά επίπεδα. Στην εξέλιξη των τελευταίων ετών ξεχωρίζει η μεγάλη μείωση του πληθυσμού τους κατά το 1995, πλησιάζοντας για πρώτη φορά μετά από πολλά χρόνια τα επίπεδα του 1972-73.

3.1.2 Πληθυσμιακή Κατανομή Κτηνοτροφικών Μονάδων

Σημαντικό στατιστικό στοιχείο είναι όμως και η κατανομή του πληθυσμού των ζώων στις διάφορου μεγέθους κτηνοτροφικές μονάδες (μεγάλη κλίμακα) ή εκμεταλλεύσεις (μικρή κλίμακα). Κάτι τέτοιο μας ενδιαφέρει άμεσα για να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα των αποβλήτων ανά κατηγορία, καθώς η συλλογή και η επεξεργασία τους καθίσταται εφικτή εφόσον προϋπάρχει μια εστία συγκέντρωσης των ζώων σε ικανοποιητικό βαθμό ώστε να είναι τεχνικά και οικονομικά αποδοτική.

Συγκεκριμένα, η χρήσιμη πληροφορία προκύπτει από την αθροιστική κατανομή του πληθυσμού στις διάφορου μεγέθους μονάδες (ή εκμεταλλεύσεις). Τα αποτελέσματα παρατίθεται ανά κατηγορία ζωικών ειδών στο Παράρτημα Α. Ιδιαίτερα πρέπει να προσεχθεί ότι στον οριζόντιο άξονα ο αριθμός και το μέγεθος των κατηγοριών δεν είναι πάντα ο ίδιος.

Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι τα απαραίτητα στοιχεία για την εξαγωγή αυτών των διαγραμμάτων, δηλαδή για το ζωικό κεφάλαιο εκμεταλλεύσεων, παρέχονται από την ΕΣΥΕ κάθε 10 χρόνια. Τα τελευταία διαθέσιμα αποτελέσματα προκύπτουν από την απογραφή του 1991 και ως εκ τούτου τα στοιχεία που παρουσιάζονται αφορούν το έτος αυτό [ΕΣΥΕ, 91]. Ενώ εξαίρεση αποτελεί η κατηγορία των ιπποειδών για την οποία δεν δίνονται τα στατιστικά στοιχεία στη μορφή που απαιτείται για την εξαγωγή ενός τέτοιου διαγράμματος, για αυτό και δεν παρουσιάζεται καθόλου.

Η πληροφορία που μας ενδιαφέρει στα διαγράμματα αυτά σχετίζεται με το ποσοστό που απαντάται για κάθε μία από τις κατηγορίες των ζωικών ειδών στις μεγαλύτερες κατηγοριοποιήσεις του πληθυσμού τους, συνήθως στην πρώτη ή και τη δεύτερη. Με μια πρώτη ματιά μπορούμε να δούμε ότι τα ποσοστά αυτά είναι αρκετά υψηλά (πάνω από 65%) για τα χοιροειδή και τα πουλερικά, σε χαμηλότερα επίπεδα (κάτω από 65%) κυμαίνονται για τα αιγοπρόβατα και τα βοοειδή, ενώ ιδιαίτερα χαμηλά παρουσιάζονται για την περίπτωση των κουνελιών (κάτω από 5%). Κατά συνέπεια την ίδια εικόνα αναμένεται να παρουσιάζει και η διαθεσιμότητα των αποβλήτων στις εν λόγω κατηγορίες ζωικών ειδών.

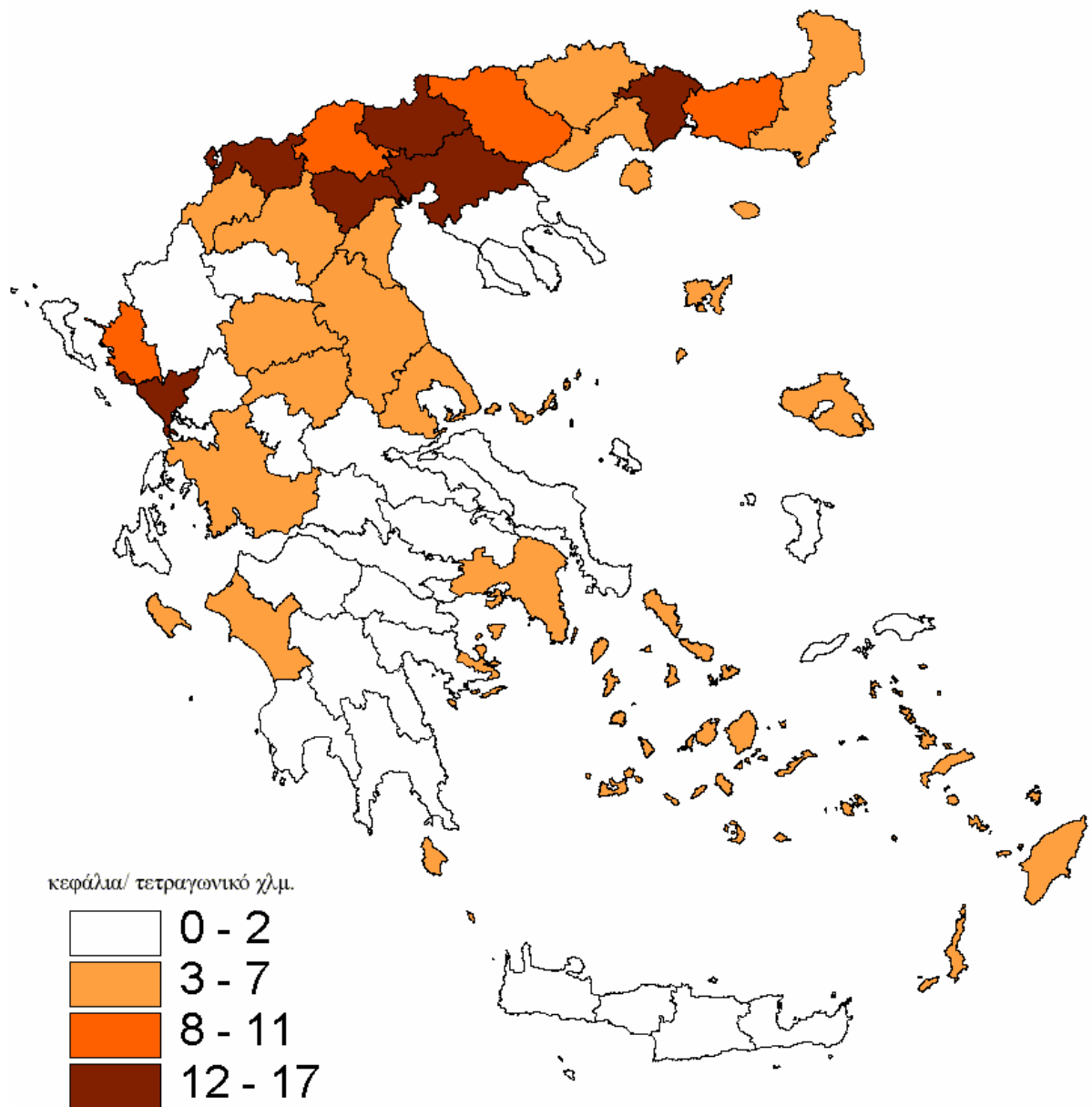
3.1.3 Πληθυσμιακή Πυκνότητα Ζωικών Ειδών

Πριν περάσουμε στην εκτίμηση του βιοδυναμικού κτηνοτροφικών αποβλήτων κρίνεται σκόπιμο να δοθεί μια εικόνα του πώς κατανέμεται ο πληθυσμός των ζώων στην ελληνική επικράτεια. Έτσι, λοιπόν, στους χάρτες του Σχήματος 3.5, 3.6, 3.7 3.8, 3.9 και 3.10 παρουσιάζεται η πληθυσμιακή πυκνότητα για κάθε μία κατηγορία ζωικού είδους (εκτός των νομαδικών αιγοπροβάτων) στους 51 νομούς της χώρας (δεν συμπεριλαμβάνεται το Αγ.Όρος). Σημειώνεται ότι ως έτος αναφοράς λαμβάνεται το 1998, δηλαδή το τελευταίο έτος για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία.

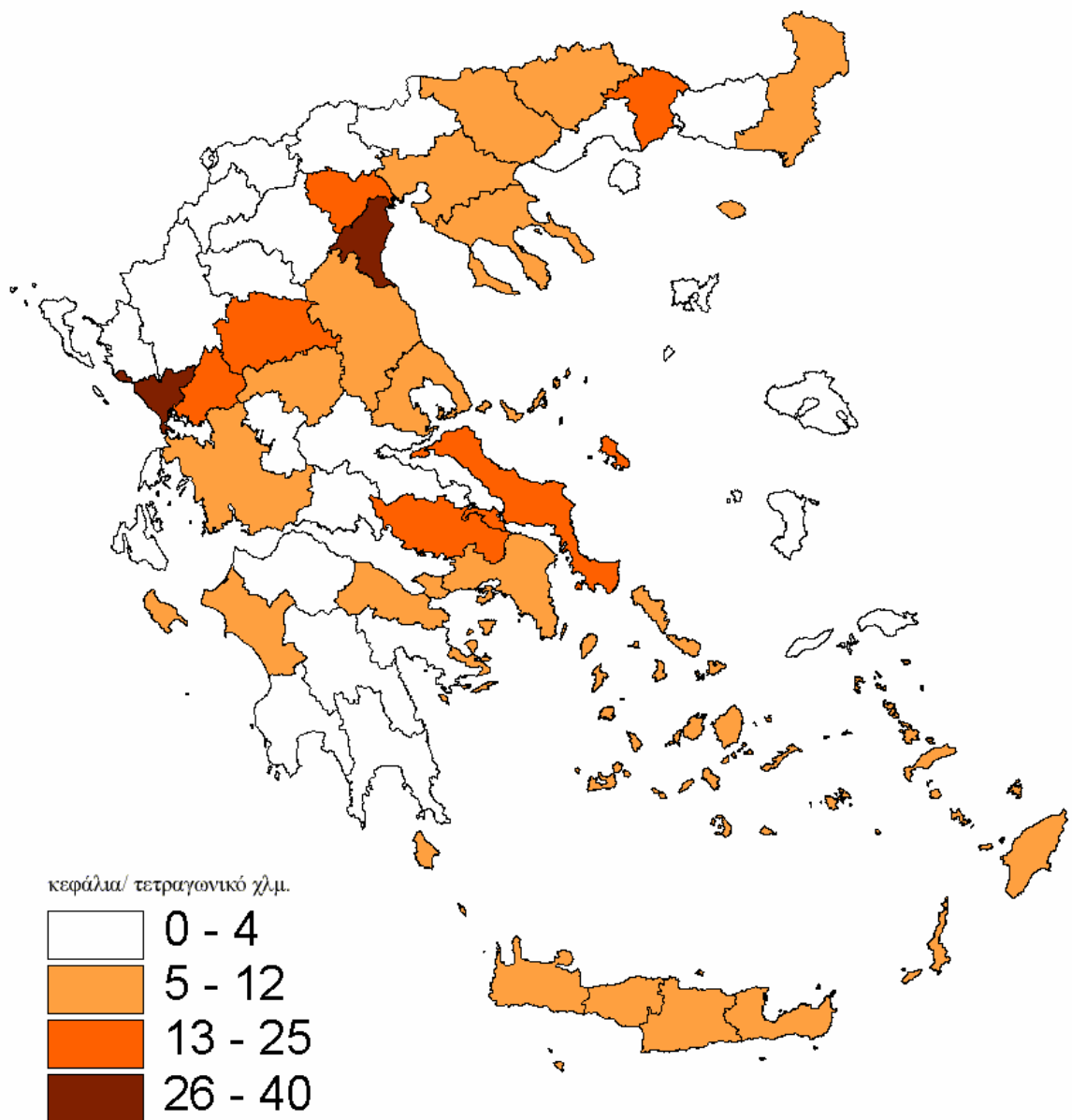
Στο Σχήμα 3.5 παρατηρούμε ότι τα βοοειδή παρουσιάζουν αυξημένη πληθυσμιακή πυκνότητα κατά κύριο λόγο στις βόρειες περιοχές της Ελλάδος, κάτι που σχετίζεται με τις κλιματολογικές συνθήκες και τις διατροφικές τους απαιτήσεις. Στους νομούς με τη μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού σε βοοειδή συγκαταλέγονται οι Ξάνθης, Κιλκίς, Θεσσαλονίκης, Ημαθίας και Φλώρινας και από τη δυτική Ελλάδα ο νομός Πρεβέζης.

Για τα χοιροειδή (Σχήμα 3.6) φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές της πληθυσμιακής τους πυκνότητας εμφανίζονται σε περιοχές της κεντρικής Ελλάδος, όπως στους νομούς Τρικάλων και Άρτας και πιο νότια στους νομούς Βοιωτίας και Ευβοίας, αλλά και βορειότερα στους νομούς Ημαθίας και Ξάνθης. Πάντως στη μεγαλύτερη κατηγορία πληθυσμιακής πυκνότητας (26 με 40 κεφάλια/ τετραγωνικό χλμ.) ανήκουν μόνο δύο νομοί: Πιερίας και Πρεβέζης.

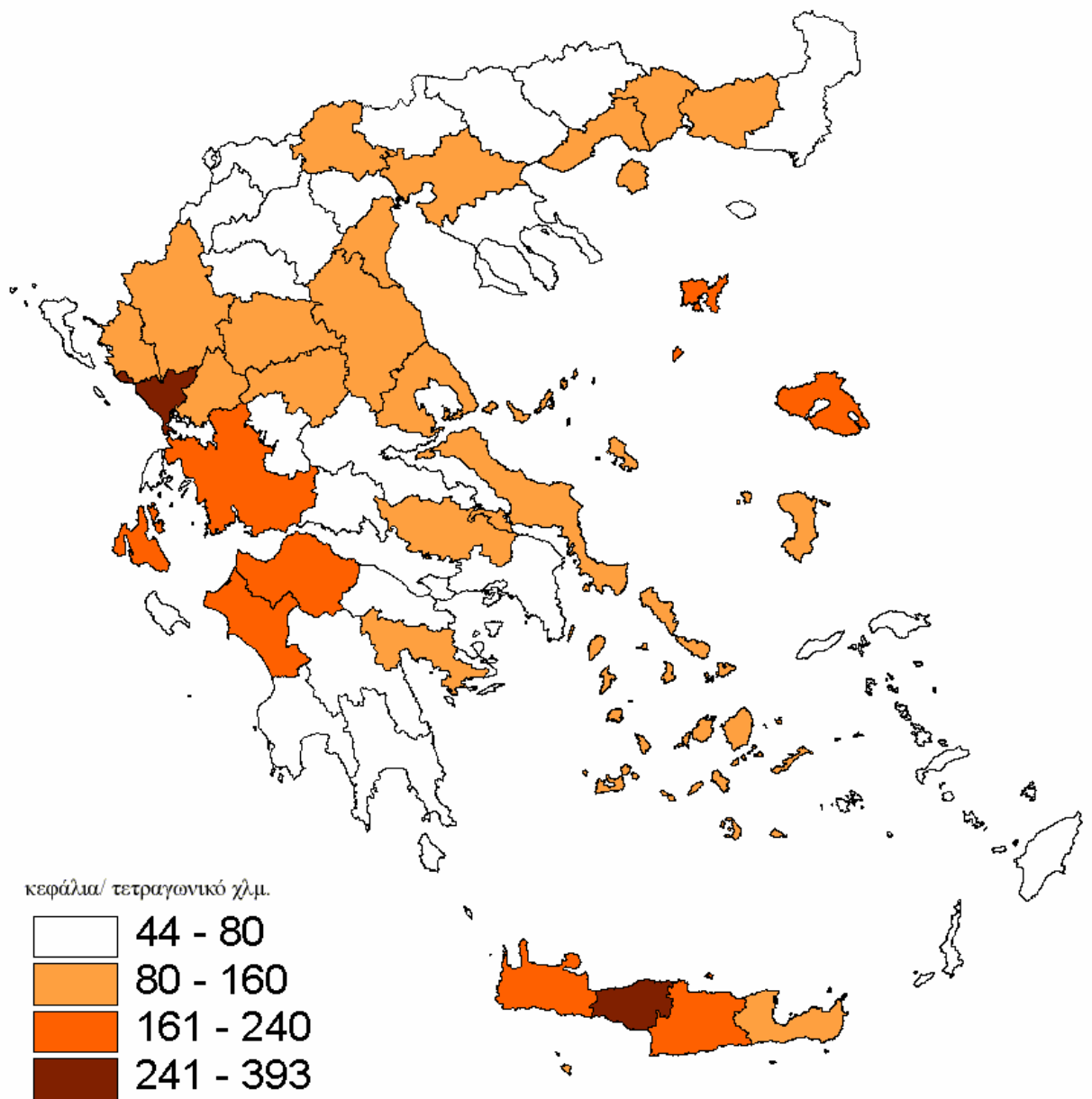
Και στην περίπτωση των αιγοπροβάτων (Σχήμα 3.7) δύο νομοί ξεχωρίζουν στην εικόνα της πληθυσμιακής τους πυκνότητας με το νομό Πρεβέζης να



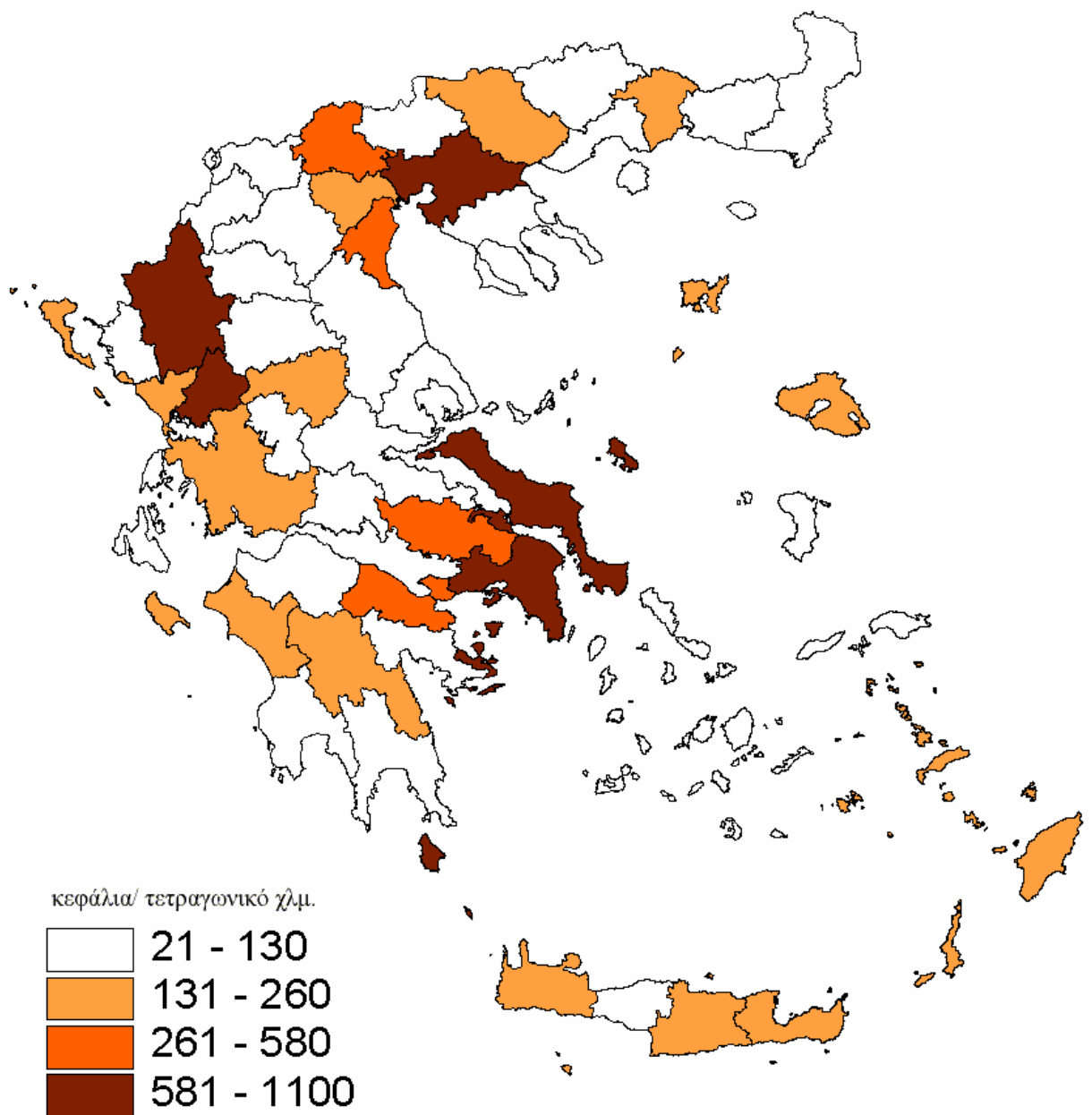
Σχήμα 3.5 Πληθυσμιακή πυκνότητα βοοειδών ανά κατηγορίες μεγέθους στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας με έτος αναφοράς το 1998.



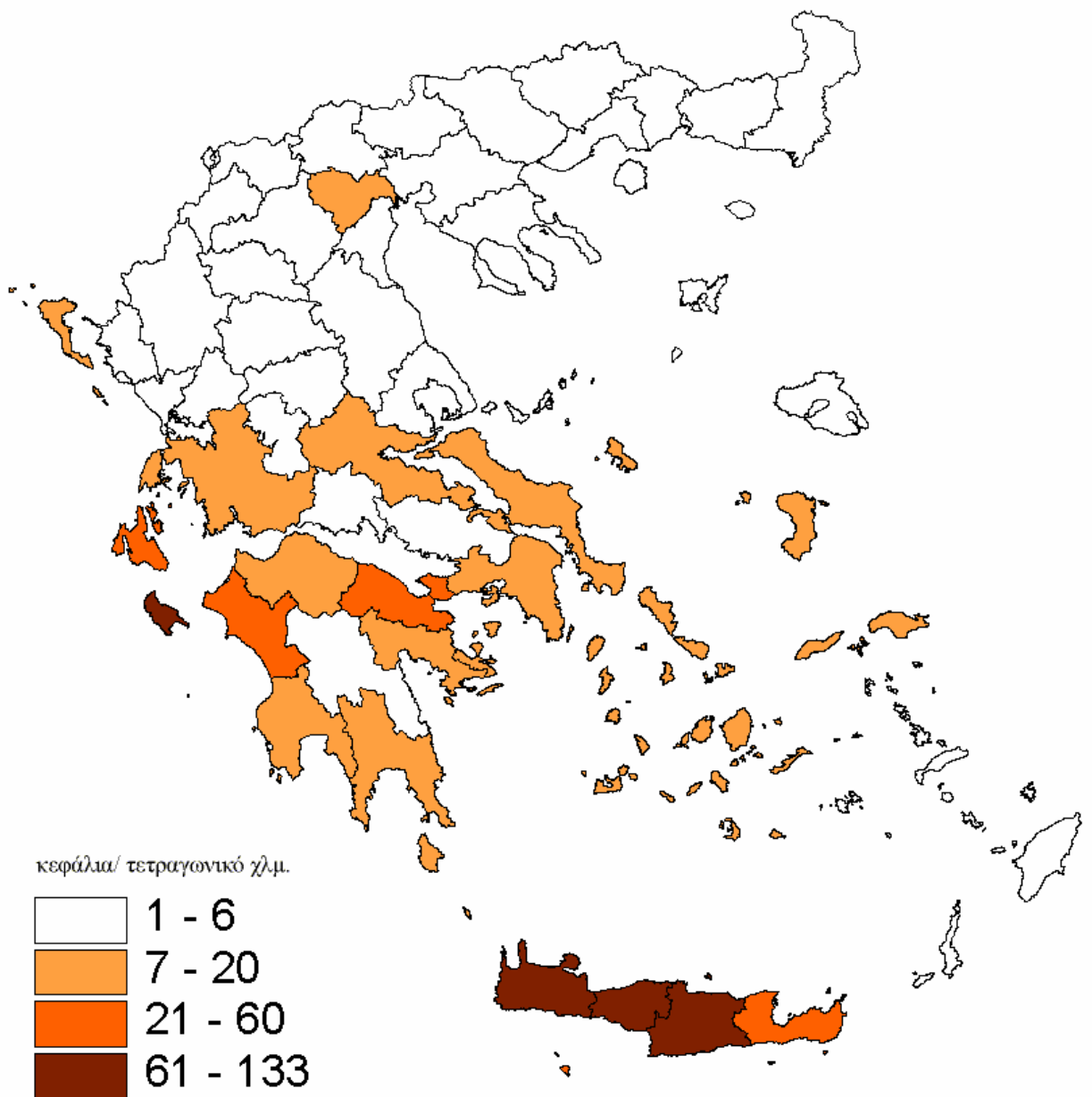
Σχήμα 3.6 Πληθυσμιακή πυκνότητα χοιροειδών ανά κατηγορίες μεγέθους στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας με έτος αναφοράς το 1998.



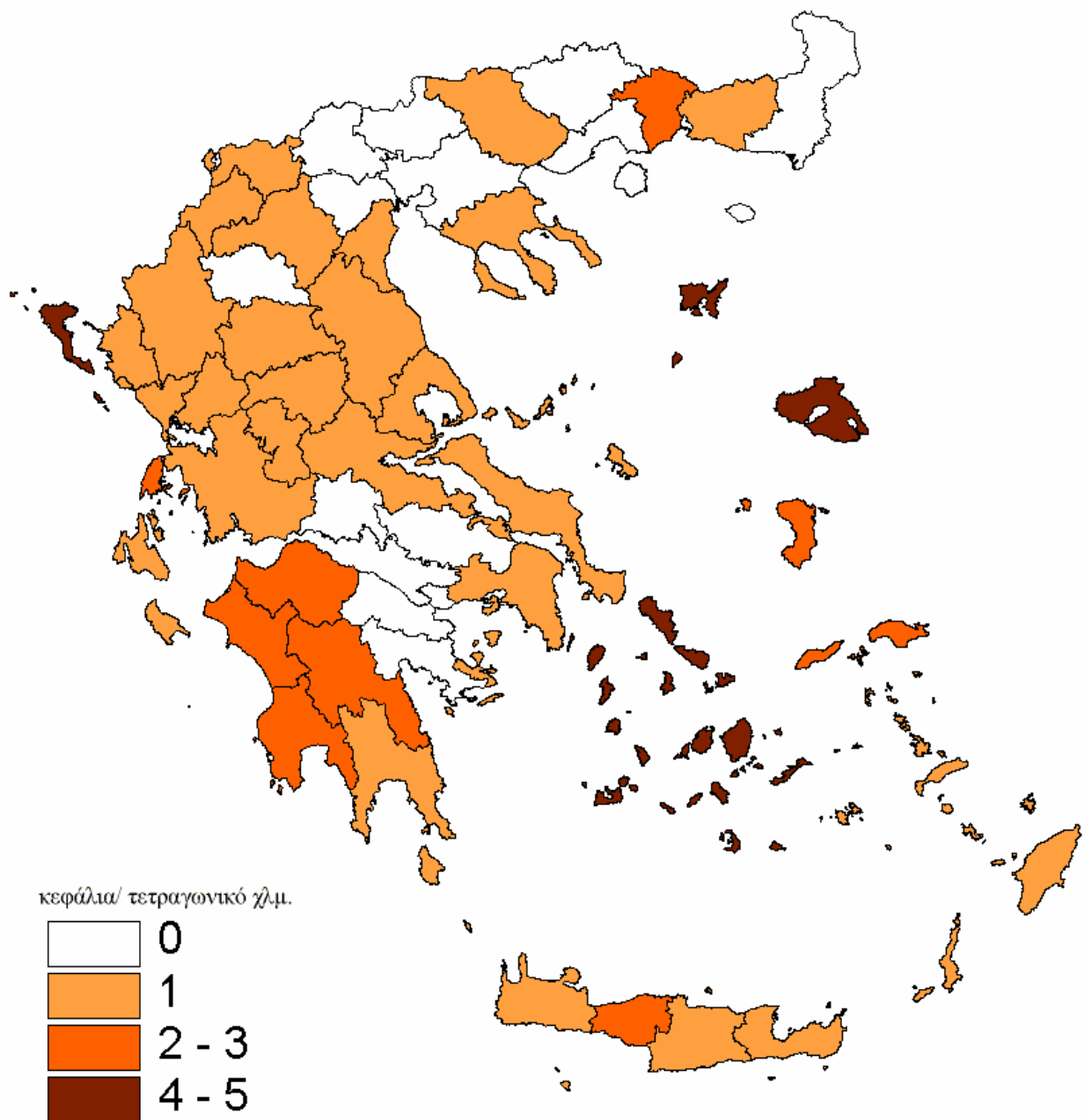
Σχήμα 3.7 Πληθυσμιακή πυκνότητα αιγοπροβάτων ανά κατηγορίες μεγέθους στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας με έτος αναφοράς το 1998.



Σχήμα 3.8 Πληθυσμιακή πυκνότητα πουλερικών ανά κατηγορίες μεγέθους στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας με έτος αναφοράς το 1998.



Σχήμα 3.9 Πληθυσμιακή πυκνότητα κουνελιών ανά κατηγορίες μεγέθους στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας με έτος αναφοράς το 1998.



Σχήμα 3.10 Πληθυσμιακή πυκνότητα ιπποειδών ανά κατηγορίες μεγέθους στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας με έτος αναφοράς το 1998.

περιλαμβάνεται και πάλι στη μεγαλύτερη κατηγορία (241-393 κεφάλια/τετραγωνικό χλμ.), αυτή τη φορά όμως μαζί με το νομό Ρεθύμνου. Γενικότερα, εκτός από την Κρήτη, σε δύο ακόμη νησιωτικές περιοχές η πληθυσμιακή πυκνότητα των αιγοπροβάτων παρουσιάζεται υψηλή: συγκεκριμένα στους νομούς Λέσβου και Κεφαλληνίας. Εν συνεχεία, ελέγχοντας στο Σχήμα 3.8 τη μεγαλύτερη κατηγορία πληθυσμιακής πυκνότητας των πουλερικών (581 με 1100 κεφάλια/ τετραγωνικό χλμ.) διαπιστώνουμε ότι σε αυτή συμπεριλαμβάνονται νομοί μεγάλων αστικών κέντρων όπως της Αττικής, Θεσσαλονίκης και Ιωαννίνων, αλλά και οι νομοί Ευβοίας και Άρτας.

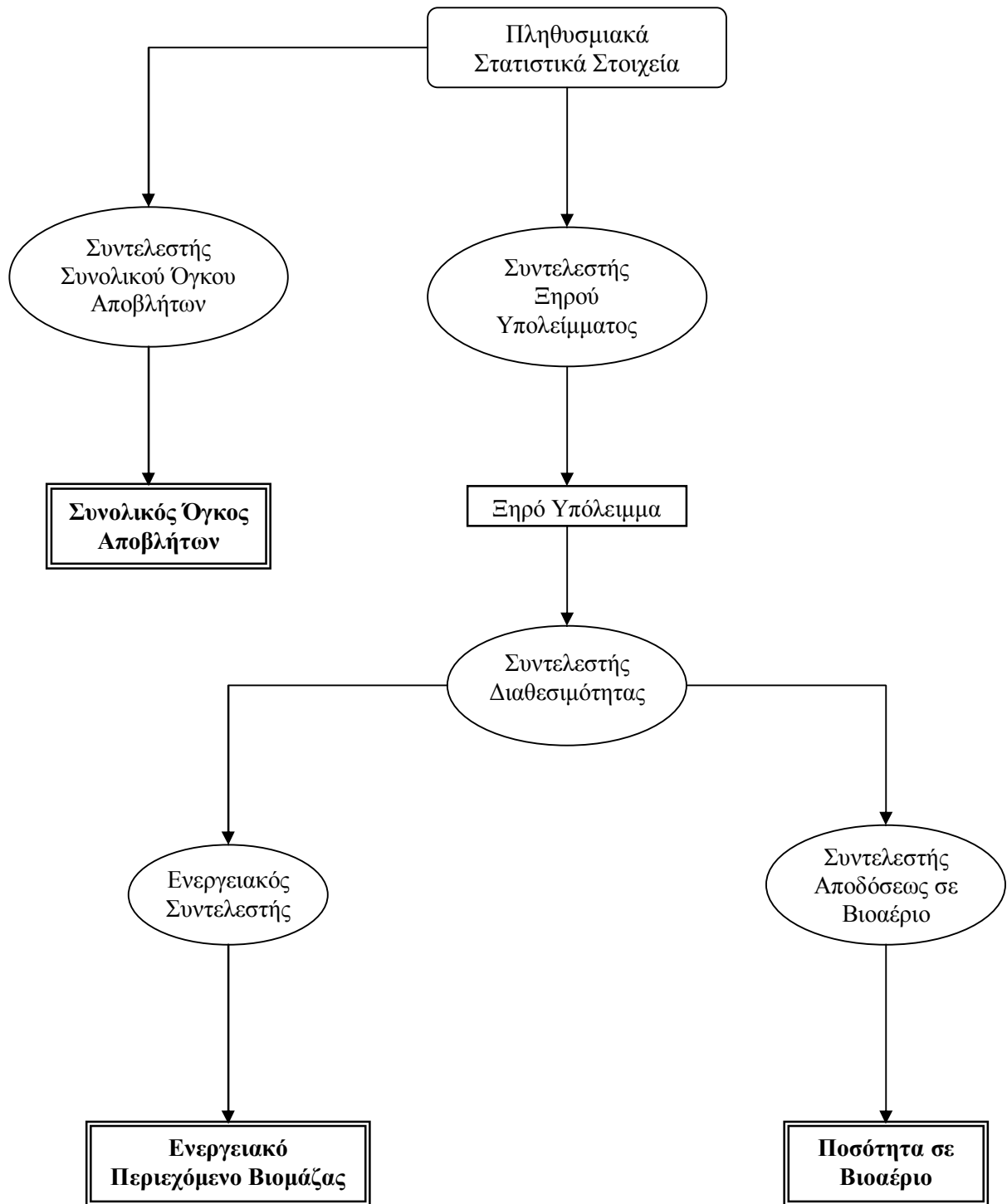
Τέλος, για τα κουνέλια (Σχήμα 3.9) και τα ιπποειδή (Σχήμα 3.10), οι μεγαλύτερες πληθυσμιακές πυκνότητες απαντώνται σε νησιωτικές περιοχές και συγκεκριμένα στην Κρήτη και στο νομό Ζακύνθου για τα μεν πρώτα, ενώ στους νομούς Λέσβου, Κυκλάδων και Κερκύρας για τα δεύτερα.

3.2 Δυναμικό Απορριπτόμενης Ζωικής Βιομάζας

Η εκτίμηση για το βιοδυναμικό αποβλήτων από κτηνοτροφικές δραστηριότητες στον ελλαδικό χώρο διεξήχθη σύμφωνα με την προτεινόμενη από τη σχετική βιβλιογραφία πρακτική. Στην ουσία το βιοδυναμικό των αποβλήτων εκφράζεται από το ενεργειακό περιεχόμενο της απορριπτόμενης βιομάζας, όμως στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε επιπροσθέτως και μια σειρά από άλλες παραμέτρους που σχετίζονται άμεσα με την αξιοποίηση αυτού του βιοδυναμικού. Η εκτίμηση για την ποσότητα του βιοαερίου που δύναται να παραχθεί είναι η σημαντικότερη εξ αυτών.

3.2.1 Μεθοδολογία Εκτίμησης

Η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την εκτίμηση του βιοδυναμικού κτηνοτροφικών αποβλήτων στην ελληνική επικράτεια παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 3.11. Τη βάση για τους υπολογισμούς αποτελούν τα πρωτογενή στοιχεία, δηλαδή τα στατιστικά δεδομένα για τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά των ζωικών ειδών που σχετίζονται με την κτηνοτροφία, για τα οποία έγινε ήδη εκτενείς αναφορά στην προηγούμενη ενότητα. Εν συνεχεία, οι όποιες εκτιμήσεις λαμβάνουν χώρα, προκύπτουν από μια σειρά από συντελεστές οι



Σχήμα 3.11 Μεθοδολογία εκτίμησης βιοδυναμικού κτηνοτροφικών αποβλήτων.

οποίοι ανάγουν τα πληθυσμιακά μεγέθη στη ζητούμενη ποσότητα (όγκος αποβλήτων, ενέργεια ή βιοαέριο).

Στην περίπτωση των υπολογισμών για το ενεργειακό περιεχόμενο των αποβλήτων και της εκτιμούμενης ποσότητας σε βιοαέριο παρεμβάλλεται ο συντελεστής διαθεσιμότητας. Η επιλογή των τιμών αυτού του συντελεστή δεν είναι πάντα μια εύκολη υπόθεση και πρέπει να γίνεται προσεκτικά ιδιαίτερα όταν δεν έχουν προηγουμένως πραγματοποιηθεί συγκεκριμένες μελέτες για τον ακριβή καθορισμό τους. Λάθος εκτίμηση του συντελεστή διαθεσιμότητας είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει εν συνεχεία σε λαθεμένες εκτιμήσεις για το βιοδυναμικό των αποβλήτων, έτσι δεν αποκλείεται τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματικότητα.

Για αυτό, λοιπόν, ελλείψει κάποιας παρόμοιας μελέτης για την Ελλάδα, η επιλογή των τιμών του συντελεστή διαθεσιμότητας για κάθε μία από τις επτά κατηγορίες ζωικών ειδών πραγματοποιήθηκε συνυπολογίζοντας τα εξής τρία κριτήρια :

1. τα χαρακτηριστικά της αθροιστικής κατανομής του πληθυσμού των ζώων ανά κατηγορία μεγέθους κτηνοτροφικών μονάδων (ή εκμεταλλεύσεων), όπως ήδη παρουσιάστηκαν στο Παράρτημα Α.

Στην προκειμένη περίπτωση προτιμήθηκε η αυστηρότερη δυνατή επιλογή, βάση της κατηγοριοποίησης που υιοθετείται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία. Δηλαδή θεωρήθηκε ότι η διαθεσιμότητα των αποβλήτων εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής του πληθυσμού στην τελευταία κατηγορία μεγέθους των εκμεταλλεύσεων. Έτσι, για παράδειγμα, ο συντελεστής διαθεσιμότητας στα αιγοπρόβατα συσχετίστηκε με το ποσοστό συμμετοχής του πληθυσμού τους στην κατηγορία των εκμεταλλεύσεων με περισσότερα από 200 κεφάλια (38,3%).

2. τις βιβλιογραφικές αναφορές για συντελεστές διαθεσιμότητας σε αντίστοιχες κατηγορίες ζωικών ειδών σε παρόμοιες μελέτες του εξωτερικού.

Να σημειωθεί ότι στην πλειονότητα των κατηγοριών δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία από τη βιβλιογραφία παρά μόνο εκτιμήσεις, οι οποίες πολλές φορές πραγματοποιούνταν χωρίς την ύπαρξη σχετικής προμελέτης. Για αυτό και ουσιαστικά το κριτήριο αυτό λειτούργησε περισσότερο επαληθευτικά ως προς τις τιμές που επιλέχθηκαν βάση του πρώτου κριτηρίου. Μόνο στην περίπτωση των ιπποειδών, όπου δεν υπήρξαν διαθέσιμα στοιχεία για το πρώτο κριτήριο, η τιμή του συντελεστή διαθεσιμότητας των αποβλήτων τους καθορίστηκε αποκλειστικά από τη βιβλιογραφική εμπειρία.

3. την πιθανή ύπαρξη ανταγωνιστικών χρήσεων στην αξιοποίηση του ζωικού υπολείμματος (π.χ. η χρησιμοποίησή του από τους ίδιους τους κτηνοτρόφους ως εδαφοβελτιωτικό στις καλλιεργούμενες εκτάσεις).

Λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο αυτό, η ήδη διαμορφωμένη τιμή από τα δύο προηγούμενα κριτήρια στρογγυλοποιήθηκε προς τα κάτω. Έτσι, αναφερόμενοι πάλι στο παράδειγμα των αιγοπροβάτων, από το ποσοστό του 38.3% που διαμορφώθηκε αρχικά βάση του πρώτου κριτηρίου, εν τέλει προτιμήθηκε η τιμή του συντελεστή διαθεσιμότητας ίση με 35%.

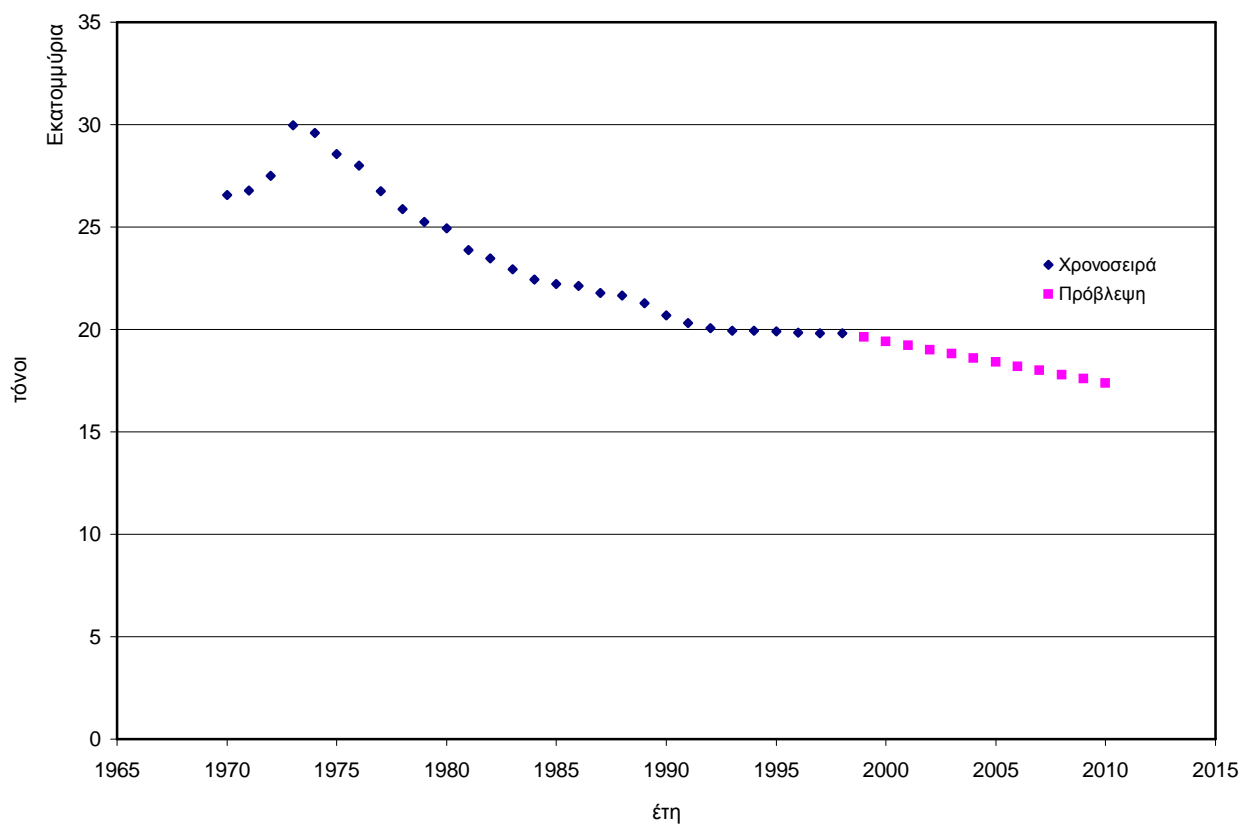
Η επιλογή των τιμών για τους υπόλοιπους συντελεστές έγινε με γνώμονα τη βιβλιογραφία.

3.2.2 Συνολικός Όγκος Κτηνοτροφικών Αποβλήτων

Ο συνολικός όγκος των αποβλήτων από κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην Ελλάδα για το 1998 εκτιμάται σε 20 εκατομμύρια τόνους περίπου. Στο Σχήμα 3.12 καταγράφεται η εξέλιξη του συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων στην ελληνική επικράτεια από το 1970 έως σήμερα, καθώς και οι προβλεπόμενες τιμές μέχρι το 2010.

Από το 1975 και ύστερα παρατηρείται μια συνεχής μείωση στον όγκο των αποβλήτων, η οποία αντικατοπτρίζει την παράλληλη μείωση των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων σε εθνικό επίπεδο. Ενώ από το 1993 και έπειτα επέρχεται σταθεροποίηση, με τον όγκο των αποβλήτων να διατηρείται λίγο χαμηλότερα από τους 20 εκατομμύρια τόνους. Ενδεικτικό πάντως της πτωτικής πορείας, που έλαβε χώρα κατά κύριο λόγο τη δεκαετία του '80, είναι ότι το ύψος των κτηνοτροφικών αποβλήτων το 1973 έφθανε κοντά τους 30 εκατ. τόνους. Συγκρινόμενη με αυτή τη χρονιά η πτώση μέχρι τη σταθεροποίηση στα επίπεδα της δεκαετίας του '90 ανέρχεται στο 35% περίπου.

Όσον αφορά την πρόβλεψη, αυτή πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης για την εκτίμηση του συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων το 2010. Οι προβλεπόμενες τιμές για τα ενδιάμεσα έτη (1999 με 2009) προέκυψαν από γραμμική παρεμβολή μεταξύ του προηγούμενου και του επόμενου διαθέσιμου έτους. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για κάθε ένα από τους 51 νομούς της χώρας ξεχωριστά και μετέπειτα από τα αθροίσματα προέκυψαν οι τελικές τιμές για το σύνολο της χώρας.



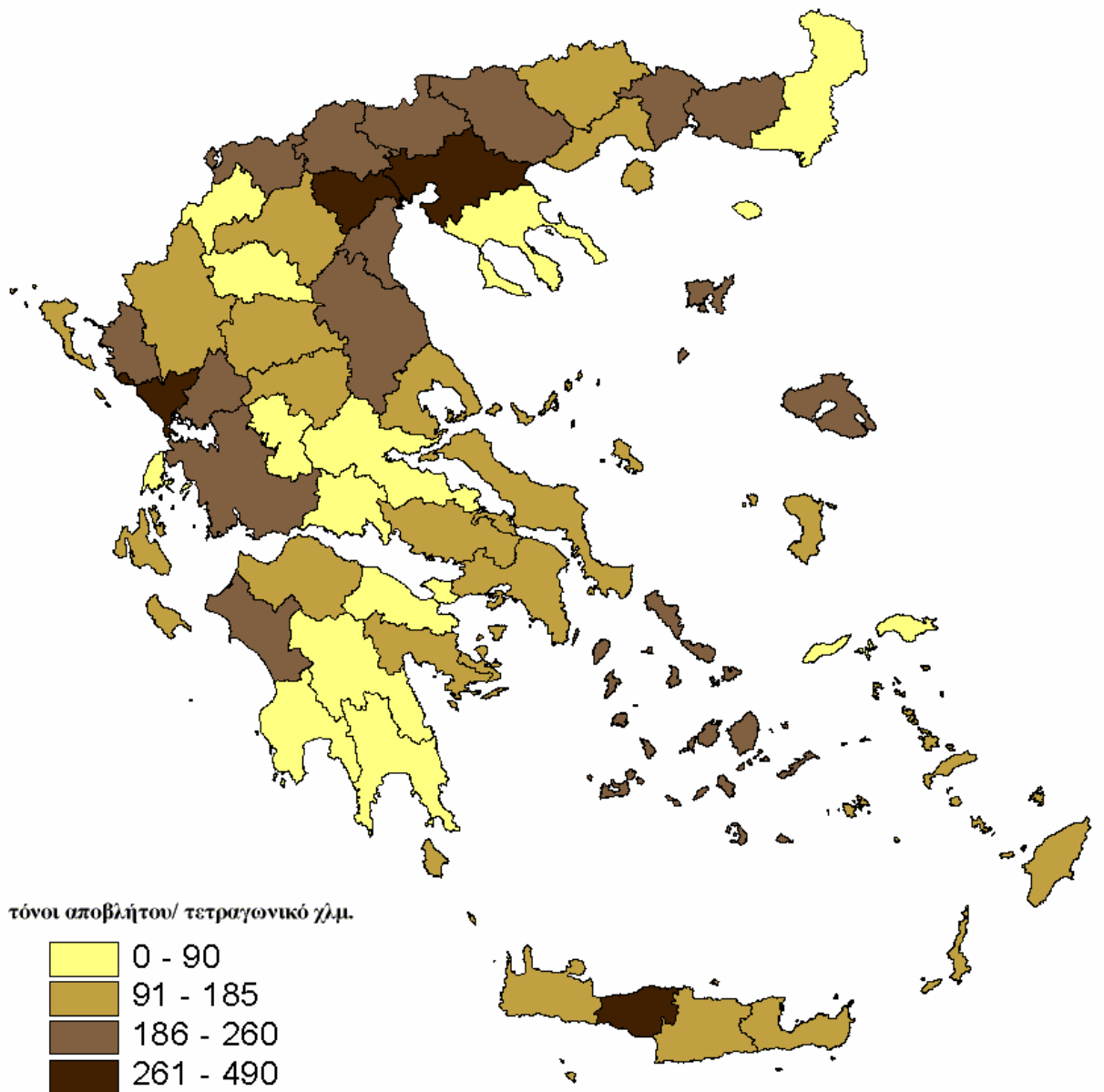
Σχήμα 3.12 Εξέλιξη του εκτιμώμενου συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων στην ελληνική επικράτεια από το 1970 έως το 1998 και πρόβλεψη μέχρι το 2010.

Έτσι, λοιπόν, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα έτη από το 1970 κι ύστερα, η τελική εικόνα χαρακτηρίζεται από πτωτική τάση, με το 2010 η τιμή του όγκου των αποβλήτων να φθάνει σε 17.5 εκατ. τόνους περίπου (12,1% χαμηλότερα από το 1998). Παρόλα αυτά αν λάβουμε υπόψη τη σταθεροποίηση των τελευταίων χρόνων και χωρίς να υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος μείωσης της κτηνοτροφικής δραστηριότητας στην Ελλάδα για τα αμέσως επόμενα χρόνια, θα μπορούσε επίσης να θεωρηθεί αρκετά πιθανό η πορεία του συνολικού όγκου των αποβλήτων μέχρι και το 2010 να κυμανθεί στα ίδια επίπεδα με το 1998. Εν αντιθέσει, σε καμία περίπτωση δεν υπάρχει η οποιαδήποτε ένδειξη που να προμηνύει κάποια αυξητική τάση και οπωσδήποτε μόνο μια διεξοδικότερη έρευνα για τις μελλοντικές τάσεις στο χώρο της κτηνοτροφίας θα μπορούσε να οδηγήσει σε ακριβέστερες προβλέψεις για το μέλλον.

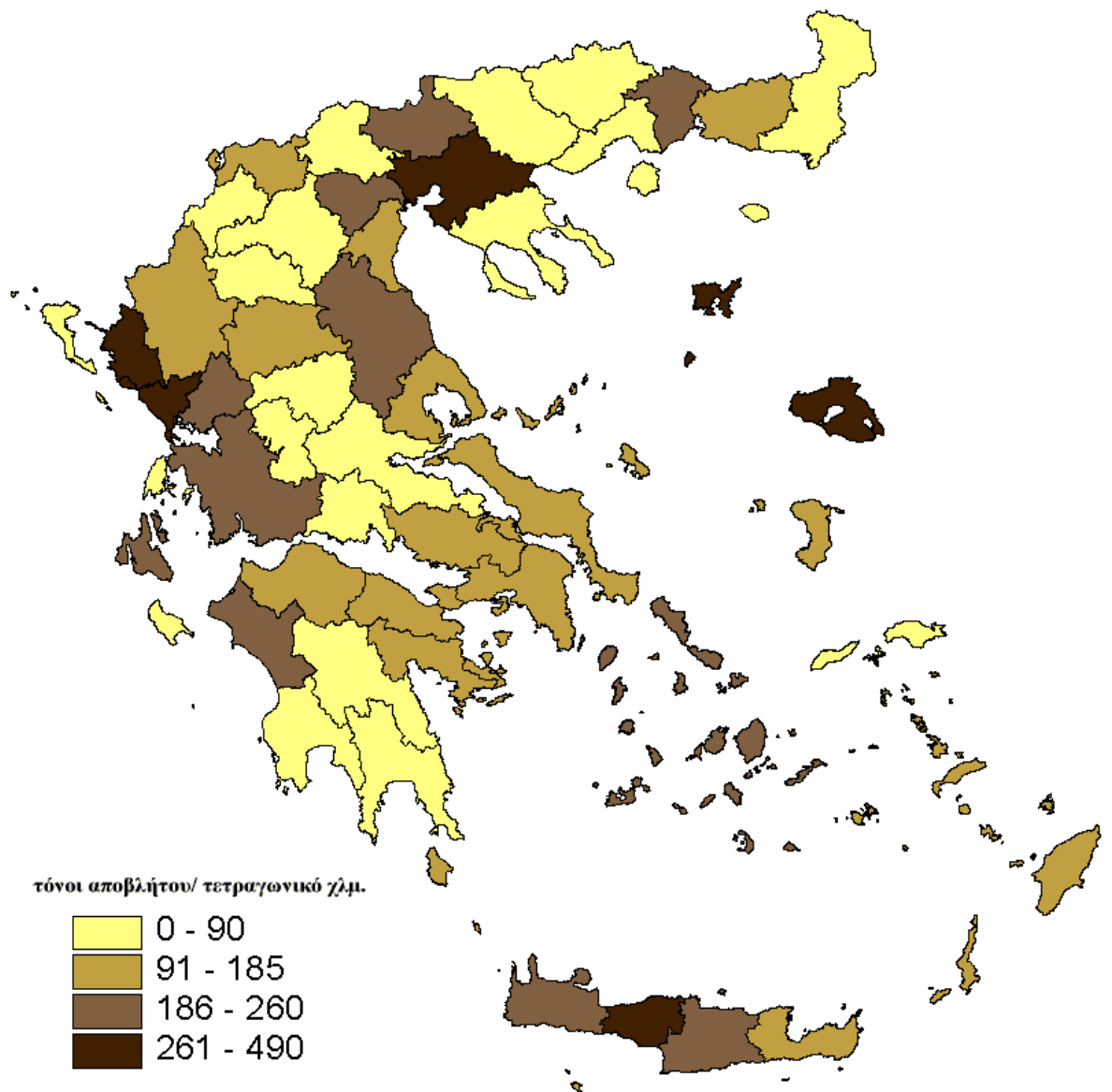
Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κατανομή του συνολικού όγκου των κτηνοτροφικών αποβλήτων στους 51 νομούς της χώρας. Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζεται ο χάρτης πυκνότητας των αποβλήτων ανά κατηγορίες μεγέθους για κάθε έναν από αυτούς σύμφωνα με τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία του 1998.

Στους νομούς με τη μεγαλύτερη πυκνότητα αποβλήτων συγκαταλέγονται οι Θεσσαλονίκης, Ημαθίας, Πρεβέζης και Ρεθύμνου. Ελέγχοντας τη δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους συναντάμε περιοχές κυρίως της δυτικής και βορείου Ελλάδας με το νομό Ηλείας να ξεχωρίζει από την Πελοπόννησο και το νομό Λέσβου μαζί με τις Κυκλάδες από τις νησιωτικές περιοχές.

Σημασία έχει να δούμε όμως και τον αντίστοιχο χάρτη έτσι όπως προκύπτει από την πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε για το 2010 (Σχήμα 3.14). Συγκρίνοντάς τον, μάλιστα, με αυτόν του σχήματος 3.13 διαφαίνονται κάποιες τάσεις στην κατανομή του συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων. Για παράδειγμα, ενώ στις περισσότερες περιοχές της δυτικής Ελλάδας η πυκνότητα των κτηνοτροφικών αποβλήτων παραμένει υψηλή και σε κάποιους νομούς αυξάνεται σημαντικά (Θεσπρωτίας και Κεφαλληνίας), η βόρεια Ελλάδα παρουσιάζει πτωτικές τάσεις. Συγκεκριμένα, από εκεί, ξεχωρίζει η πτώση κατά δύο κατηγορίες μεγέθους των νομών Σερρών και Πέλλας, καθώς και η μείωση στους περισσότερους νομούς της Μακεδονίας και Θράκης (με εξαίρεση τους νομούς Θεσσαλονίκης, Κιλκίς και Ξάνθης όπου παραμένει σταθερή). Ενδεικτικό είναι ότι δεν παρατηρείται άνοδος έστω και κατά μία κατηγορία μεγέθους για κανένα από τους νομούς των δύο αυτών γεωγραφικών περιοχών.



Σχήμα 3.13 Πυκνότητα συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων ανά κατηγορίες μεγέθους για τους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (εκτίμηση 1998).



Σχήμα 3.14 Πυκνότητα συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων ανά κατηγορίες μεγέθους για τους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (πρόβλεψη για το 2010).

Αντίθετα, εκτός από κάποιες περιοχές της δυτικής Ελλάδας που αναφέρθηκαν ήδη, ανοδικές τάσεις παρατηρούνται ακόμα στην Κρήτη, στο νομό Κορινθίας και στο νομό Λέσβου. Στη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010 συναντάμε και πάλι τους νομούς Θεσσαλονίκης, Ρεθύμνου και Πρεβέζης ενώ αντί για το νομό Ημαθίας αυτή τη φορά ξεχωρίζει μαζί με τους τελευταίους ο νομός Θεσπρωτίας.

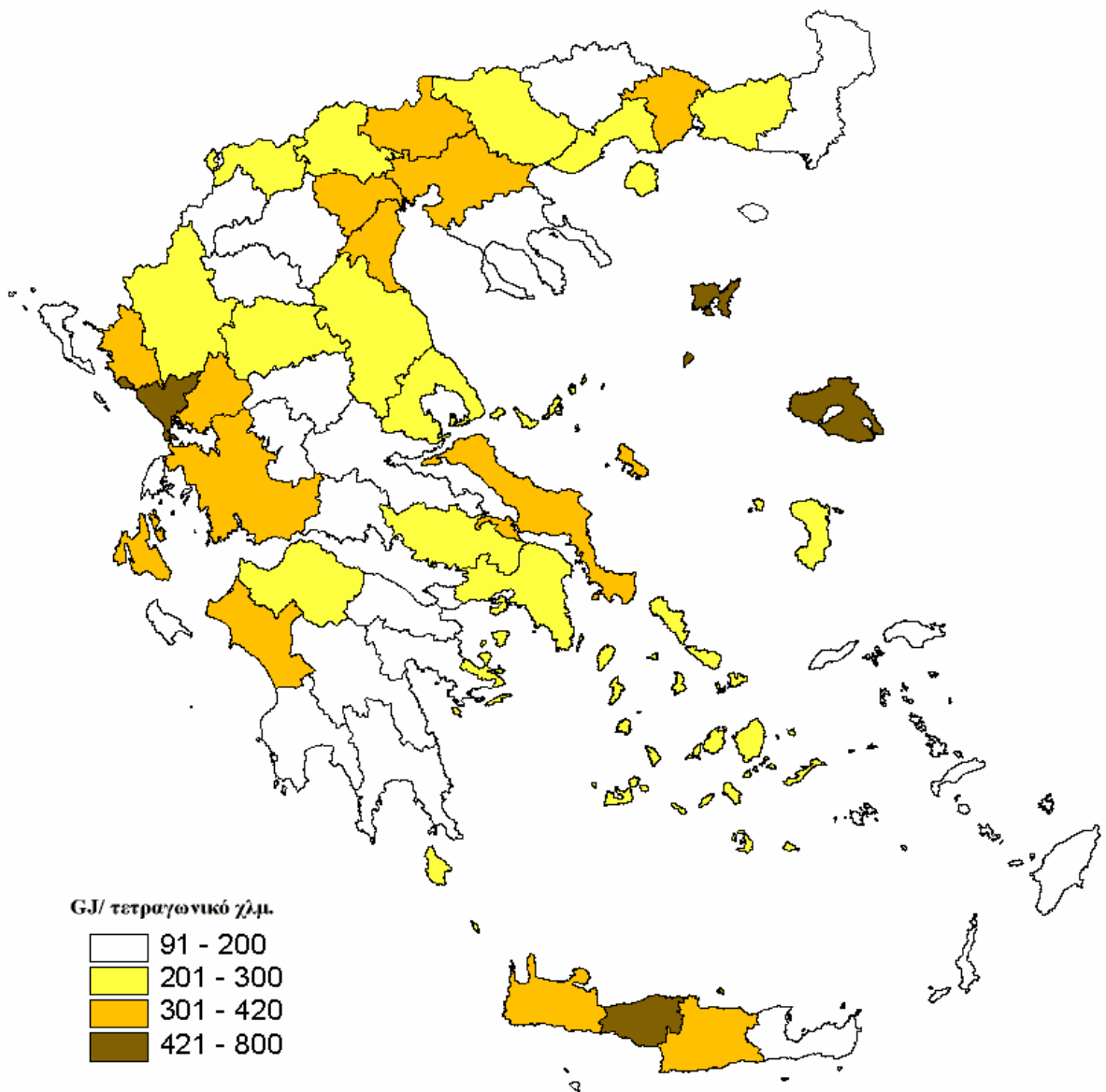
Μέσα από αυτούς τους χάρτες παρέχεται η πληροφορία για το μέγεθος της συγκέντρωσης και για την κατανομή της βιομάζας που προέρχεται από κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην Ελλάδα, καθώς επίσης και για το ποιες τάσεις ενδέχεται να επικρατήσουν σύμφωνα με την πρόβλεψη που πραγματοποιείται. Στους χάρτες ενεργειακής πυκνότητας και παραγωγής βιοαερίου, που αναφέρονται στις αντίστοιχες εκτιμήσεις (η παρουσίαση των οποίων γίνεται στα επόμενα κεφάλαια), προσφέρονται πληροφορίες για την πραγματοποίηση χρήσιμων συγκρίσεων.

3.2.3 Ενεργειακό Περιεχόμενο της Διαθέσιμης Ζωικής Βιομάζας

Το ποσό της ενέργειας που δυνητικά εμπεριέχεται στη ζωική βιομάζα και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί με την εφαρμογή ενεργειακών τεχνολογιών εκτιμάται για το σύνολο της Ελλάδος, με βάση τα στατιστικά στοιχεία για το 1998, σε περίπου 31.6 PJ/έτος. Για να καταστεί αντιληπτό το μέγεθος της ενέργειας, αναφέρεται πως το εν λόγω ποσό ισοδυναμεί με το 1/6 της ενέργειας που καταναλώνεται σε ετήσια βάση στον βιομηχανικό τομέα της χώρας [ICAP, 2000].

Από τις έξι κύριες κατηγορίες ζωικών ειδών, ως ο μεγαλύτερος ενεργειακός παραγωγός εμφανίζεται ο πληθυσμός των αιγοπροβάτων, το μέρισμα του οποίου επί του συνόλου της Ελλάδας ξεπερνάει κατά πολύ το μισό (για την ακρίβεια ανέρχεται σε 59.8%). Εν συνεχεία, σημαντική είναι η συμμετοχή των βοοειδών σε ποσοστό 20.1%, ενώ κάτω από το 10% του μερίσματος αναλογεί ανά περίπτωση στα χοιροειδή (9.3%) και στα πουλερικά (8.9%) με τη συνεισφορά των δύο υπολοίπων κατηγοριών να περιορίζεται στο ελάχιστο.

Όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή στην ελληνική επικράτεια της διαθέσιμης ενέργειας από ζωική βιομάζα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.15, όπου φαίνεται ο χάρτης της Ελλάδος ανά κατηγορίες μεγέθους ενεργειακής πυκνότητας στους 51 νομούς της χώρας. Οι νομοί Πρεβέζης, Ρεθύμνου και Λέσβου είναι αυτοί που ξεχωρίζουν καθώς εντάσσονται στη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους ενεργειακής πυκνότητας (421 με 800 GJ/km²). Σημαντικό ενεργειακό δυναμικό



Σχήμα 3.15 Ενεργειακή πυκνότητα της διαθέσιμης ζωικής βιομάζας ανά κατηγορίες μεγέθους για τους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (εκτίμηση 1998).

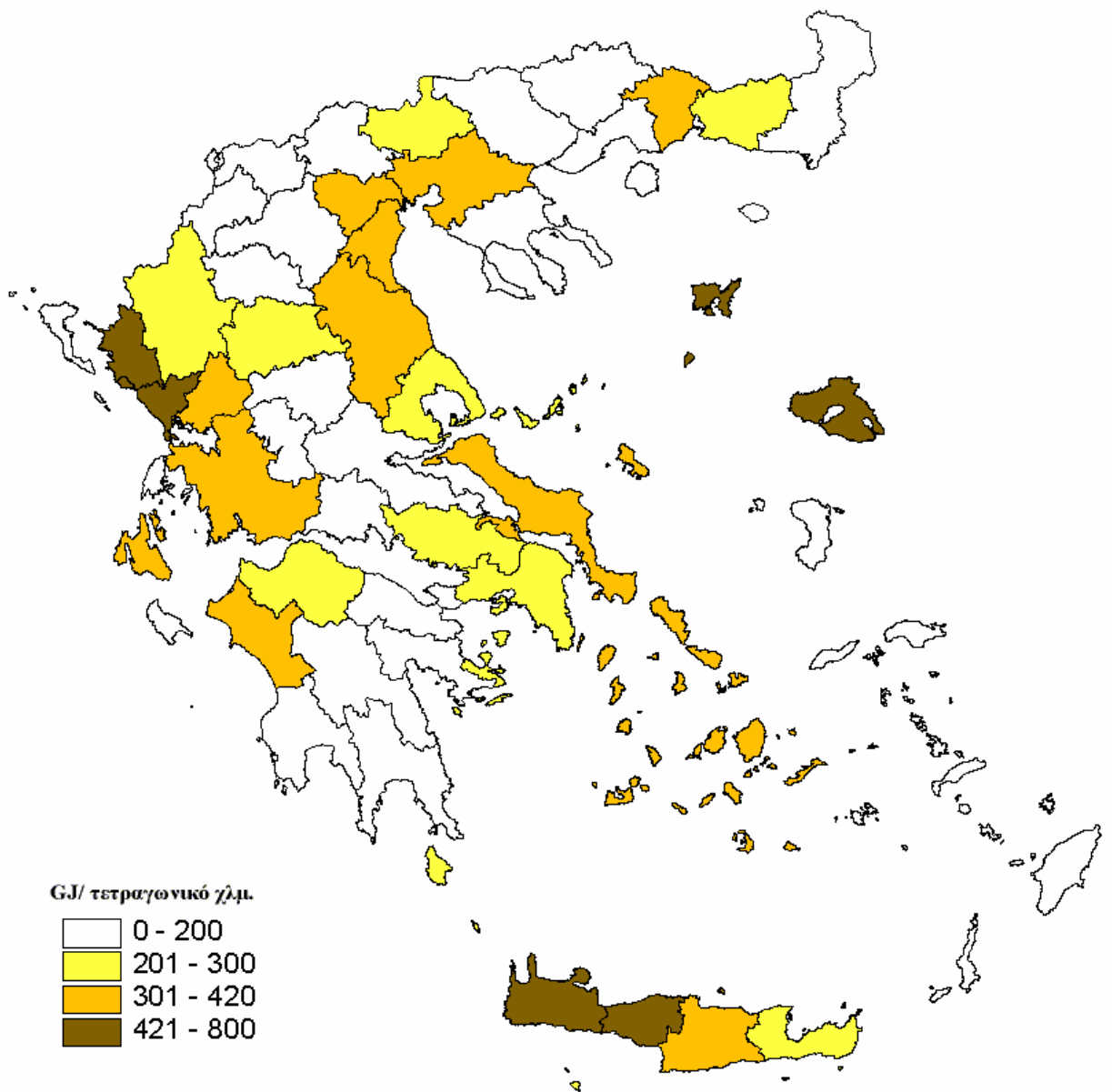
παρατηρείται, επίσης, γενικότερα στην Κρήτη και σε περιοχές της δυτικής ηπειρωτικής χώρας, στην Εύβοια καθώς και σε ορισμένους νομούς της βόρειας Ελλάδας (Θεσσαλονίκης, Ημαθίας, Πιερίας, Κιλκίς και Ξάνθης). Αντιθέτως, μικρές τιμές της ενεργειακής πυκνότητας συναντάμε κατά κύριο λόγο στην κεντρική ηπειρωτική χώρα, στην Πελοπόννησο (με εξαίρεση το νομό Ηλείας) και στον υπόλοιπο νησιωτικό χώρο (με εξαίρεση την Κεφαλονιά).

Αναφορικά με την πρόβλεψη για το 2010, η εκτιμώμενη ποσότητα ενέργειας από τα διαθέσιμα ζωικά απόβλητα λογίζεται αυτή τη φορά σε 31.2 PJ (μειούμενη σε ποσοστό σχεδόν 1.3% εν συγκρίσει με το 1998). Παρόλα αυτά, η εν λόγω εκτίμηση είναι απόρροια της αντίστοιχης πρόβλεψης για το συνολικό όγκο των κτηνοτροφικών αποβλήτων όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 3.12, οπότε και είχαμε αναφερθεί εναλλακτικά με την προοπτική μείωσής του, στην πιθανή σύμφωνα με τα στοιχεία των τελευταίων ετών σταθεροποιητική τάση εξέλιξής του.

Ακολουθώντας στην πρόβλεψη του 2010 τη λογική της γραμμικής παλινδρόμησης για τον καθέναν από τους 51 νομούς ξεχωριστά, η εικόνα του χάρτη με την ενεργειακή πυκνότητα της διαθέσιμης ζωικής βιομάζας διαφοροποιείται σύμφωνα με το Σχήμα 3.16. Ανοδικές τάσεις διαφαίνονται στην Κρήτη, τις Κυκλάδες και στους νομούς Θεσπρωτίας και Θεσσαλίας, ενώ κατά μία κατηγορία μεγέθους μικρότερη από αυτή που ανήκαν το 1998 κινούνται, σχεδόν αποκλειστικά, πολλοί νομοί του γεωγραφικού διαμερίσματος της Μακεδονίας (Κιλκίς, Σερρών, Καβάλας, Φλωρίνης και Πέλλας). Κάτι τέτοιο αντικατοπτρίζει την εκτιμώμενη, με βάση τα διαθέσιμα πρωτογενή στοιχεία των τελευταίων περίπου 30 ετών, πτώση της κτηνοτροφικής δραστηριότητας σε περιοχές της βορείου Ελλάδας, κάτι που επισημάνθηκε στην αντίστοιχη σύγκριση των σχημάτων 3.13 και 3.14 με τους χάρτες του συνολικού όγκου κτηνοτροφικών αποβλήτων.

3.3 Αξιοποίηση Ζωικής Βιομάζας

Η απορριπτόμενη βιομάζα από τα απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων στην Ελλάδα αποτελεί μια σημαντική πηγή ενέργειας, που παραμένει όμως ανεκμετάλλευτη μέχρι σήμερα για λόγους που σχετίζονται κατά κύριο λόγο με το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης (που αποθαρρύνει την ιδιωτική πρωτοβουλία), τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής υπαίθρου (έντονο ανάγλυφο, μικρές και απομακρυσμένες μεταξύ τους κτηνοτροφικές μονάδες) και την έλλειψη συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών τοπικών συντελεστών παραγωγής.



Σχήμα 3.16 Ενεργειακή πυκνότητα της διαθέσιμης ζωικής βιομάζας ανά κατηγορίες μεγέθους για τους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (πρόβλεψη για το 2010).

Παρόλα αυτά, σε τοπική κλίμακα, η ανακύκλωση ενός μικρού μέρους των κτηνοτροφικών αποβλήτων επιτυγχάνεται ήδη με τη χρησιμοποίηση του ζωικού υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικού σε γεωργικές εκτάσεις ή και σαν διατροφικό συμπλήρωμα για τα ίδια τα ζώα της κτηνοτροφικής μονάδας.

Εξετάζοντας διαχειριστικές μεθόδους αξιοποίησης του βιοδυναμικού κτηνοτροφικών αποβλήτων σε ευρύτερη κλίμακα, από τεχνικής άποψης η αναερόβια επεξεργασία θεωρείται η κατάλληλότερη τεχνολογία. Και αυτό διότι σύμφωνα με τις βιογραφικές αναφορές, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η τιμή του λόγου συγκέντρωσης C/N στη σύνθεση των κτηνοτροφικών αποβλήτων είναι μικρότερη από 30 (Πίνακας 3.1), γεγονός που όπως προαναφέρθηκε καθιστά την αναερόβια επεξεργασία κατάλληλη μέθοδο αξιοποίησης του ενεργειακού τους περιεχομένου. Επίσης η περιεχόμενη υγρασία των αποβλήτων είναι συνήθως μεγαλύτερη από 50% από την πηγή προέλευσης τους, που σημαίνει ότι δεν απαιτείται ανάμιξη με νερό πριν οδηγηθούν σε κάποια μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας (βλέπε κεφάλαιο 2.3).

Παρακάτω εκτιμάται η ποσότητα σε βιοαέριο που δύναται να παραχθεί από την αναερόβια επεξεργασία κτηνοτροφικών αποβλήτων στην ελληνική επικράτεια, καθώς και η δυνατότητα εισαγωγής στο υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου. Αφού προηγηθεί η κατάλληλη επεξεργασία για την αναβάθμιση του, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου.

3.3.1 Εκτίμηση για την Παραγωγή Βιοαερίου

Λαμβάνοντας υπόψη το διαθέσιμο βιοδυναμικό ζωικών αποβλήτων για το έτος βάσης (1998), η ποσότητα σε βιοαέριο που δύναται να παραχθεί με αναερόβια επεξεργασία τους εκτιμάται για το σύνολο της Ελλάδας, ότι είναι περίπου ίση με 434 εκατομμύρια m³ ανά έτος. Εφόσον 1 λίτρο ελαφρύ πετρελαίου (Diesel) ισοδυναμεί με 1.5-2.07 m³ βιοαερίου [Polprasert, 1996], προκύπτει ότι τα 434 εκατομμύρια m³ ισοδυναμούν με περίπου 210-289 χιλιάδες χιλιόλιτρα. Κατά αντιστοιχία μπορούμε να πούμε, επομένως, ότι η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή βιοαερίου ισοδυναμεί περίπου με κάτι παραπάνω από τη μισή ετήσια καταναλισκόμενη ποσότητα πετρελαίου Diesel από το σύνολο των πετρελαϊκών θερμοηλεκτρικών σταθμών της χώρας, η οποία κυμαίνεται στα επίπεδα των 380-425 χιλιάδων χιλιόλιτρων [ICAP, 2000].

<i>Κατηγορία Υποστρώματος</i>	<i>Περιεκτικότητα σε N [% κ. β. (*)]</i>	<i>Τιμή του λόγου C/N</i>
Βοοειδή	0,4-0,5	15-25
Χοίροι	0,6-0,8	6-13
Αιγοπρόβατα	1,0-1,1	17-33
Πουλερικά	1,2-1,4	5-10
Ιπποειδή	0,5-0,6	23-25
Κουνέλια	1,1-1,2	-

(*) κ.β. = κατά βάρος

Πίνακας 3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ανά είδος αποβλήτου ζωικής προελεύσεως. Περιοχές διακύμανσης τιμών χαρακτηριστικών μεγεθών από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές.

Επιπρόσθετα, αν θεωρήσουμε μια μέση τιμή της θερμογόνου δύναμης του βιοαερίου ότι είναι ίση με 21.6 MJ/m^3 [ISAT, 2000], τότε η εν λόγω εκτιμούμενη ποσότητα αντιστοιχεί σε 9372 TJ ανά έτος. Αυτό είναι, δηλαδή, το μέγιστο ποσό της ενέργειας που θεωρητικά μπορεί να αποδοθεί από τα 434 εκατομμύρια m^3 βιοαερίου. Όμως, πρέπει να προσεχθεί ότι το καθαρό ποσό ενέργειας εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης των εφαρμογών τελικής χρήσης που θα οδηγηθεί.

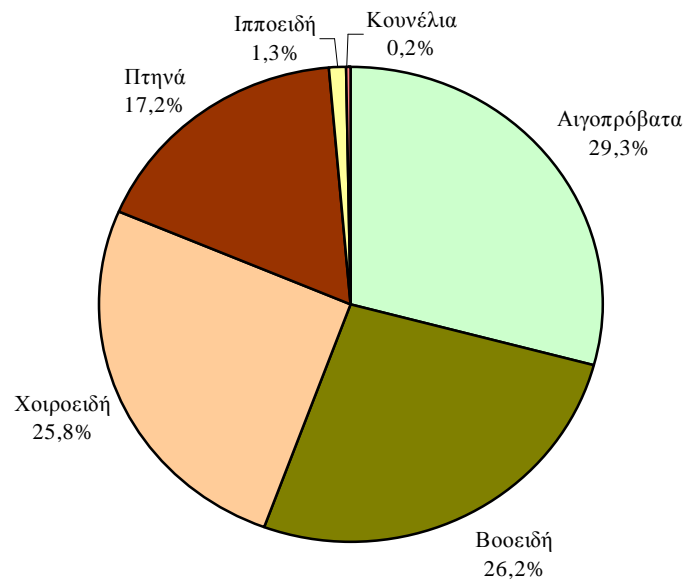
Το μέρισμα για κάθε μία από τις κατηγορίες ζωικών ειδών στη συνολικά εκτιμούμενη παραγωγή βιοαερίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.17(i). Σε αυτό το σχήμα φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό προέρχεται από την κατηγορία των αιγοπροβάτων με συμμετοχή που φθάνει το 29.3%, ενώ σημαντικές ποσότητες βιοαερίου προέρχονται από τις κατηγορίες των βοοειδών και των χοιροειδών με τη συμμετοχή τους να είναι ίση με 26.2% και 25.8% αντίστοιχα. Από την άλλη, πολύ μικρή κρίνεται η συμμετοχή των ιπποειδών (1.3%) και πολύ περισσότερο των κουνελιών (0.2%) που δεν μπορεί πλέον παρά να θεωρούνται αμελητέες.

Εν συνεχεία, στο Σχήμα 3.18 απεικονίζεται γραφικά η εξέλιξη της εκτιμούμενης παραγωγής σε βιοαέριο για την περίοδο 1970-1998, καθώς και η αντίστοιχη πρόβλεψη μέχρι το έτος 2010. Η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας την ίδια μέθοδο με αυτήν που περιγράφηκε αναλυτικά στην περίπτωση του συνολικού όγκου των κτηνοτροφικών αποβλήτων του σχήματος 3.12. Όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρούνται ομοιότητες μεταξύ των δύο αυτών γραφημάτων, μιας και η παραγωγή βιοαερίου εξαρτάται άμεσα από την απορριπτόμενη βιομάζα.

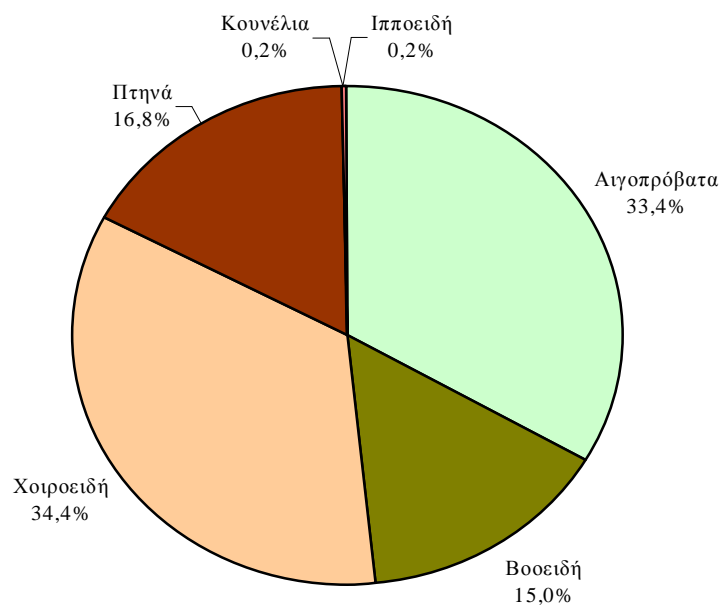
Αυτό που αξίζει να προσεχθεί είναι ότι από την πρόβλεψη για την παραγωγή βιοαερίου παρόλο που προκύπτει πτωτική τάση στην εξέλιξη της μέχρι το 2010, όπως και για τον συνολικό όγκο των κτηνοτροφικών αποβλήτων, εντούτοις εκτιμάται ότι ο ρυθμός της μείωσης θα είναι μικρότερος. Βέβαια, όσον αφορά τις πιθανές αστοχίες της πρόβλεψης αυτής ισχύει και εδώ ότι έχει προαναφερθεί στην περιγραφή του σχήματος 3.12.

Έτσι, λοιπόν, το 2010 προβλέπεται ότι η παραγωγή βιοαερίου για το σύνολο της Ελλάδος δεν θα ξεπερνάει σε ποσότητα τα 424 εκατομμύρια m^3 . Θα κυμαίνεται, δηλαδή, σε επίπεδα της τάξεως του 2.3% χαμηλότερα από την εκτιμούμενη αντίστοιχη ποσότητα για το 1998. Εν τω μεταξύ, όμως, το μέρισμα για κάθε μία από τις κατηγορίες ζωικών ειδών προβλέπεται διαφορετικό για την πρόβλεψη του 2010, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.17(ii).

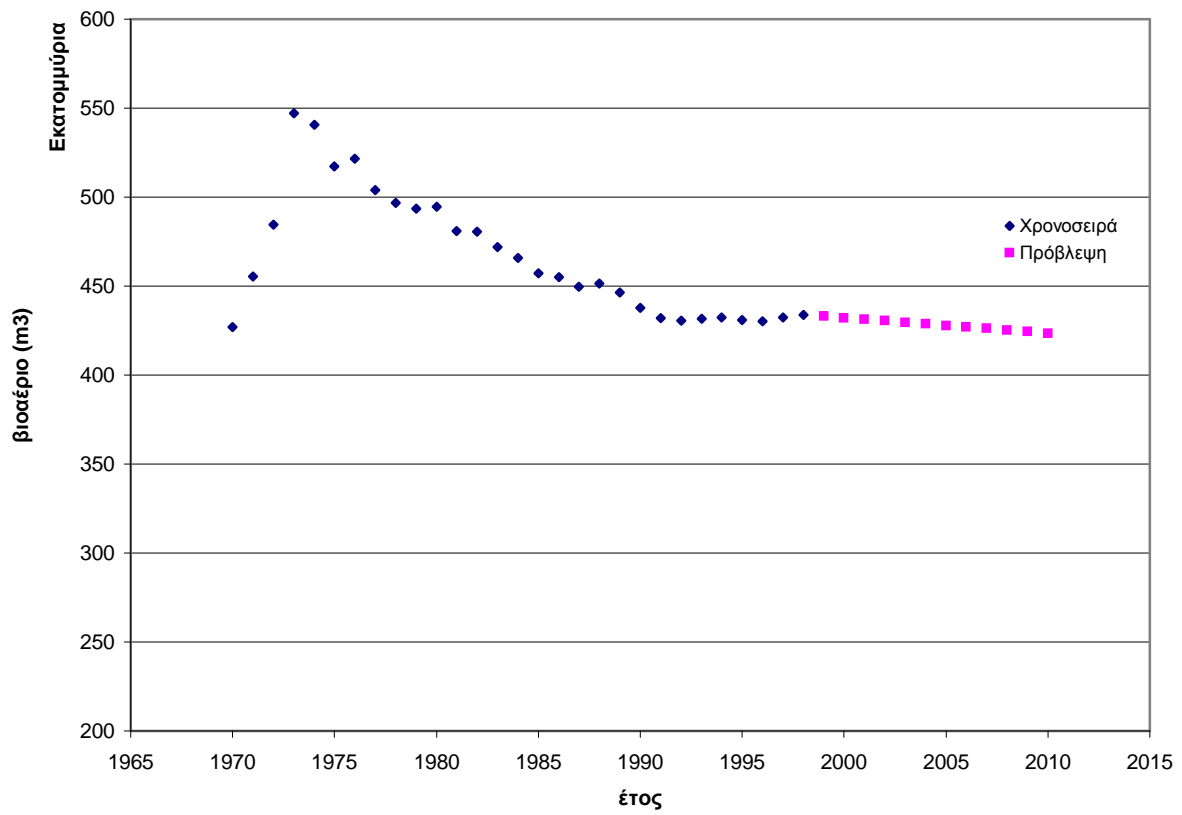
I.



II.



Σχήμα 3.17 Ποσοστό συμμετοχής για κάθε μία από τις κατηγορίες ζωικών ειδών στην εκτιμώμενη παραγωγή βιοαερίου για το σύνολο της Ελλάδος:
(i) τη χρονιά του 1998
(ii) πρόβλεψη για το 2010



Σχήμα 3.18 Εκτιμούμενη παραγωγή βιοαερίου από απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων στην ελληνική επικράτεια από το 1970 έως το 1998 και πρόβλεψη μέχρι το 2010.

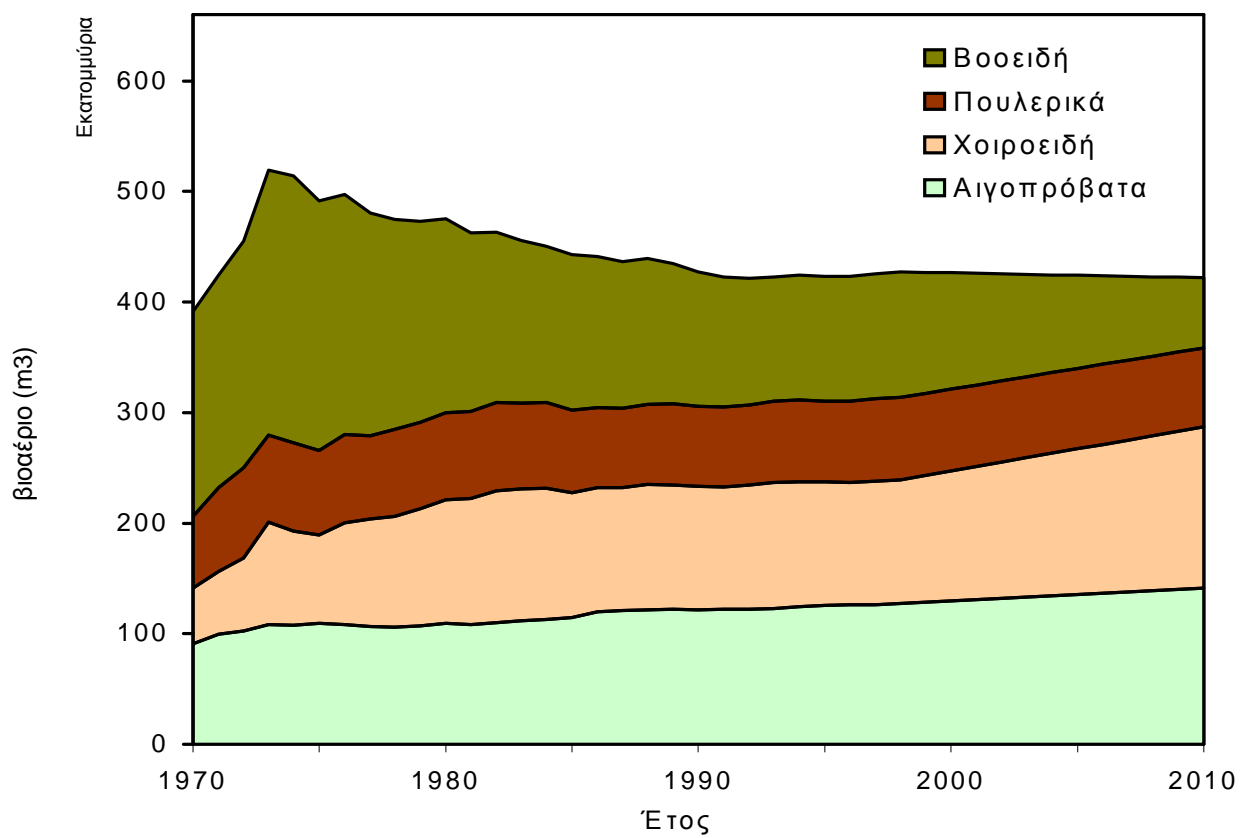
Σε σχέση με το 1998, οι κατηγορίες των αιγοπροβάτων και των χοιροειδών αυξάνουν το ποσοστό συμμετοχής τους στη συνολικά προβλεπόμενη παραγωγή βιοαερίου σε 33.4% και 34.4% αντίστοιχα. Μάλιστα, η αύξηση για τα χοιροειδή είναι ιδιαίτερα σημαντική (κατά 8.6 ποσοστιαίες μονάδες), καθώς οριακά το μέρισμά τους ξεπερνά πλέον εκείνο των αιγοπροβάτων. Αντίθετα για τη συμμετοχή των βοοειδών (15%) προβλέπεται σημαντικά μεγάλη πτώση συγκριτικά με το 1998 κατά 11 περίπου ποσοστιαίες μονάδες. Έτσι, τα βοοειδή από το δεύτερο μεγαλύτερο παραγωγό συγκαταλέγονται πλέον για το 2010 στον τέταρτο, αφού το μέρισμα για την κατηγορία των πτηνών παραμένει σχεδόν σταθερό (ίσο αυτή τη φορά με 16.8%). Για τα ιπποειδή η συμμετοχή - ακολουθώντας τη μεγάλη πτώση στον πληθυσμό τους - προβλέπεται ακόμα πιο μικρή, φτάνοντας μάλιστα στα επίπεδα της κατηγορίας των κουνελιών (0.2%).

Έχοντας, λοιπόν, υπόψη τους τέσσερις μεγαλύτερους παραγωγούς η συμμετοχή τους στην εξέλιξη της εκτιμώμενης παραγωγής βιοαερίου αποκτά μεγαλύτερη σπουδαιότητα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.19. Και αυτό διότι ουσιαστικά προκύπτει ότι η πτώση που διαφαίνεται στο σχήμα 3.18 σχετίζεται αποκλειστικά με την κατηγορία των βοοειδών. Στην περίπτωση μάλιστα που συνεκτιμάται η συμμετοχή των τριών υπόλοιπων κατηγοριών (αιγοπρόβατα, χοιροειδή και πουλερικά) η τάση διαγράφεται ανοδική.

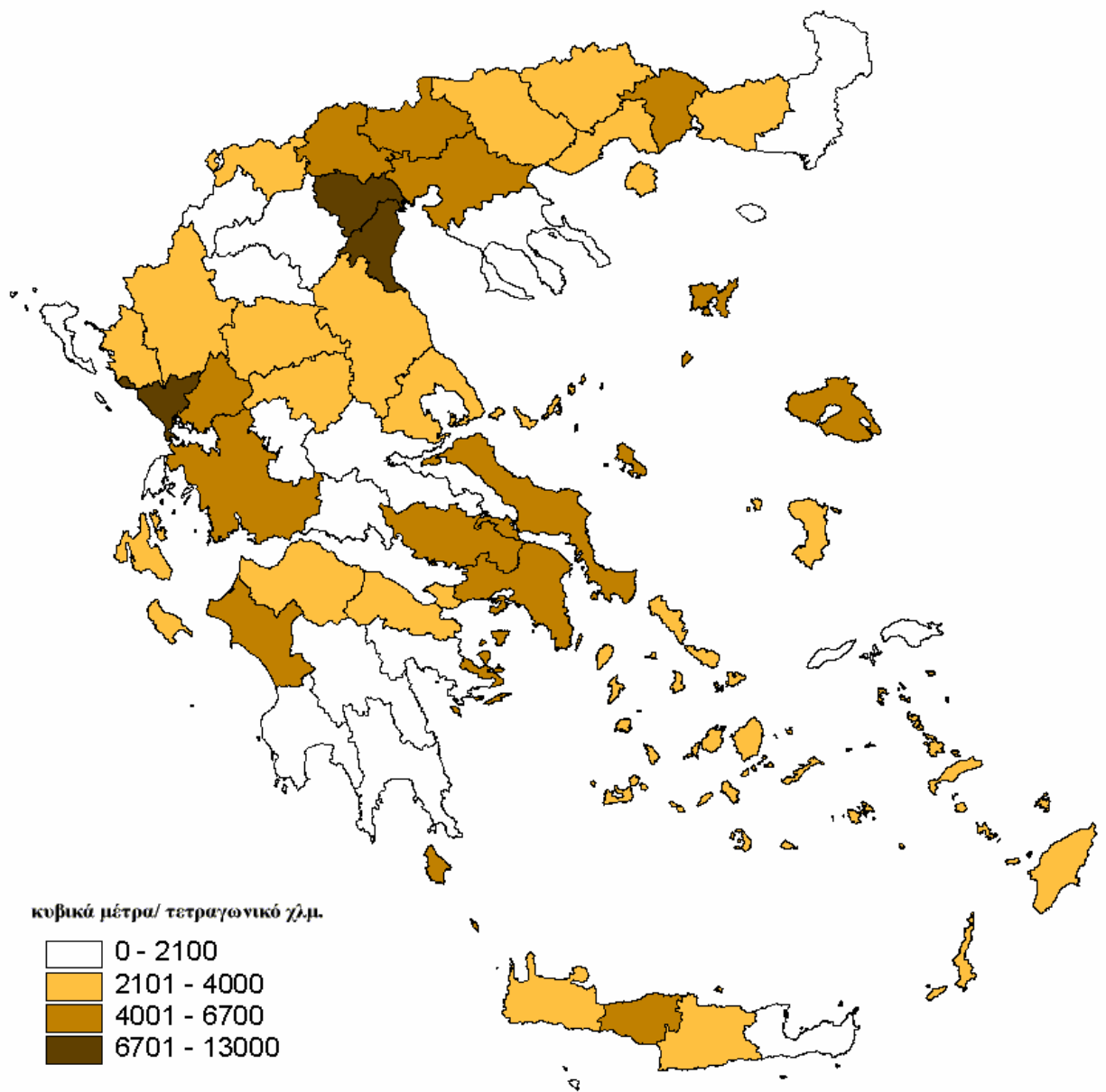
Επίσης, σημαντική είναι η κατανομή της εκτιμώμενης ποσότητας βιοαερίου στον ελλαδικό χώρο. Στο Σχήμα 3.20 παρατίθεται ο χάρτης πυκνότητας ανά κατηγορίες μεγέθους για κάθε ένα από τους 51 νομούς της χώρας. Οι περιοχές όπου συναντάμε τη μεγαλύτερη παραγωγικότητα βιοαερίου απαντώνται τους νομούς Πρεβέζης, Πιερίας και Ημαθίας, οι οποίοι συγκαταλέγονται στη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους ($6701-13000 \text{ m}^3/\text{km}^2$).

Στη συνέχεια, ελέγχοντας τη δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους ($4001-6700 \text{ m}^3/\text{km}^2$) διαπιστώνουμε ότι σημαντικό δυναμικό διαθέτουν αρκετές περιοχές της δυτικής ηπειρωτικής χώρας (Άρτα, Αιτωλοακαρνανία, Ηλεία), νομοί της βορείου Ελλάδος (Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Πέλλας και Ξάνθης), ενώ από τη νησιωτική χώρα ξεχωρίζουν οι νομοί Ρεθύμνου και Λέσβου. Στην ίδια κατηγορία συγκαταλέγονται και οι νομοί Αττικής, Ευβοίας και Βοιωτίας. Τέλος, στις μικρότερες κατηγορίες συναντάμε κατά κύριο λόγο περιοχές της κεντρικής ηπειρωτικής χώρας και στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου.

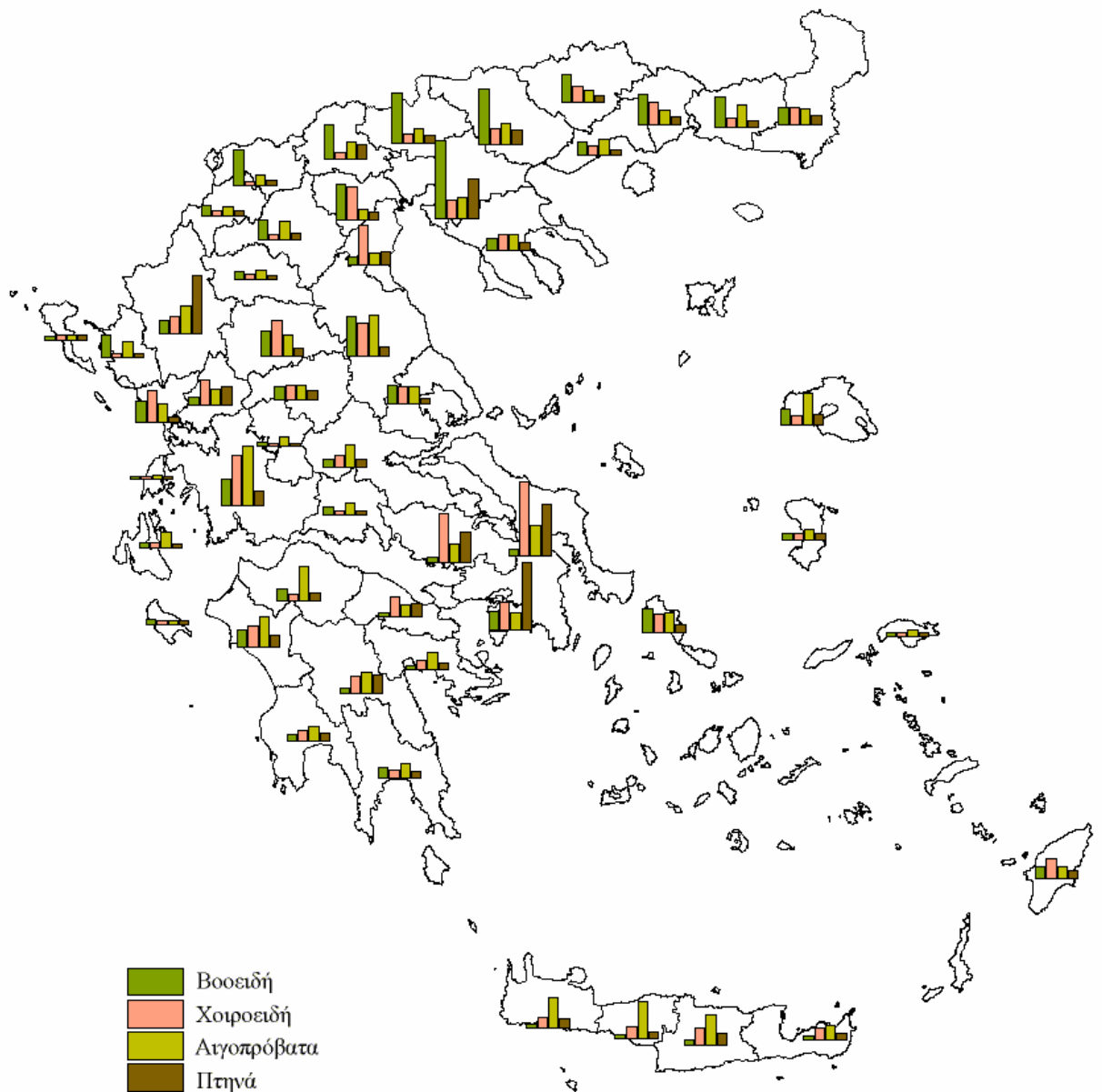
Εξαιρετικά χρήσιμες στη λήψη αποφάσεων για το σχεδιασμό ενός δικτύου αξιοποίησης του δυναμικού σε βιοαέριο είναι και οι πληροφορίες που παρέχει ο



Σχήμα 3.19 Χρονική εξέλιξη της εκτιμώμενης παραγωγής βιοαερίου στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας λαμβάνοντας υπόψη τη συμμετοχή των τεσσάρων μεγαλύτερων κατηγοριών-παραγωγών.



Σχήμα 3.20 Πυκνότητα παραγωγής βιοαερίου ανά κατηγορίες μεγέθους για τους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (εκτίμηση 1998).



Σχήμα 3.21 Συγκριτική απεικόνιση ανά νομό της συμμετοχής στην παραγωγή βιοαερίου για τους τέσσερις μεγαλύτερους παραγωγούς (εκτίμηση 1998).

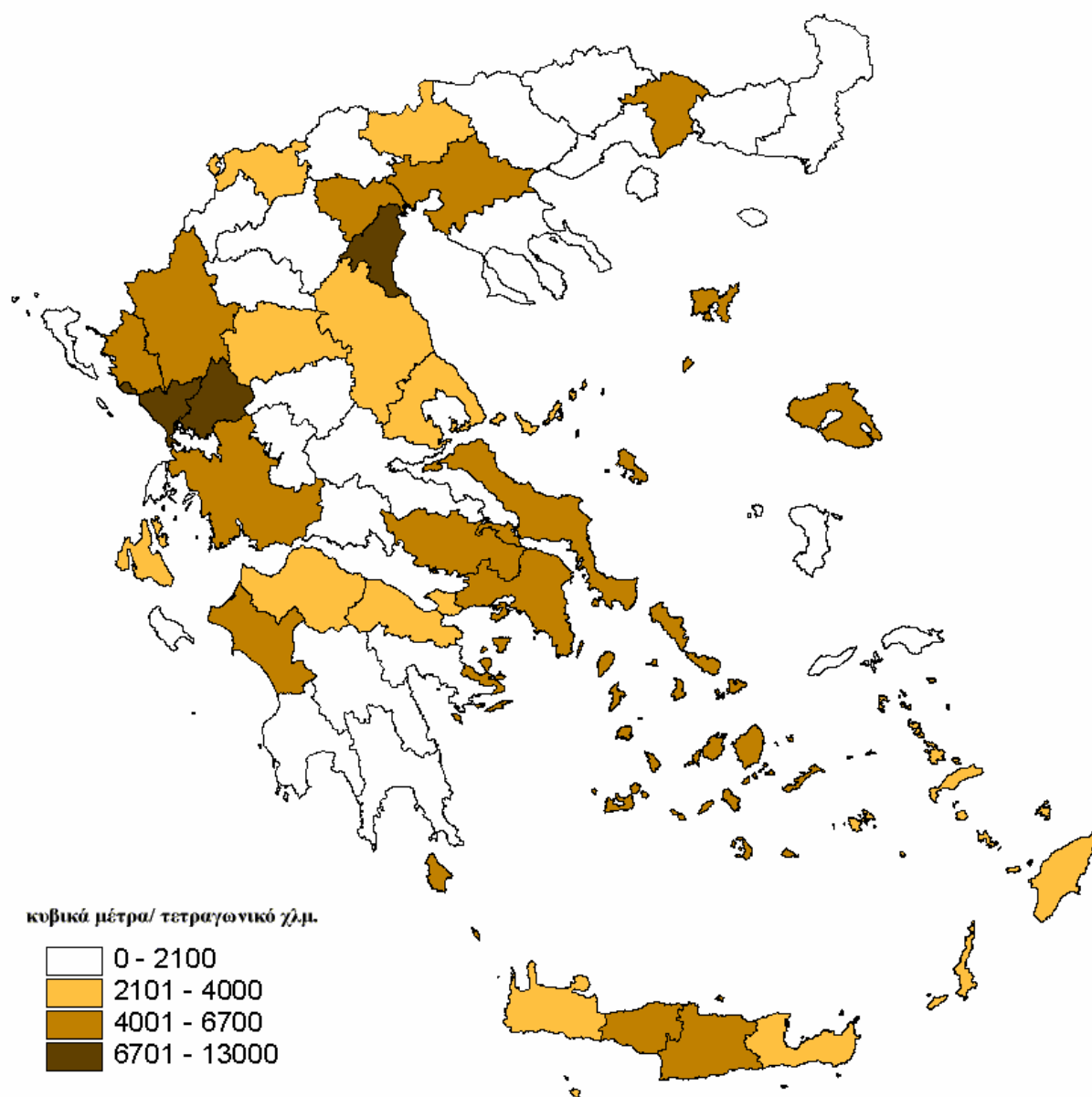
χάρτης του Σχήματος 3.21. Σε κάθε νομό το ύψος των κάθετων στηλών αναλογεί στο ποσοστό συμμετοχής για τους 4 μεγαλύτερους παραγωγούς (αιγοπρόβατα, χοιροειδή, βοοειδή και πουλερικά) στη συνολική ποσότητα βιοαερίου που εκτιμάται ότι δύναται να παραχθεί.

Παρατηρείται, λοιπόν, ότι σχεδόν σε όλη τη βόρεια Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό του βιοαερίου προέρχεται από τα βοοειδή, ενώ όσο πάμε νότια συναντάμε όλο και περισσότερους νομούς όπου το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των αιγοπροβάτων. Μάλιστα σε όλους τους νομούς της Κρήτης και της Πελοποννήσου (με εξαίρεση το νομό Κορινθίας) τα αιγοπρόβατα παρουσιάζουν πάντοτε τη μεγαλύτερη συμμετοχή. Βέβαια μια τέτοια εικόνα ήταν αναμενόμενη, μιας και η γεωγραφική εξάπλωση των βοοειδών παρουσιάζεται αυξημένη στις βόρειες περιοχές της χώρας (σχήμα 3.5), ενώ των αιγοπροβάτων στις κεντρικές και νότιες (σχήμα 3.7).

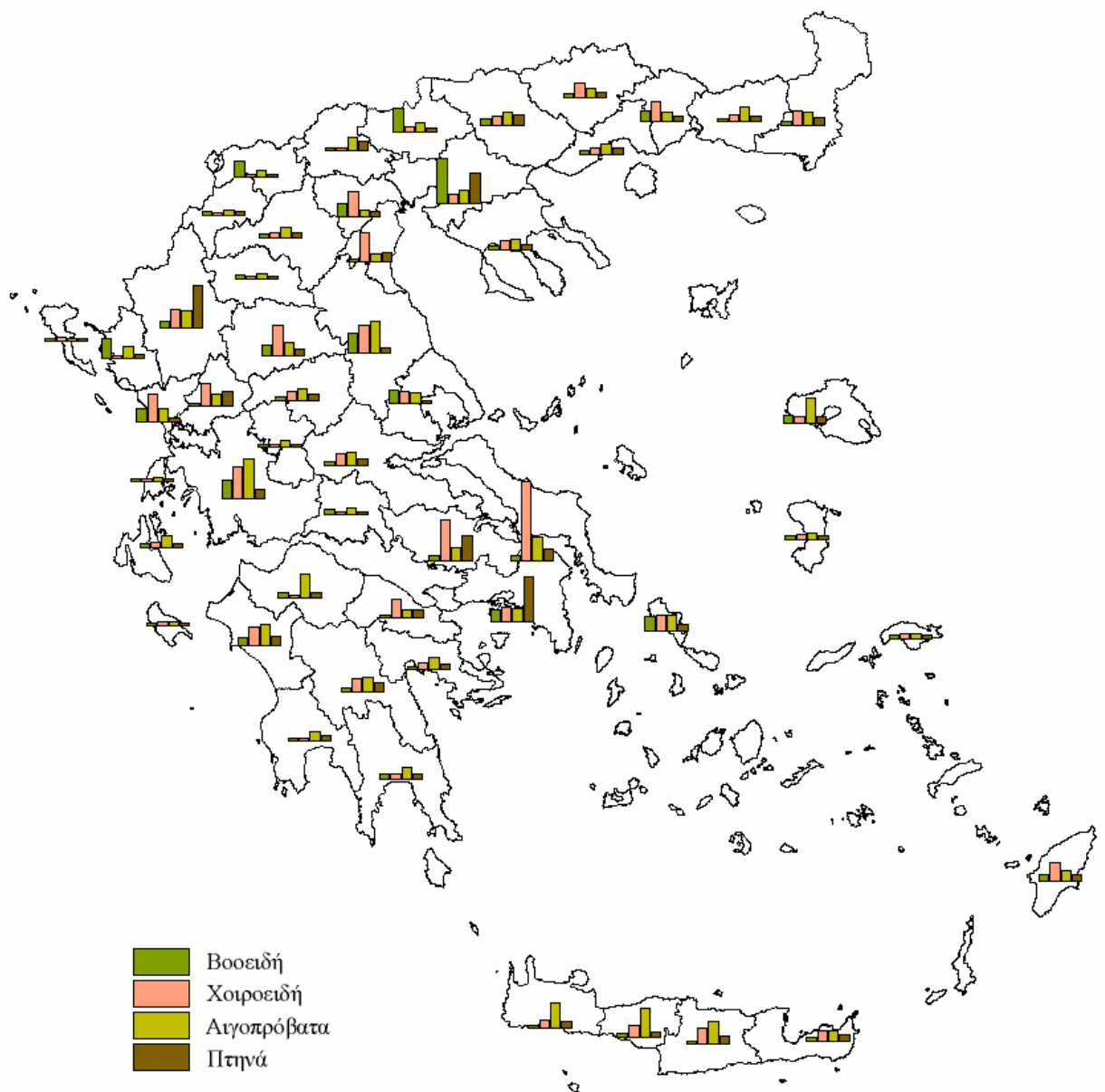
Ύψιστης σημασίας είναι η εικόνα που παρουσιάζεται στους νομούς με τις μεγαλύτερες πυκνότητες στην παραγωγή βιοαερίου όπως τους εντοπίσαμε στην περιγραφή του σχήματος 3.20. Σε πολλούς από αυτούς το μεγαλύτερο ποσοστό προέρχεται από τα χοιροειδή (νομοί Πρεβέζης, Άρτας, Πιερίας, Ευβοίας και Βοιωτίας), επίσης σημαντική όμως είναι και η συμμετοχή τους στους νομούς Ημαθίας και Αιτωλοακαρνανίας. Όσον αφορά την κατηγορία των πουλερικών (ή πτηνών) το ποσοστό συμμετοχής τους παρουσιάζεται αυξημένο στους νομούς Αττικής, Ευβοίας και Ιωαννίνων, με τον τελευταίο όμως να μη συγκαταλέγεται στους νομούς με μεγάλη πυκνότητα παραγωγής βιοαερίου.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα της πρόβλεψης για το 2010 αποτυπώνονται στους χάρτες των Σχημάτων 3.22 και 3.23. Συγκρίνοντας τον πρώτο με αυτόν του σχήματος 3.20 διαφαίνεται μια έντονη πτωτική τάση σε πολλούς νομούς της βορείου Ελλάδας. Ενδεικτικά αναφερόμαστε στην πτώση κατά δύο κατηγορίες μεγέθους του νομού Πέλλας και σε αυτή του νομού Ημαθίας που αυτή τη φορά δεν συγκαταλέγεται στη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους, στην οποία παραμένουν όμως οι νομοί Πρεβέζης και Πιερίας, αλλά και ο νομός Άρτας που κινείται ανοδικά. Αυξημένη προβλέπεται η παραγωγή βιοαερίου και στους υπόλοιπους νομούς του γεωγραφικού διαμερίσματος της Ηπείρου (Ιωαννίνων και Θεσπρωτίας), οι οποίοι όπως και στην περίπτωση του νομού Ηρακλείου στην Κρήτη συγκαταλέγονται για το 2010 στη δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους.

Στο Σχήμα 3.23 φαίνεται ότι οι πτωτικές τάσεις που επικρατούν σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010 στους περισσότερους νομούς της βόρειας Ελλάδας



Σχήμα 3.22 Πυκνότητα παραγωγής βιοαερίου ανά κατηγορίες μεγέθους για τους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (πρόβλεψη 2010).



Σχήμα 3.23 Συγκριτική απεικόνιση ανά νομό της συμμετοχής στην παραγωγή βιοαερίου για τους τέσσερις μεγαλύτερους παραγωγούς (πρόβλεψη 2010).

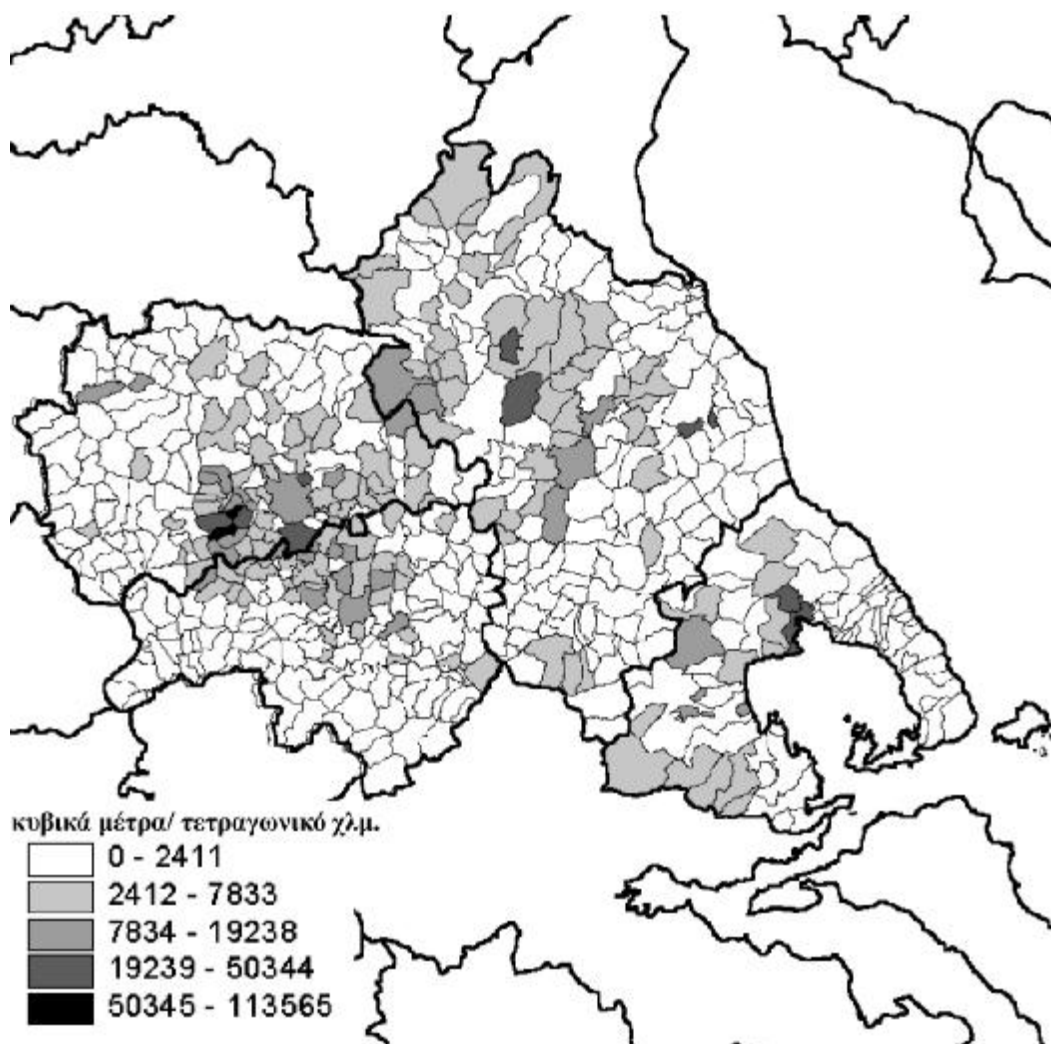
οφείλονται στη μείωση της συμμετοχής των βοοειδών, που με τη σειρά της είναι απόρροια της πτωτικής τάσης στην πληθυσμιακή τους εξέλιξη (σχήμα 3.1). Όσον αφορά τις αλλαγές στους υπόλοιπους νομούς της χώρας ξεχωρίζει η σημαντική μείωση του ποσοστού συμμετοχής των πτηνών στο νομό Ευβοίας και ο πρωταρχικός ρόλος των χοιροειδών στο νομό Άρτας.

Μια πιο λεπτομερή πρόβλεψη σε επίπεδο δήμων και κοινοτήτων κρίνεται σίγουρα απαραίτητη στη λήψη των όποιων αποφάσεων για τη χωροθέτηση μονάδων επεξεργασίας της απορριπτόμενης ζωικής βιομάζας. Σύμφωνα με το σχέδιο «ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΣ» οι 51 νομοί της χώρας (52 με το Αγ. Όρος) συμπεριλαμβάνουν περισσότερες από 1100 κοινότητες που προκύπτουν από τη συγχώνευση 6 χιλιάδων και πλέον δήμων της χώρας. Στο Σχήμα 3.24 δίνεται ο χάρτης πρόβλεψης βιοαερίου σε επίπεδο δήμων για τους 4 νομούς που συμπεριλαμβάνει το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Σημειώνεται ότι για την εκτίμηση των μεγεθών στην περιοχή της Θεσσαλίας έχουν ληφθεί υπόψη οι τρεις σημαντικότερες κατηγορίες ζωικών ειδών (βοοειδή, αιγοπρόβατα και χοιροειδή) που προκύπτουν με κριτήριο τη συμμετοχή τους στην εκτιμώμενη ποσότητα βιοαερίου όσον αφορά το εν λόγω γεωγραφικό διαμέρισμα (βλέπε σχήμα 3.21 και 3.23).

Με τη βοήθεια της πληροφορίας του σχήματος 3.24 είναι πιο εύκολο να εντοπιστούν οι περιοχές εστίασης μεγάλων ποσοτήτων βιοαερίου, που δύναται να παραχθούν σύμφωνα με το μοντέλο πρόβλεψης. Εξετάζοντας για παράδειγμα το κόστος μεταφοράς στην επιλογή του τόπου εγκατάστασης μονάδων επεξεργασίας ο χάρτης αυτός προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για τις περιοχές συγκέντρωσης του υλικού τροφοδοσίας.

3.3.2 Καθαρισμός Βιοαερίου

Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια επεξεργασία οργανικών αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη σε όλες σχεδόν τις εφαρμογές τελικής χρήσεως του φυσικού αερίου. Βέβαια το βιοαέριο παρουσιάζει κάποιες διαφορές σε σχέση με το φυσικό αέριο, οι σημαντικότερες από τις οποίες έχουν να κάνουν με τη χαμηλότερη τιμή της θερμογόνου δύναμης του βιοαερίου και την υψηλή του περιεκτικότητα σε αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το υδρόθειο (H₂S). Για αυτό απαιτούνται είτε κάποιες τροποποιήσεις στον εξοπλισμό των συσκευών τελικής χρήσης είτε ο καθαρισμός του βιοαερίου. Επειδή



Σχήμα 3.24 Πυκνότητα παραγωγής βιοαερίου ανά κατηγορίες μεγέθους σε επίπεδο δήμων που συμπεριλαμβάνονται στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (πρόβλεψη 2010).

συνήθως προτιμάται η συνδυασμένη χρήση και των δύο καυσίμων υπερισχύει σχεδόν πάντα η δεύτερη πρακτική.

Η επεξεργασία για τον καθαρισμό του βιοαερίου αφορά κατά κύριο λόγο την απομάκρυνση του CO₂, του H₂S ή των υδρατμών (H₂O) που περιέχονται σε αυτό. Βέβαια υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην επεξεργασία την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάλογα με τις προδιαγραφές για τα ποιοτικά πρότυπα του καύσιμου αερίου που καθορίζονται από την εκάστοτε εφαρμογή τελικής χρήσης. Έτσι, για παράδειγμα, άλλες είναι οι απαιτήσεις στην επεξεργασία του βιοαερίου που προορίζεται ως καύσιμο σε συστήματα συμπαραγωγής, άλλες στην περίπτωση που αποτελέσει καύσιμη ύλη οχημάτων και άλλες στην περίπτωση που προορίζεται για εισαγωγή σε δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου.

Στον Πίνακα 3.2 παρατίθενται οι σημαντικότερες εφαρμογές τελικής χρήσης του βιοαερίου καθώς και ο βαθμός στον οποίο πρέπει να υποστεί επεξεργασία πριν οδηγηθεί σε καθεμία από αυτές. Τις λιγότερες απαιτήσεις φαίνεται να έχουν τα συστήματα θέρμανσης με λέβητες αερίου καθώς περιορίζονται στον έλεγχο της συγκέντρωσης του H₂S. Ενώ τις περισσότερες απαιτήσεις για τον καθαρισμό του βιοαερίου συναντάμε στην περίπτωση που αυτό οδηγηθεί σε δίκτυο φυσικού αερίου. Πάντως για την επιλογή της τελικής διάθεσης του παραγόμενου βιοαερίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και πολλά άλλα οικονομικής, ενεργειακής, τεχνολογικής, περιβαλλοντικής και διαχειριστικής φύσεως κριτήρια.

Στη συνέχεια γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις διαθέσιμες τεχνικές απομάκρυνσης για καθένα από τα τρία αέρια συστατικά του βιοαερίου:

⇒ Τεχνικές απομάκρυνσης του CO₂

Η απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα του ως καύσιμη ύλη. Σήμερα εφαρμόζονται τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι, που αποβλέπουν πρωτίστως στην επίτευξη των ποιοτικών κριτηρίων είτε για τα αέρια καύσιμα οχημάτων και είτε εκείνων για την έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου.

◆ *Καθαρισμός με νερό (Water scrubbing)*

Η τεχνική απομάκρυνσης του CO₂ με τη μέθοδο αυτή αξιοποιεί την υψηλή διαλυτότητα αυτού του αερίου στο νερό για να το διαχωρίσει από το μεθάνιο. Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα σε υψηλή πίεση και έχει ένα επιπλέον προτέρημα, το γεγονός ότι μαζί με το CO₂ απομακρύνεται και το H₂S που περιέχεται στο βιοαέριο. Παρόλα αυτά απαιτείται η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή εναλλακτικά η ύπαρξη συστήματος

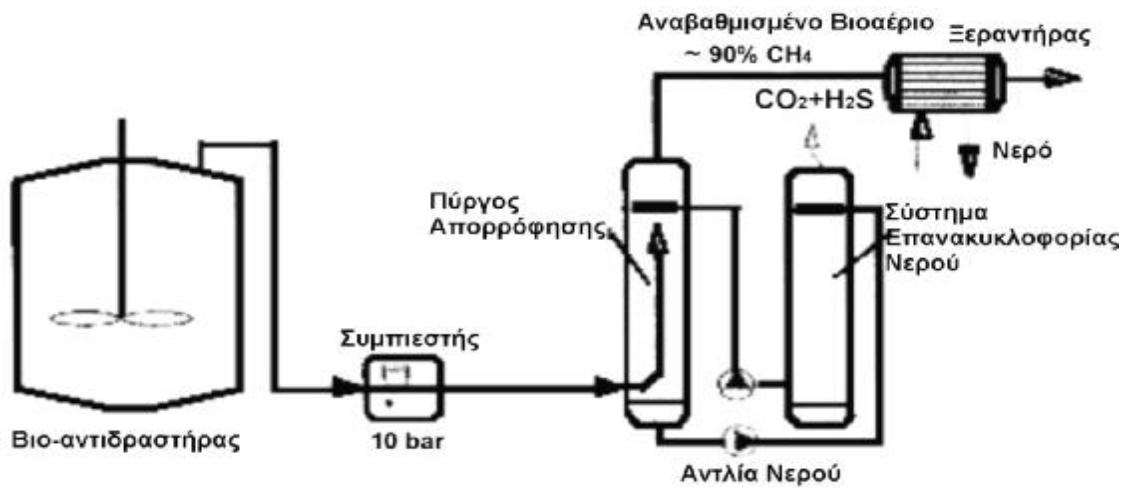
Εφαρμογή Τελικής Χρήσης	H₂S	CO₂	H₂O
Θερμαντήρας Αερίου (Λέβητας)	<1000 ppm	Όχι	Όχι
Κουζίνα Αερίου	Ναι	Όχι	Όχι
Μηχανές Εσωτερικής Καύσης	<1000 ppm	Όχι	Συνιστάται
Κινητήρες Οχημάτων	Ναι	Συνιστάται	Ναι
Δίκτυο Φυσικού Αερίου	Ναι	Ναι	Ναι

Πίνακας 3.2 Απαιτήσεις για απομάκρυνση αερίων συστατικών του βιοαερίου στις διάφορες εφαρμογές τελικής χρήσης [Πηγή: IEA, 2001].

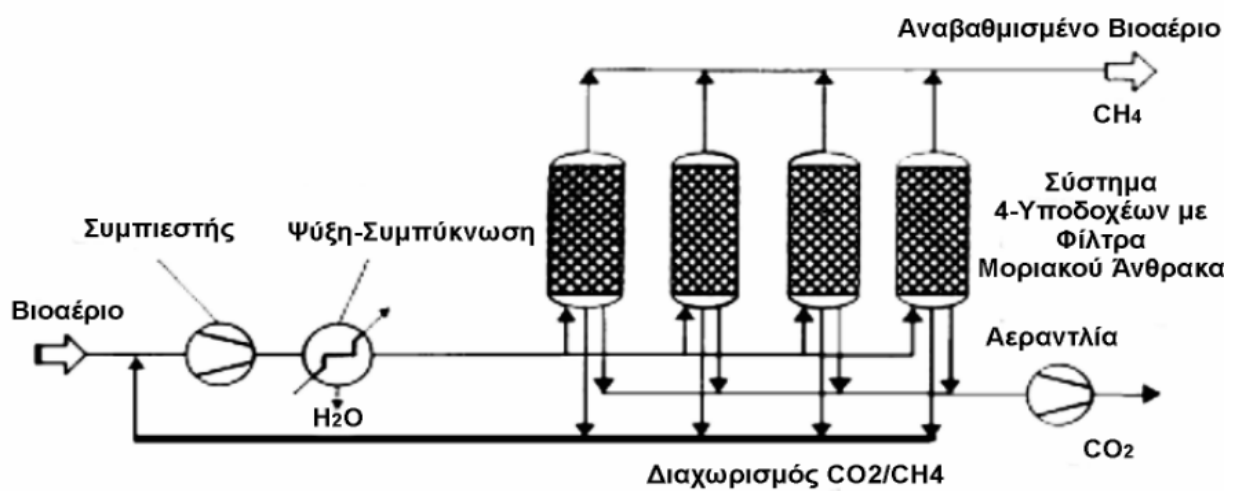
επαναχρησιμοποίησής του. Στο Σχήμα 3.25(i) απεικονίζεται γραφικά η διαδικασία που ακολουθείται κατά τη μέθοδο αυτή.

- ◆ *Καθαρισμός με πολυαιθυλενογλυκόλη (Polyethylene glycol scrubbing)*
Πρόκειται για μια παρόμοια με την προηγούμενη μέθοδο φυσική διεργασία απορρόφησης του CO₂ (επίσης με δυνατότητα απομάκρυνσης και του H₂S), μόνο που αυτή τη φορά το διαλυτικό μέσο είναι η πολυαιθυλενογλυκόλη. Η επιλογή αυτής της ουσίας αντί του νερού προσδίδει μεγαλύτερη απόδοση στον καθαρισμό του βιοαερίου, αλλά στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστήματος επαναχρησιμοποίησης του διαλύτη. Μεγαλύτερη εμπειρία εφαρμογής του εν λόγω συστήματος καταγράφεται στις Η.Π.Α..
- ◆ *Φίλτρα μοριακού άνθρακα (Carbon molecular sieves)*
Η μέθοδος αυτή αξιολογεί τα διαφορετικά χαρακτηριστικά στην απορρόφηση του CO₂ και του CH₄ από τον άνθρακα, για να διαχωρίσει τα δύο αέρια. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε υψηλή πίεση και το μεθάνιο αποδεσμεύεται κατά την αποσυμπίεση του αερίου. Για να μη χαθεί η ενέργεια σύνθλιψης, μια σειρά από υποδοχείς διασυνδέονται με κατάλληλο τρόπο μεταξύ τους, έτσι ώστε η ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν υποδοχέα να χρησιμοποιείται από τους υπολοίπους. Συνήθως χρησιμοποιούνται τέσσερις υποδοχείς, με ένα φίλτρο μοριακού άνθρακα στον καθένα, που απομακρύνουν ταυτόχρονα το CO₂ και τους υδρατμούς. Πριν το βιοαέριο οδηγηθεί στα φίλτρα μοριακού άνθρακα συνιστάται η απομάκρυνση του H₂S περνώντας αυτή τη φορά από φίλτρα ενεργού άνθρακα, διαδικασία από την οποία παράγεται θείο σε στοιχειακή μορφή που δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή λιπασμάτων. Η γραφική απεικόνιση της διαδικασίας που ακολουθείται εφαρμόζοντας τη μέθοδο καθαρισμού με φίλτρα μοριακού άνθρακα φαίνεται στο Σχήμα 3.25(ii).
- ◆ *Μεμβράνες (Membranes)*
Υπάρχουν δύο διαθέσιμες τεχνικές απομάκρυνσης του CO₂ με τη χρήση μεμβρανών: ο διαχωρισμός υψηλής πίεσης αερίου (high pressure gas separation) και η απορρόφηση με διαχωρισμό υγρής και αέριας φάσης (gas-liquid absorption). Με την πρώτη τεχνική, αέριο υψηλής πίεσης (~36 bar) αφού αρχικά καθαριστεί από τους πιθανόν περιεχόμενους αλογονομένους υδρογονάνθρακες και το υδρόθειο (περνώντας για παράδειγμα από στρώμα ενεργού άνθρακα), εν συνεχεία οδηγείται σε μεμβράνες από κυτταρίνη ακετυλενίου οι οποίες έχουν την ιδιότητα κατακράτησης πολωμένων μορίων

I.



II.



Σχήμα 3.25 Απομάκρυνση του CO₂ που περιέχεται στο βιοαέριο:

- (i) εφαρμόζοντας τη μέθοδο καθαρισμού με νερό
- (ii) με φίλτρα μοριακού άνθρακα

[Πηγή: IEA, 2001].

όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί και το εναπομείναντα υδρόθειο. Ο διαχωρισμός λαμβάνει χώρα προοδευτικά σε τρία στάδια επιτυγχάνοντας καθαρότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο μεγαλύτερη από 96%. Η δεύτερη τεχνική αναπτύχθηκε πρόσφατα ειδικά για την περίπτωση καθαρισμού του βιοαερίου. Το βασικό στοιχείο είναι οι υδροφοβικές μεμβράνες που παρέχουν τη δυνατότητα διαχωρισμού της αέριας από την υγρά φάση. Το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο προσχωρούν στο υγρό διάλυμα ενώ το λιγότερο διαλυτό μεθάνιο παραμένει στο αέριο και συλλέγεται για χρήση. Το σημαντικό προτέρημα αυτής της τεχνικής έγκειται στο ότι λειτουργεί σε πιέσεις εφάμιλλες της ατμοσφαιρικής, γεγονός που επιτρέπει μικρό κατασκευαστικό κόστος. Στο Σχήμα 3.26 φαίνεται η βασική αρχή λειτουργίας της απορρόφησης με διαχωρισμό υγρής και αέριας φάσης.

⇒ Τεχνικές απομάκρυνσης του H₂S

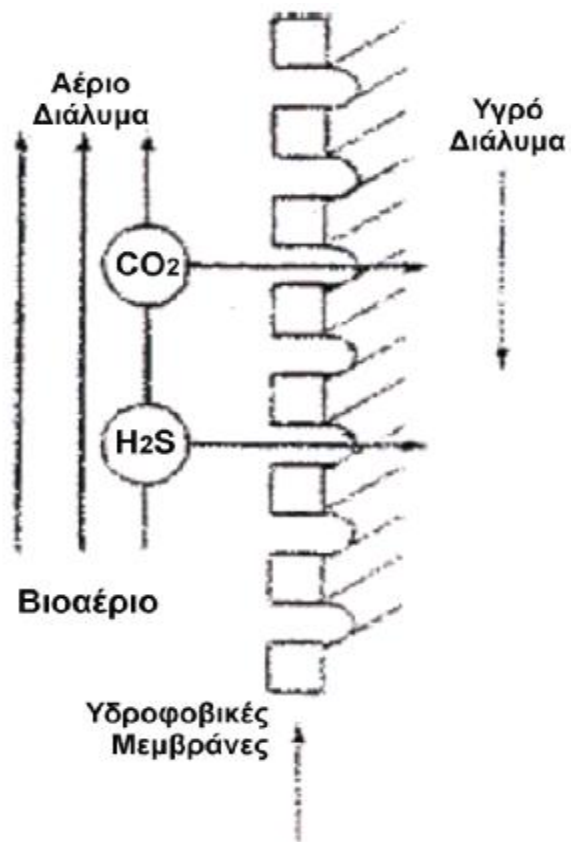
Στο βιοαέριο περιέχονται πάντα μικρές ποσότητες H₂S, αν και η συγκέντρωσή του ποικίλει ανάλογα με την προέλευση του υλικού τροφοδοσίας. Ο κύριος λόγος απομάκρυνσής του έχει να κάνει με την διαβρωτική του ικανότητα. Όπως περιγράφηκε παραπάνω, με την εφαρμογή των περισσότερων από τις μεθόδους απομάκρυνσης του CO₂ επιτυγχάνεται επιπρόσθετα και ο διαχωρισμός του H₂S. Στην περίπτωση που απαιτείται μόνο η απομάκρυνση του H₂S, ή που επιλέγεται ξεχωριστή μέθοδος διαχωρισμού, υπάρχουν οι ακόλουθες τεχνικές.

◆ *Βιολογική αποσύνθεση (Biological desulphurisation)*

Πρόκειται για μια φυσική μέθοδος που βασίζεται στη δράση μικροοργανισμών που ανήκουν στην οικογένεια των βακτηρίων: θειοβάκιλλοι (Thiobacillus). Ως απόρροια των μεταβολικών τους διεργασιών το H₂S αποσυντίθεται σε στοιχειακό θείο παρουσία οξυγόνου και σιδήρου. Για την επίτευξη ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης τέτοιων μικροοργανισμών προστίθεται στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα μια μικρή ποσότητα αέρα σε αναλογία με το βιοαέριο, που κυμαίνεται ανάλογα με τη συγκέντρωση του H₂S, από 2 έως 5%. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα μέτρα ασφαλείας καθώς η ανάμιξη του βιοαερίου με τον αέρα σε ποσοστό μεγαλύτερο από 6% μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις.

◆ *Αντίδραση με οξείδιο του σιδήρου (Iron oxide reaction)*

Το H₂S αντιδρά άμεσα με οξείδιο ή χλωρίδιο του σιδήρου προς σχηματισμό αδιάλυτου σουλφιδίου του σιδήρου. Η αντίδραση αυτή επιτυγχάνεται με την προσθήκη χλωριδίου του σιδήρου στο υλικό τροφοδοσίας του



Σχήμα 3.26 Καθαρισμός βιοαερίου με τη χρήση υδροφοβικών μεμβρανών
[Πηγή: IEA, 2001].

βιοαντιδραστήρα, ή με τη διέλευση του βιοαερίου από στρώμα οξειδίου του σιδήρου.

♦ *Ενεργός άνθρακας (Activated carbon)*

Ο ενεργός άνθρακας εμποτισμένος με ιωδιούχο κάλιο δρα ως καταλύτης στην αντίδραση του οξυγόνου με το H_2S προς τον σχηματισμό νερού και θείου. Εν τέλει, το θείο απορροφάται από τον ενεργό άνθρακα. Έτσι, λοιπόν, όπως και με τη μέθοδο της βιολογικής αποσύνθεσης μικρή ποσότητα αέρα προστίθεται στην επιφάνεια του βιοαντιδραστήρα. Οι βέλτιστες συνθήκες αντίδρασης επιτυγχάνονται σε πιέσεις μεταξύ 7 με 8 bar και θερμοκρασίες από 50 έως 70°C. Εφόσον η συγκέντρωση του H_2S στο βιοαέριο υπερβαίνει τα 3000 ppm απαιτείται ο σχεδιασμός συστήματος επανακυκλοφορίας.

♦ *Φυσική απορρόφηση με τη χρήση κατάλληλου διαλυτικού μέσου*

Η απομάκρυνση του H_2S από το βιοαέριο δύναται να επιτευχθεί με τη βοήθεια συστημάτων απορρόφησης όπως εκείνα που περιγράφηκαν και για την περίπτωση διαχωρισμού του CO_2 . Εκτός από το νερό και την πολυαιθυλενογλυκόλη, ως διαλύτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το καυστικό νάτριο (NaOH). Παρόλα αυτά, η επιλεκτική απομάκρυνση του H_2S με τη μέθοδο αυτή κρίνεται προς το παρόν οικονομικά ασύμφορη. Γενικότερα οι τεχνικές φυσικής απορρόφησης στον καθαρισμό του βιοαερίου θεωρούνται ανταγωνιστικές εφόσον αποσκοπούν στη συνδυασμένη απομάκρυνση και των δύο αερίων συστατικών.

⇒ Τεχνικές απομάκρυνσης H_2O

Το βιοαέριο συνήθως είναι πλήρως κεκορεσμένο σε υδρατμούς, μέρος των οποίων υπάρχει ο κίνδυνος να συμπυκνωθεί και να σχηματίσει συγκεντρώσεις ύδατος σε υγρή μορφή. Κάτι τέτοιο είναι εξαιρετικά ανεπιθύμητο, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθούν υδρίτες. Πρόκειται για στερεά σώματα που προσομοιάζουν με πάγο και σχηματίζονται από την αντίδραση ύδατος σε υγρή μορφή και αερίων υδρογονανθράκων, υπό πίεση και σε θερμοκρασίες άνω των 29°C. Οι ενώσεις αυτές είναι δυνατόν να επικαθίσουν και να δημιουργήσουν αποφράξεις. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου συχνά το βιοαέριο - και ειδικά όταν προορίζεται για έγχυση σε δίκτυο φυσικού αερίου- υπόκειται σε διαδικασία αφύγρανσης. Η πρακτική που ακολουθείται κατά κύριο λόγο είναι αυτή της ψύξης του βιοαερίου, οδηγούμενο π.χ. διαμέσου ενός υπόγειου σωλήνα, ώστε να επέλθει συμπύκνωση μέρους των υδρατμών που

περιέχονται σε αυτό. Οπότε όταν το βιοαέριο θερμαίνεται ξανά, η περιεκτικότητά του σε υδρατμούς είναι πλέον μικρότερη.

Αφού, λοιπόν, υποστεί την απαραίτητη επεξεργασία για τον καθαρισμό του το βιοαέριο μπορεί πλέον να διαχειριστεί και να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο βασικό τρόπο που συναντάμε και στο φυσικό αέριο. Για παράδειγμα η συμπίεση και η αποσυμπίεση του βιοαερίου υπόκεινται σε παρόμοια συμπεριφορά και πολλές φορές πραγματοποιείται μαζί με το φυσικό αέριο.

Σύμφωνα με πρόσφατο απολογισμό που πραγματοποιήθηκε εκ μέρους της Διεθνούς Υπηρεσίας για την Ενέργεια (International Energy Agency, IEA) το 2001 καταγράφηκαν 9 περιπτώσεις όπου το αναβαθμισμένο βιοαέριο οδηγείται για εμπλουτισμό σε γειτονικό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου. Στον Πίνακα 3.3 παρατίθενται αναλυτικά τα στοιχεία για αυτές τις εφαρμογές.

3.3.3 Κλίμακα Έργου και Σχεδιασμός

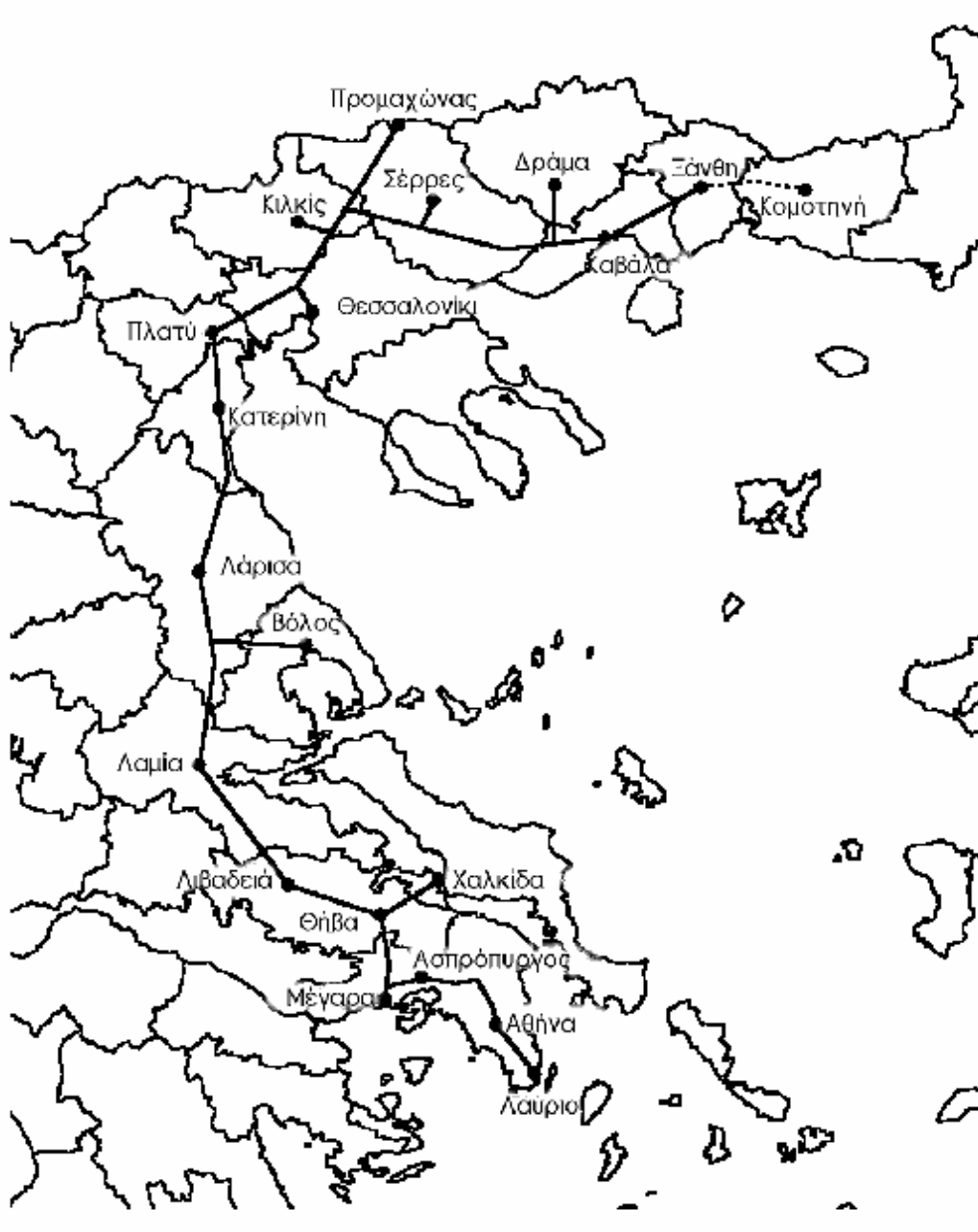
Οι χάρτες πυκνότητας παραγωγής βιοαερίου (εκτίμησης και πρόβλεψης) επιδεικνύουν ορισμένες περιοχές (νομούς), όπου με κριτήριο την παραγωγικότητα παρουσιάζεται πλεονέκτημα στην ανάπτυξη συστημάτων αναερόβιας επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων. Στο σχεδιασμό ενός έργου αξιοποίησης του βιοδυναμικού κτηνοτροφικών αποβλήτων με την εφαρμογή τεχνολογιών αναερόβιας επεξεργασίας πρωταρχικό ρόλο κατέχει η κλίμακα.

Στην προκειμένη περίπτωση ένα έργο μακροσκοπικής κλίμακας θα αποσκοπούσε στην εισαγωγή των παραγόμενων ποσοτήτων βιοαερίου, από το σύνολο των μεγάλων κτηνοτροφικών μονάδων ενός νομού, στο υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου. Κάτι τέτοιο έχει δοκιμαστεί με επιτυχία ήδη σε κάποιες χώρες στην Ευρώπη αλλά και σε πόλεις των ΗΠΑ [Wolfgang, 2002]. Απαιτεί, βέβαια, πλήρη καθαρισμό του βιοαερίου από τα ανεπιθύμητα αέρια συστατικά (CO_2 , H_2S και υδρατμούς) γεγονός που καθιστά αυτήν την επιλογή ιδιαίτερα δαπανηρή. Σε περιπτώσεις, όμως, όπου η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου είναι αρκετά υψηλή και επιπρόσθετα η πρωτογενής πηγή των αποβλήτων βρίσκεται κοντά στο δίκτυο φυσικού αερίου, το κόστος καθαρισμού αντισταθμίζεται ικανοποιητικά.

Στον ελλαδικό χώρο οι δύο αυτές προϋποθέσεις πληρούνται στην περίπτωση των νομών Ξάνθης, Θεσσαλονίκης, Πιερίας, Ημαθίας, Βοιωτίας, Ευβοίας και Αττικής. Όπως φαίνεται στο χάρτη του Σχήματος 3.27 οι αγωγοί μεταφοράς

Χώρα	Περιοχή/ Πόλη	Απαιτούμενη Περιεκτικότητα σε CH ₄ (%)	Μέθοδος Απομάκρυνσης του CO ₂	Μέθοδος Απομάκρυνσης του H ₂ S	Έτος Έναρξης Λειτουργίας
Ολλανδία	Collendorn	88	Μεμβράνες	Ενεργός άνθρακας	1991
Ολλανδία	Gorredijk	88	Μεμβράνες	Ενεργός άνθρακας	1994
Ολλανδία	Nuenen	88	Φίλτρα μοριακού άνθρακα	Ενεργός άνθρακας	1990
Ολλανδία	Tilburg	88	Καθαρισμός με νερό	Αντίδραση με οξείδιο του σιδήρου	1987
Ολλανδία	Wijster	88	Φίλτρα μοριακού άνθρακα	Ενεργός άνθρακας	1989
Ελβετία	Samstagen	96	Φίλτρα μοριακού άνθρακα	Ενεργός άνθρακας	-
Η.Π.Α.	Staten Island New York	-	Καθαρισμός με πολυαιθυλενογλυκόλη	Καθαρισμός με πολυαιθυλενογλυκόλη	1981
Η.Π.Α.	Renton WA	98	Καθαρισμός με νερό	Καθαρισμός με νερό	1984-1998
Η.Π.Α.	Mc Carty Road New York	-	Καθαρισμός με πολυαιθυλενογλυκόλη	Καθαρισμός με πολυαιθυλενογλυκόλη	1986

Πίνακας 3.3 Ενδεικτική παράθεση μονάδων παραγωγής βιοαερίου με εφαρμογή τελικής χρήσης το δίκτυο φυσικού αερίου [Πηγή: IEA, 2001]



Σχήμα 3.27 Χάρτης του ελληνικού κεντρικού δικτύου μεταφοράς φυσικού αερίου.

φυσικού αερίου διέρχονται μεταξύ άλλων και από την επικράτεια αυτών των νομών. Το συνολικό δυναμικό βιοαερίου από απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων για τους επτά προαναφερθέντες νομούς εκτιμάται σε 113.7 εκατομμύρια m^3 ανά έτος. Για δε το 2010 προβλέπεται περίπου ίσο με 120.9 εκατομμύρια m^3 ανά έτος. Ως μέτρο σύγκρισης αναφέρεται ενδεικτικά ότι το 2001 η κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ελλάδα ανήλθε στα 2.1 δισεκατομμύρια m^3 , ενώ για το 2010 η εκτίμηση της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου (ΔΕΠΑ) αντιστοιχεί σε 5.5 δις m^3 [Polychroniou, 2002].

Σε ένα ενδιάμεσης κλίμακας έργο το βιοαέριο θα μπορούσε να συνεισφέρει στην κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών της περιοχής οδηγούμενο για παράδειγμα σε μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας, των οποίων η απόδοση φθάνει μέχρι και 88% [ISAT, 2000]. Ενώ ένα μικροσκοπικής κλίμακας έργο θα αποσκοπούσε στην αξιοποίηση του δυναμικού σε βιοαέριο μιας μεγάλης κτηνοτροφικής μονάδας για την κάλυψη των ιδίων ενεργειακών της αναγκών.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση πάντως, γενικότερα, η ενεργειακή αξιοποίηση του βιοδυναμικού από τα διαθέσιμα κτηνοτροφικά απόβλητα στην ελληνική επικράτεια αποτελεί ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα. Στη λήψη των όποιων αποφάσεων εκτός από τους τεχνοοικονομικούς παράγοντες εμπλέκονται επίσης και περιβαλλοντικά, πολιτικοκοινωνικά, χωροταξικά και άλλης φύσεως κριτήρια.

4. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Όπως με τη ζωική βιομάζα, έτσι και με τη φυτική αναπτύχθηκε μια ξεχωριστή βάση δεδομένων σε περιβάλλον Access για την καταγραφή των στοιχείων που συλλέχθηκαν και την επεξεργασία τους με σκοπό την αποτίμηση του βιοδυναμικού αποβλήτων. Η σύνδεση της βάσης με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) της Ελλάδος λειτουργεί αποτελεσματικά στην εξαγωγή των πρώτων σε μεγάλη κλίμακα (επίπεδο νομού) συμπερασμάτων.

4.1 Πρωτογενή Στοιχεία

Η συλλογή των στοιχείων που σχετίζονται με τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις στον ελλαδικό χώρο έγινε από τις ετήσιες απογραφές της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας [ΕΣΥΕ, 1970-2000], όπου οι όποιες πληροφορίες προσφέρονται κατά γεωγραφικό διαμέρισμα και νομό. Η τελευταία διαθέσιμη δημοσίευση με στατιστικά στοιχεία από την έρευνα για τη διάρθρωση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων - μέχρι την περάτωση της εργασίας αυτής - αφορούσε το έτος του 2000. Ως εκ τούτου στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν λαμβάνεται ως έτος βάσης. Επίσης, η εξέλιξη των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και της αντίστοιχης παραγωγής προϊόντων ανά φυτικό είδος μελετάται επιλέγοντας το 1970 σαν τελευταίο έτος του παρελθόντος. Η περίοδος που καλύπτεται δηλαδή, συνολικά και σε ετήσια βάση, αφορά την περίοδο μεταξύ του 1970 και του 2000.

Πιο λεπτομερή στοιχεία για τη διάρθρωση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων παρέχονται από την ΕΣΥΕ κάθε 10 χρόνια, ανά δήμο και κοινότητα. Η συλλογή τους για το σύνολο της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα εφόσον δεν προσφέρονται σε ηλεκτρονική μορφή. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας εξετάζονται μόνο για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, όπου η γεωργική δραστηριότητα είναι αρκετά έντονη. Τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία ανά δήμο και κοινότητα προκύπτουν από την απογραφή του 1991 μιας και τα αποτελέσματα της απογραφής του 2001 δεν είχαν δημοσιευθεί μέχρι την περίοδο συλλογής των στοιχείων για την διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης.

Τα στατιστικά στοιχεία που συνεκτιμήθηκαν αφορούν καλλιεργήσιμες εκτάσεις (σε στρέμματα) και παραγωγή (σε τόνους) των σημαντικότερων αγροτικών

φυτών που απαντώνται στην ελληνική επικράτεια. Συνολικά πρόκειται για 25 κατηγορίες καλλιεργούμενων ειδών μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται το βαμβάκι, το κριθάρι, η σίκαλη, η βρώμη, το σακχαρότευτλο, το σιτάρι κ.α.. Λόγω του μεγάλου πλήθους των κατηγοριών, εν αντιθέσει με τη ζωική βιομάζα (όπου υπήρχαν μόνο 7 κατηγορίες), δεν θα γίνει ξεχωριστή αναφορά για καθένα από αυτά αλλά θα εξεταστεί συνολικά η γεωγραφική και χρονική κατανομή των μεγεθών που αφορούν τη φυτική βιομάζα και την δυνατότητα αξιοποίησης της.

4.2 Βιοδυναμικό Παραπροϊόντων Φυτικής Παραγωγής

Η εκτίμηση για το βιοδυναμικό του συνόλου των από γεωργικές εκμεταλλεύσεις στον ελλαδικό χώρο διεξήχθη σύμφωνα με την προτεινόμενη από τη σχετική βιβλιογραφία πρακτική. Στην ουσία το βιοδυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων εκφράζεται από το ενεργειακό περιεχόμενο των παραπροϊόντων της φυτικής παραγωγής, όμως στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε επιπροσθέτως και μια σειρά από άλλες παραμέτρους που σχετίζονται άμεσα με την αξιοποίηση αυτού του βιοδυναμικού. Η εκτίμηση για την ποσότητα της αιθανόλης που δύναται να παραχθεί είναι η σημαντικότερη εξ αυτών.

4.2.1 Μεθοδολογία Εκτίμησης

Στην απορριπτόμενη φυτική βιομάζα από γεωργικές εκμεταλλεύσεις συμπεριλαμβάνονται επτά βασικές κατηγορίες παραπροϊόντων της παραγωγικής διαδικασίας. Πρόκειται για τα υπολείμματα:

- σε άχυρο (straw)
- ξυλώδης ιστών (wood)
- φυλλωμάτων (tops/ leaves)
- πυρήνα (cobs)
- φλοιού/ περικαρπίου (hull/ pod)
- σε χούμο/ πολτό (cake/ pulp)
- άλλων υπολειμμάτων (other process wastes)

Για κάθε ένα από τα 25 σημαντικότερα είδη φυτικής παραγωγής που συναντάμε στον ελλαδικό χώρο συνυπολογίστηκαν οι ποσότητες παραπροϊόντων και από τις επτά κατηγορίες που προαναφέρθηκαν, ώστε να προκύψει το σύνολο της

απορριπτόμενης φυτικής βιομάζας. Εν συνεχεία, εκτιμάται το ενεργειακό δυναμικό της διαθέσιμης ποσότητας και η πιθανή αξιοποίηση της για την παραγωγή καύσιμης ύλης (αιθανόλης) με τη μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης.

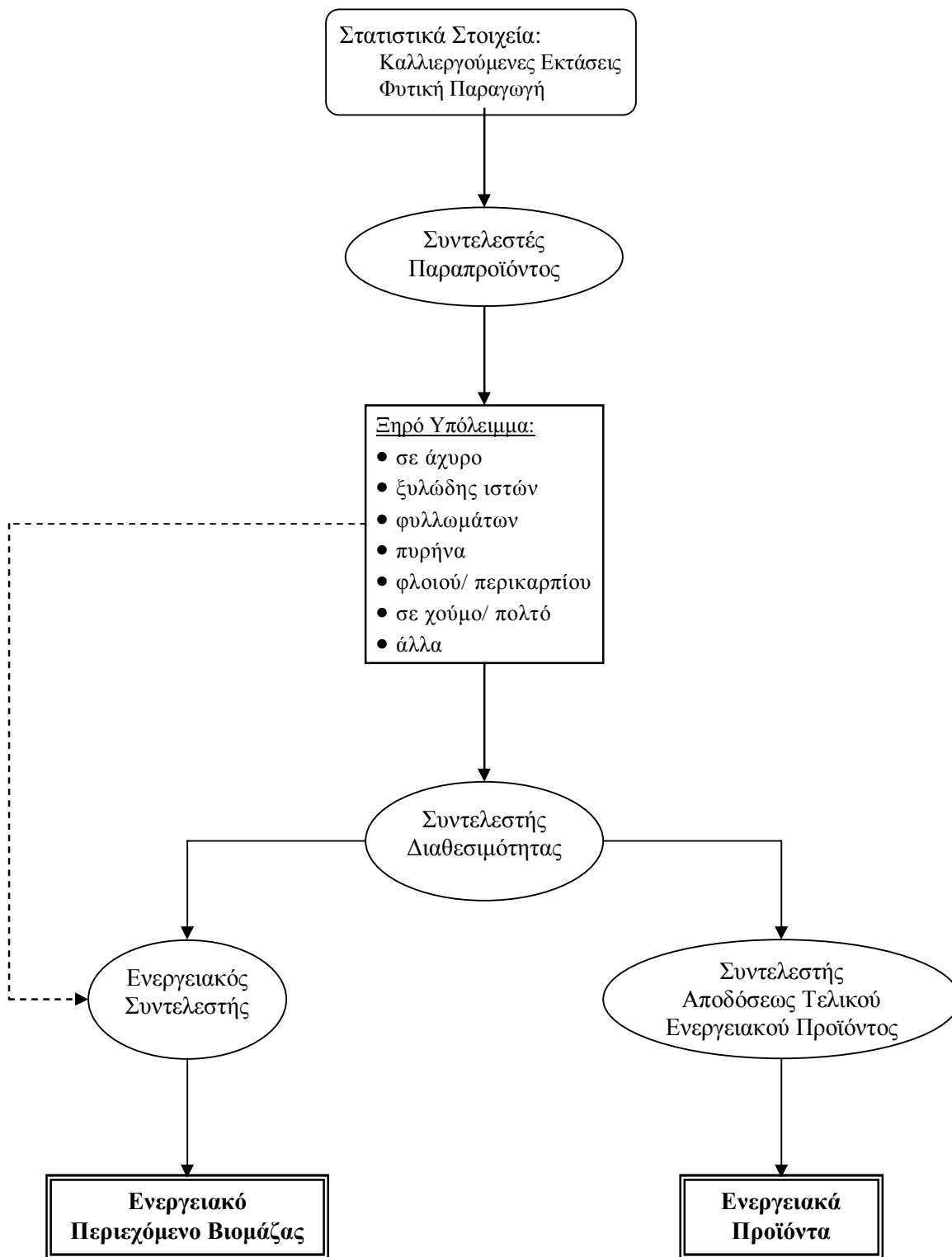
Αναλυτικά, η μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την εκτίμηση του βιοδυναμικού αποβλήτων από τη φυτική παραγωγή στην ελληνική επικράτεια παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 4.1. Τη βάση για τους υπολογισμούς αποτελούν τα πρωτογενή στοιχεία, δηλαδή τα στατιστικά δεδομένα για την καλλιεργούμενη έκταση και την παραγωγή φυτικών ειδών που σχετίζονται με την γεωργική δραστηριότητα. Ακολούθως, οι όποιες εκτιμήσεις λαμβάνουν χώρα, προκύπτουν από μια σειρά συντελεστών οι οποίοι ανάγουν τα μεγέθη αυτά στη ζητούμενη ποσότητα (παραπροϊόντα, ενέργεια ή αιθανόλη).

Στην περίπτωση των υπολογισμών για το ενεργειακό δυναμικό των υπολειμμάτων της φυτικής παραγωγής και της εκτιμώμενης ποσότητας σε αιθανόλη παρεμβάλλεται ο συντελεστής διαθεσιμότητας. Η επιλογή των τιμών αυτού του συντελεστή δεν είναι πάντα μια εύκολη υπόθεση και πρέπει να γίνεται προσεκτικά, ιδιαίτερα όταν δεν έχουν προηγουμένως πραγματοποιηθεί συγκεκριμένες μελέτες για τον ακριβή καθορισμό τους. Λάθος εκτίμηση του συντελεστή διαθεσιμότητας είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει σε εσφαλμένες εκτιμήσεις για το βιοδυναμικό, έτσι δεν αποκλείεται τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματικότητα.

Η επιλογή όλων των συντελεστών που χρησιμοποιήθηκαν στις εν λόγω εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές που καταγράφονται στη σχετική βιβλιογραφία. Είναι βέβαιο ότι η χρήση διαφορετικών τιμών στους συντελεστές αυτούς θα οδηγούσε και σε διαφορετικές εκτιμήσεις. Το εύρος τιμών που απαντάται από μελέτη σε μελέτη για τους συντελεστές μετατροπής μπορεί να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες όπως για παράδειγμα λόγω της εφαρμογής διαφορετικής τεχνολογίας. Μια πληρέστερη προσέγγιση θα συμπεριλάμβανε εκτιμήσεις με εναλλακτικούς συντελεστές μετατροπής κάτι που δεν κρίνεται εφικτό στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.

4.2.2 Παραγωγή Παραπροϊόντων

Τα υπολείμματα της παραγωγής φυτικών ειδών από γεωργικές δραστηριότητες παραμένουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό ανεκμετάλλευτα. Η εκτίμηση των διαθέσιμων ποσοτήτων προς αξιοποίηση αποτελεί το πρώτο βήμα



Σχήμα 4.1 Μεθοδολογία εκτίμησης βιοδυναμικού απορριπτόμενης φυτικής βιομάζας.

πριν το σχεδιασμό για την ορθολογική διαχείριση των παραπροϊόντων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την παραγωγή παραπροϊόντων ανά είδος φυτικής παραγωγής και στο σύνολό τους η γεωγραφική τους κατανομή σε επίπεδο νομού.

Ανάλογα με το είδος της φυτικής παραγωγής προκύπτουν και τα αντίστοιχα παραπροϊόντα. Τα αποτελέσματα για τις 25 σημαντικότερες κατηγορίες φυτικών ειδών που καλλιεργούνται στην ελληνική επικράτεια, σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνονται από την ΕΣΥΕ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1. Στον πίνακα αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που πραγματοποιήθηκε για το έτος του 2010 σύμφωνα με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Η φυτική βιομάζα στο σύνολό της εκτιμάται περίπου σε 18 εκατομμύρια τόνους. Τα είδη με τη σημαντικότερη συνεισφορά στην ποσότητα αυτή έχουν ο αραβόσιτος, το σιτάρι (σκληρό), το βαμβάκι και τα ελαιόδεντρα (για την παραγωγή ελαιολάδου) με ποσοστά συμμετοχής 28.2%, 15.3%, 15.2% και 14.6% αντίστοιχα.

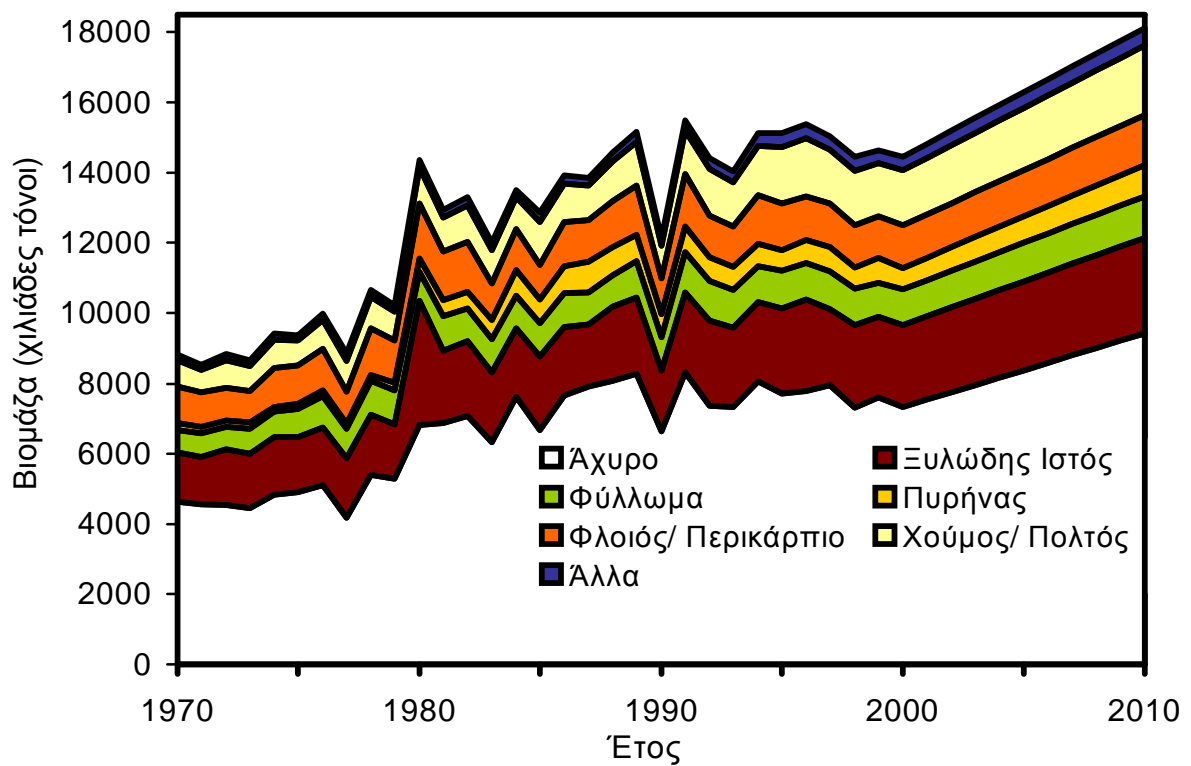
Η χρονική εξέλιξη της διακύμανσης των παραπροϊόντων από τη φυτική παραγωγή στην Ελλάδα για την τριακονταετία μεταξύ 1970 και 2000 καθώς και η προβλεπόμενη εκτίμηση έως το 2010 παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2. Η τάση για το σύνολο των παραπροϊόντων είναι ανοδική, ενώ η μεγαλύτερη παραγωγή παραπροϊόντων οφείλεται στα υπολείμματα της φυτικής παραγωγής σε άχυρο και ξυλώδεις ιστούς το μέρισμα των οποίων για το 2010 εκτιμάται σε 51% και 15% αντίστοιχα επί του συνόλου της φυτικής παραγωγής.

Η πρόβλεψη για το 2010 πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα έτη. Οι προβλεπόμενες τιμές για τα ενδιάμεσα έτη (2001 με 2009) προέκυψαν από γραμμική παρεμβολή μεταξύ του προηγούμενου και του επόμενου διαθέσιμου έτους. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για κάθε ένα από τους 51 νομούς της χώρας ξεχωριστά και μετέπειτα από τα αθροίσματα προέκυψαν οι τελικές τιμές για το σύνολο της χώρας.

Επίσης χρήσιμο είναι να δούμε τη γεωγραφική κατανομή της απορριπτόμενης φυτικής βιομάζας στο σύνολό της, καθώς και των σημαντικότερων παραπροϊόντων από τη φυτική παραγωγή στην ελληνική επικράτεια. Στο Σχήμα 4.3 δίνεται ο χάρτης απεικόνισης της γεωγραφικής κατανομής της φυτικής βιομάζας σε επίπεδο νομού έτσι όπως προκύπτει από την επεξεργασία των στοιχείων για το έτος βάσης (2000). Τα μεγέθη έχουν αναχθεί βάση της έκτασης κάθε νομού ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Ο αντίστοιχος χάρτης GIS που προκύπτει σύμφωνα με τις προβλεπόμενες τιμές για το 2010 φαίνεται στο Σχήμα 4.4.

Φυτά	Άχυρο	Ξυλώδης Ιστός	Φύλλωμα	Πυρήνας	Φλοιός/ Περικάρπιο	Χούμος/ Πολτός	Άλλα	Σύνολο
Κριθάρι	295.0	-	-	-	22.7	-	-	317.7
Φασόλια	6.8	-	-	-	1.4	-	-	8.2
Εσπεριδοειδή	-	394.0	-	-	-	131.3	-	525.3
Βαμβάκι	1724.5	-	-	-	344.8	517.4	172.5	2759.2
Αποξηραμένα Φρούτα	-	159.1	-	-	15.2	-	-	174.3
Οπώρες	-	509.9	-	-	-	-	-	509.9
Σταφύλια (φαγώσιμα)	-	65.1	-	-	-	-	-	65.1
Σταφύλια (για κρασί)	-	138.1	-	-	-	46.0	-	184.1
Φιστίκι (Αράπικο)	5.0	-	-	-	0.4	-	-	5.4
Αραβόσιτος	4.256.7	-	-	851.4	-	-	-	5108.1
Πεπόνια και Καρπούζια	-	-	348.9	-	-	-	-	348.9
Βρώμη	201.0	-	-	-	-	-	-	201.0
Ελιές (βρώσιμες)	-	131.6	-	-	-	-	-	131.6
Ελιές (για λάδι)	-	1320.7	-	-	-	1056.6	264.2	2641.5
Πατάτες	203.5	-	-	-	-	-	-	203.5
Ρύζι	214.3	-	-	-	71.4	-	-	285.7
Σίκαλη	76.7	-	-	-	-	-	-	76.7
Σόργο	0.3	-	-	-	-	-	-	0.3
Σόγια	2.0	-	-	0.3	-	-	-	2.3
Ζαχαρότευτλα	-	-	334.1	-	-	200.5	66.8	601.4
Ηλιανθος	72.6	-	-	40.3	8.1	20.2	-	141.2
Καπνός	195.6	-	130.4	-	-	-	-	326.0
Λαχανικά	-	-	374.8	-	-	-	-	374.8
Σιτάρι Σκληρό	1919.4	-	-	-	853.1	-	-	2772.5
Σιτάρι Μαλακό	246.0	-	-	-	109.3	-	-	355.3
Σύνολο	9419.4	2718.5	1188.2	892.0	1426.4	1972.0	503.5	18120

Πίνακας 4.1 Βιοδυναμικό υπολειμμάτων από τη φυτική παραγωγή των σημαντικότερων ειδών που καλλιεργούνται στην ελληνική επικράτεια, σε χιλιάδες τόνους (πρόβλεψη για το 2010).



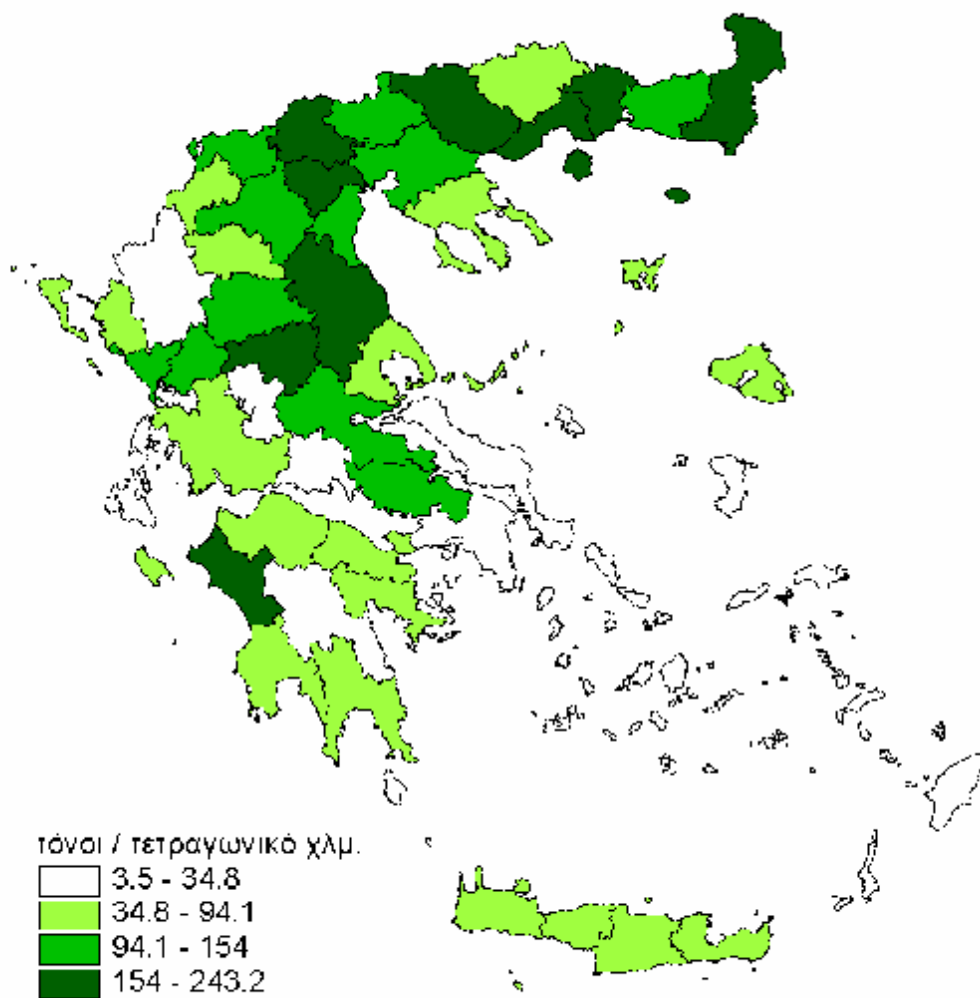
Σχήμα 4.2 Εξέλιξη της διακύμανσης της φυτικής βιομάζας, ανά κατηγορία παραπροϊόντων, όπως εκτιμάται για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας από το 1970 έως το 2000 και πρόβλεψη μέχρι το 2010.

Σύμφωνα με το σχήμα 4.3, στις περιοχές με τη μεγαλύτερη πυκνότητα φυτικής βιομάζας συγκαταλέγονται κατά κύριο λόγο νομοί της κεντρικής και βορείου Ελλάδος. Ξεχωρίζουν από τη Θεσσαλία οι νομοί Λάρισας και Καρδίτσας, από το γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας οι νομοί Ημαθίας, Πέλλας, Σερρών και Καβάλας, ενώ τέλος από τη Θράκη οι νομοί Ξάνθης και Έβρου. Επίσης από τη υπόλοιπη Ελλάδα στην πρώτη κατηγορία μεγέθους συγκαταλέγεται και ο νομός Ηλείας.

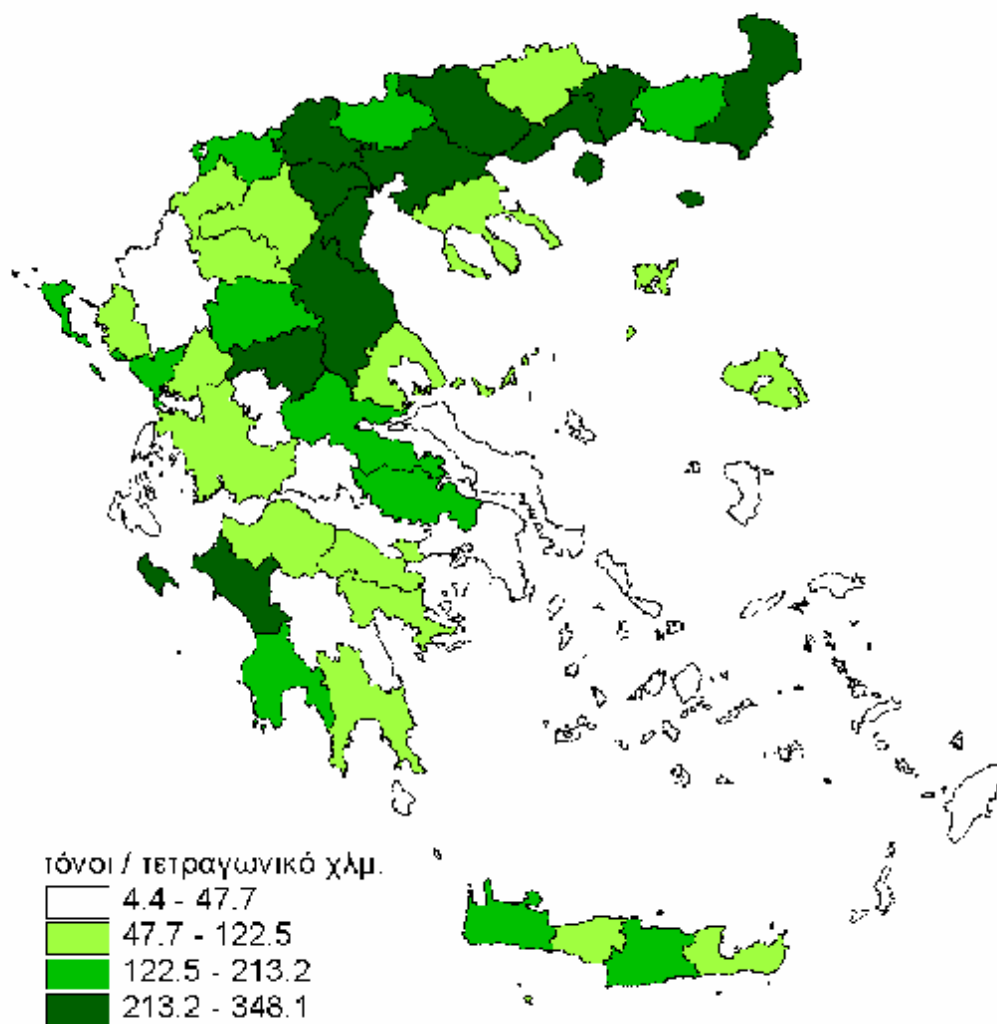
Εξετάζοντας το σχήμα 4.4, η εικόνα της γεωγραφικής κατανομής της φυτικής βιομάζας δεν διαφοροποιείται σημαντικά σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010. Ισχυρές τάσεις ανόδου παρατηρούνται στους νομούς Θεσσαλονίκης, Πιερίας και Ζακύνθου που σύμφωνα με αυτόν το χάρτη συγκαταλέγονται πλέον στην πρώτη κατηγορία μεγέθους μαζί με τους προαναφερθέντες. Πτωχές σε φυτική βιομάζα, με κριτήριο πάντα την πυκνότητα παραγωγής, παραμένουν οι περισσότερες νησιωτικές περιοχές καθώς και εκείνες που βρίσκονται στους νομούς Ιωαννίνων, Ευρυτανίας, Φωκίδας, Αττικής, Ευβοίας και Αρκαδίας.

Η κατανομή των σημαντικότερων παραπροϊόντων από τη φυτική παραγωγή στους 51 νομούς της Ελλάδας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5, σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010. Όπως προκύπτει και από τον πίνακα 4.1 οι κατηγορίες παραπροϊόντων με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην απορριπτόμενη φυτική βιομάζα είναι αυτές που αφορούν τα υπολείμματα σε άχυρο, ξυλώδεις ιστούς και σε χούμο/πολτό. Ως εκ τούτου στη συγκρότηση του εν λόγω χάρτη στο GIS ελήφθησαν υπόψη μόνο αυτές οι τρεις κατηγορίες. Η πληροφορία που προσφέρεται από αυτόν τον χάρτη είναι χρήσιμη από διαχειριστικής άποψης, καθώς στη συλλογή και την επεξεργασία της φυτικής βιομάζας είναι σημαντικό να είναι γνωστό το είδος των υπολειμμάτων της παραγωγής.

Έτσι, εξετάζοντας τον χάρτη του σχήματος 4.5, γίνεται εμφανές ότι σχεδόν σε όλες τις περιοχές με σημαντικό βιοδυναμικό η μεγαλύτερη παραγωγή παραπροϊόντων αφορά τα υπολείμματα σε άχυρο. Από τις βόρειες περιοχές αρκετά υψηλή παραγωγή παραπροϊόντων σε υπολείμματα ξυλώδους ιστών παρουσιάζεται στους νομούς Ημαθίας και Πέλλας, ενώ η συμμετοχή των τελευταίων είναι και η μεγαλύτερη σε νομούς που βρίσκονται κατά κύριο λόγο στις νοτιοδυτικές περιοχές της Ελλάδος όπως η Κρήτη, η νότια Πελοπόννησος και το Ιόνιο. Βέβαια το γεγονός ότι κατά κανόνα στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα η μεγαλύτερη παραγωγή παραπροϊόντων σχετίζεται με τα υπολείμματα άχυρου ενώ στις νότιες περιοχές με αυτή σε ξυλώδεις ιστούς έχει να κάνει το είδος των καλλιεργούμενων εκτάσεων.



Σχήμα 4.3 Γεωγραφική κατανομή της φυτικής βιομάζας στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας ανά κατηγορίες μεγέθους σύμφωνα με την εκτίμηση για το έτος 2000.



Σχήμα 4.4 Γεωγραφική κατανομή της φυτικής βιομάζας στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας ανά κατηγορίες μεγέθους σύμφωνα με την πρόβλεψη για το έτος 2010.



Σχήμα 4.5 Συγκριτική απεικόνιση ανά νομό της συμμετοχής των τριών σημαντικότερων κατηγοριών παραπροϊόντων στην παραγωγή φυτικής βιομάζας (πρόβλεψη 2010).

4.2.3 Ενεργειακό Δυναμικό

Στο σχεδιασμό για την ενεργειακή αξιοποίηση της διαθέσιμης φυτικής βιομάζας που παραμένει ανεκμετάλλευτη από γεωργικές δραστηριότητες, το σημαντικότερο είναι να εκτιμηθεί το ποσό της ενέργειας που περιέχεται σε αυτήν. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται αναλυτικά το ενεργειακό περιεχόμενο ανά κατηγορία παραπροϊόντος για κάθε ένα από τα 25 είδη φυτικής παραγωγής στην Ελλάδα. Επισημαίνεται ότι για την εξαγωγή των ενεργειακών μεγεθών που περιέχονται στον εν λόγω πίνακα δεν έχει ληφθεί υπόψη η διαθεσιμότητα των παραπροϊόντων, ως εκ τούτου οι εκτιμήσεις αυτές αφορούν το μέγιστο θεωρητικό ποσό ενέργειας που δύναται να αξιοποιηθεί.

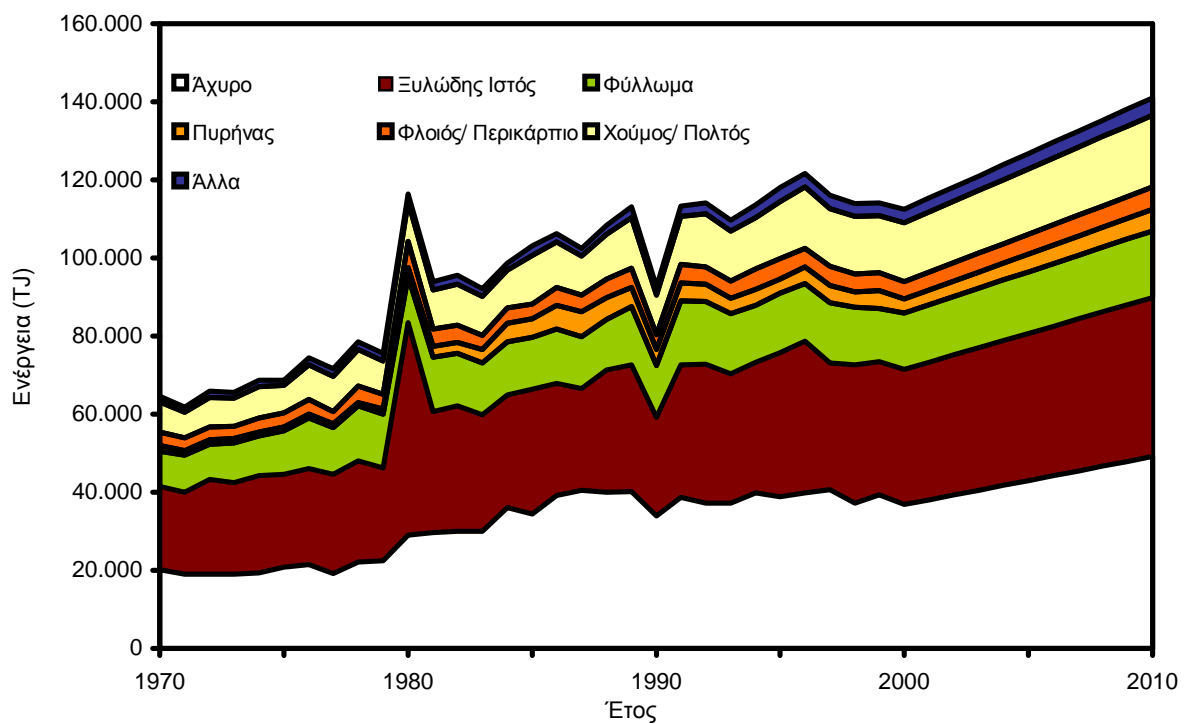
Στο σύνολο του το ενεργειακό δυναμικό της φυτικής βιομάζας, σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010, εκτιμάται σε 288581 TJ. Οι κατηγορίες παραπροϊόντων με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι αυτές των υπολειμμάτων σε άχυρο, ξυλώδης ιστούς και σε χούμο/ πολτό με ποσοστά 51.3%, 15.7% και 10.4% αντίστοιχα. Ενώ όσον αφορά τα είδη φυτικής παραγωγής με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στο συνολικό ενεργειακό δυναμικό αυτά είναι ο αραβόσιτος, οι ελιές (για την παραγωγή ελαιολάδου), το σκληρό σιτάρι και το βαμβάκι με ποσοστά 30.3%, 15.5%, 15.4% και 12.2% αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η χρονική εξέλιξη του ενεργειακού δυναμικού σύμφωνα με τις εκτιμώμενες τιμές για την τριακονταετία μεταξύ 1970-2000 και την πρόβλεψη μέχρι το 2010. Στον υπολογισμό των ενεργειακών μεγεθών έχει ληφθεί υπόψη η διαθεσιμότητα των παραπροϊόντων, ως εκ τούτου οι εκτιμήσεις αφορούν το ενεργειακό δυναμικό της διαθέσιμης φυτικής βιομάζας. Στο εν λόγω σχήμα φαίνεται και η συμμετοχή των διαφόρων παραπροϊόντων καθώς και η μεταβολή του ενεργειακού τους δυναμικού την αντίστοιχη χρονική περίοδο. Όπως ήταν αναμενόμενο η μορφή του γραφήματος αυτού παρουσιάζει ομοιότητες με εκείνο του σχήματος 4.2, καθώς οι αυξομειώσεις στην παραγωγή των παραπροϊόντων επηρεάζει ευθέως ανάλογα το ενεργειακό δυναμικό. Η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε και στην αντίστοιχη αναφορά για το σχήμα 4.2.

Το ενεργειακό δυναμικό της διαθέσιμης φυτικής βιομάζας για το σύνολο της Ελλάδας εκτιμάται, σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010, σε 140 περίπου χιλιάδες TJ. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί σε κάτι λιγότερο από 40 χιλιάδες GWh, σχεδόν όσο ανέρχεται και η ετήσια καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το

Φυτά	Άχυρο	Ξυλώδης Ιστός	Φύλλωμα	Πυρήνας	Φλοιός/ Περικάρπιο	Χούμος/ Πολτός	Άλλα	Σύνολο
Κριθάρι	4660	-	-	-	359	-	-	5019
Φασόλια	112	-	-	-	22	-	-	134
Εσπεριδοειδή	-	5374	-	-	-	2311	-	7685
Βαμβάκι	22005	-	-	-	4402	6601	2200	35208
Αποξηραμένα Φρούτα	-	2800	-	-	284	-	-	3084
Οπώρες	-	6955	-	-	-	-	-	6955
Σταφύλια (φαγώσιμα)	-	1231	-	-	-	-	-	1231
Σταφύλια (για κρασί)	-	2609	-	-	-	870	-	3479
Φιστίκι (Αράπικο)	83	-	-	-	7	-	-	90
Αραβόσιτος	71087	-	-	16346	-	-	-	87433
Πεπόνια και Καρπούζια	-	-	4954	-	-	-	-	4954
Βρώμη	3176	-	-	-	-	-	-	3176
Ελιές (βρώσιμες)	-	2381	-	-	-	-	-	2381
Ελιές (για λάδι)	-	23906	-	-	-	16589	4147	44642
Πατάτες	3398	-	-	-	-	-	-	3398
Ρύζι	3107	-	-	-	1078	-	-	4185
Σίκαλη	1335	-	-	-	-	-	-	1335
Σόργο	4	-	-	1	-	-	-	5
Σόγια	31	-	-	5	-	-	-	36
Ζαχαρότευτλα	-	-	5580	-	-	3348	1116	10044
Ηλίανθος	1213	-	-	674	134	337	-	2358
Καπνός	3266	-	2178	-	-	-	-	5444
Λαχανικά	-	-	6259	-	-	-	-	6259
Σιτάρι Σκληρό	30711	-	-	-	13649	-	-	44360
Σιτάρι Μαλακό	3936	-	-	-	1750	-	-	5686
Σύνολο	148124	45256	18971	17026	21685	30056	7463	288581

Πίνακας 4.2 Ενεργειακό δυναμικό υπολειμμάτων από τη φυτική παραγωγή των σημαντικότερων ειδών που καλλιεργούνται στην ελληνική επικράτεια, σε TJ (πρόβλεψη για το 2010).



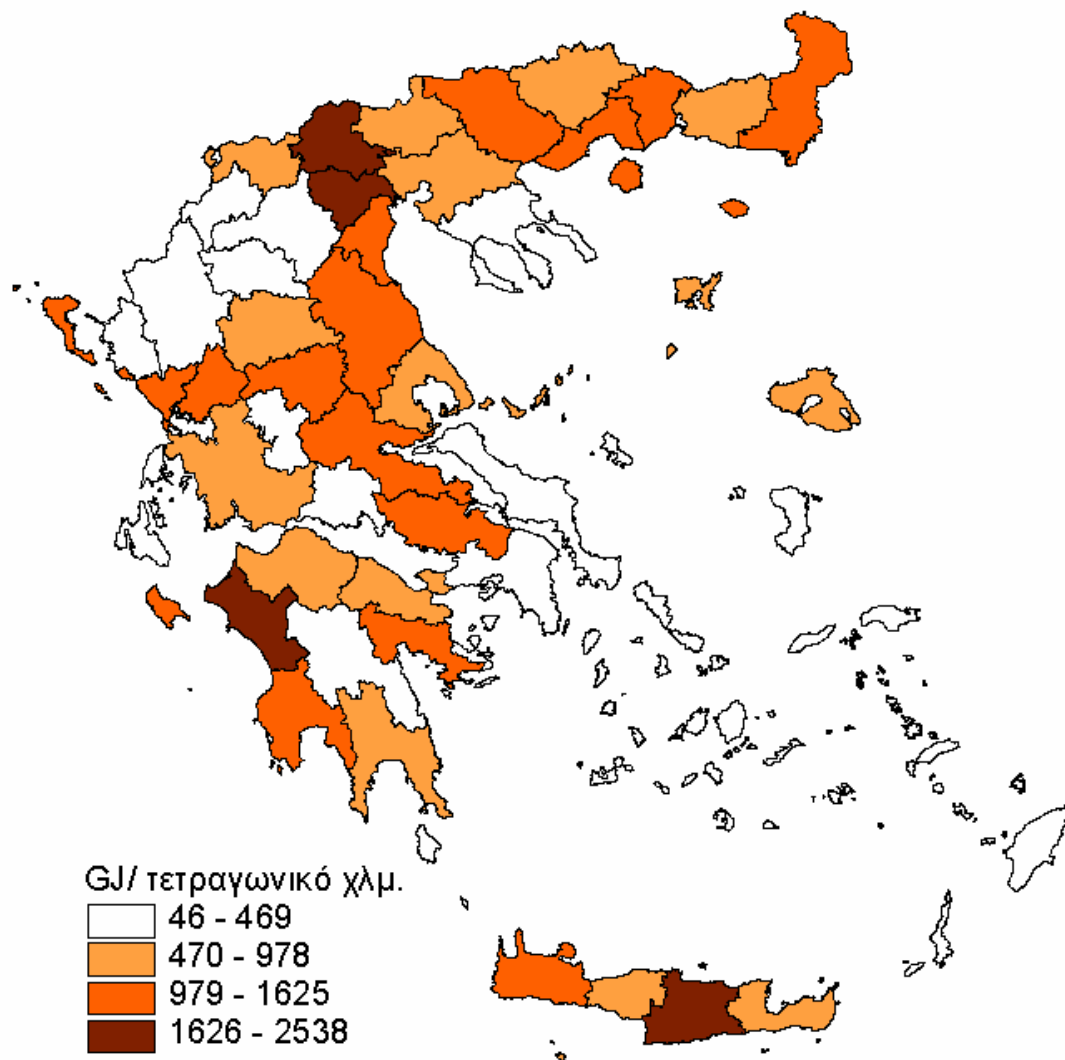
Σχήμα 4.6 Εξέλιξη της διακύμανσης του ενεργειακού δυναμικού της φυτικής βιομάζας, ανά κατηγορία παραπροϊόντων, όπως εκτιμάται για το σύνολο της ελληνικής επικράτειας από το 1970 έως το 2000 και πρόβλεψη μέχρι το 2010.

σύνολο των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που διαθέτει η ΔΕΗ [ICAP, 2000]. Βέβαια το τελικό ποσό ενέργειας που δύναται να παραχθεί από το εκτιμώμενο ενεργειακό δυναμικό της διαθέσιμης φυτικής βιομάζας εξαρτάται από την απόδοση των εφαρμογών τελικής χρήσης και σίγουρα θα είναι κατά πολύ μικρότερο από τις προηγούμενες εκτιμήσεις.

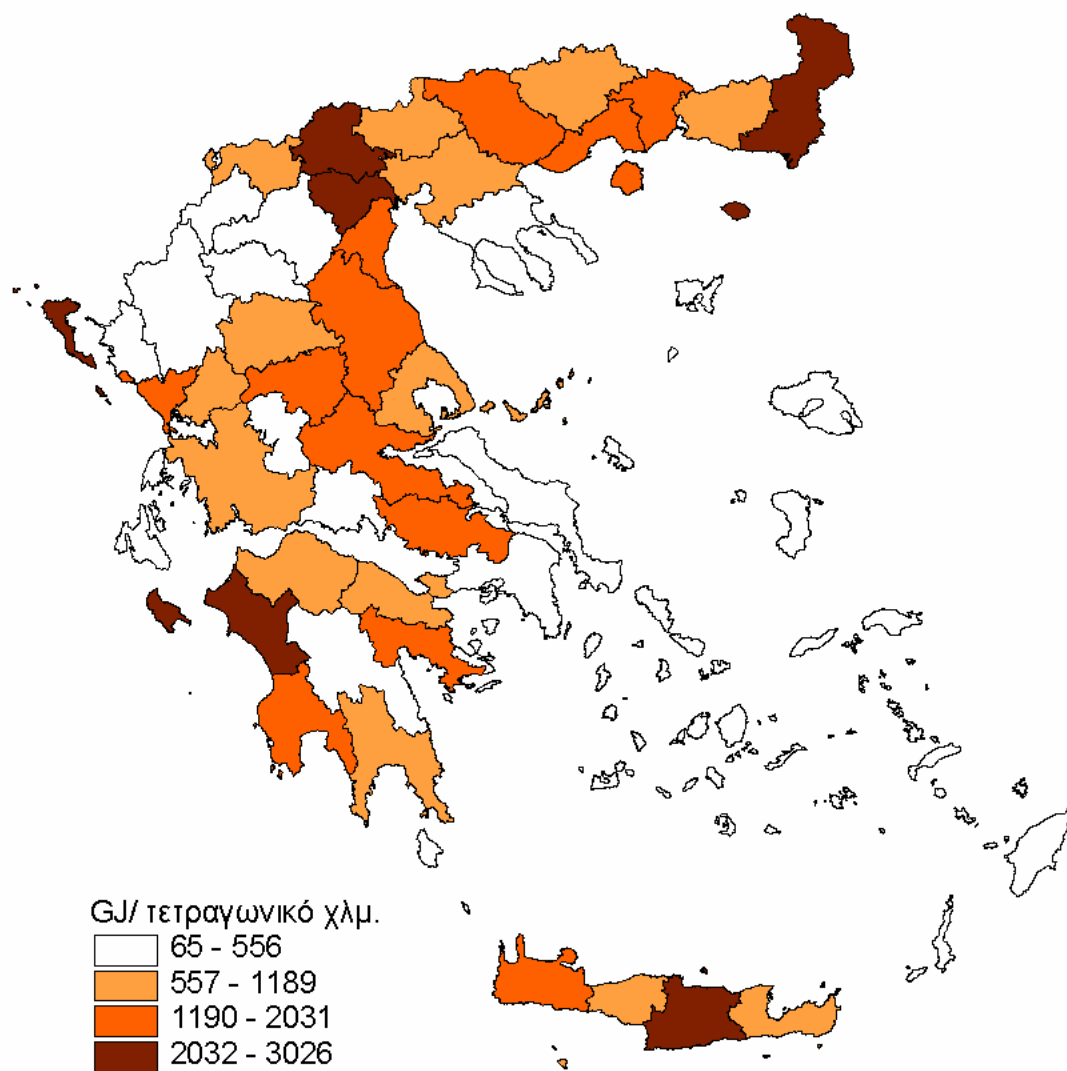
Η γεωγραφική κατανομή του ενεργειακού δυναμικού της διαθέσιμης φυτικής βιομάζας έτσι όπως εκτιμάται για το έτος βάσης των στατιστικών δεδομένων παρουσιάζεται στο χάρτη του Σχήματος 4.7. Τα ενεργειακά μεγέθη είναι εκφρασμένα σε επίπεδο νομού αναγόμενα προς την έκταση τους ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Στους νομούς με τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα συγκαταλέγονται οι Πέλλας, Ημαθίας, Ηλείας και Ηρακλείου οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στη μεγαλύτερη κατηγορία μεγέθους.

Ο αντίστοιχος χάρτης ενεργειακής πυκνότητας σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010 φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Εκτός από τους προαναφερθέντες νομούς στην πρώτη κατηγορία μεγέθους συγκαταλέγονται και οι Έβρου, Ζακύνθου και Κερκύρας υποδηλώνοντας ισχυρές τάσεις ανόδου της φυτικής βιομάζας σε αυτές τις περιοχές. Πολύ μικρό ενεργειακό δυναμικό συναντάμε κατά κύριο λόγο στα νησιά του Αιγαίου και από τους μεγάλους νομούς στην Αρκαδία την Αττική και τα Ιωάννινα. Συγκρίνοντας τους χάρτες αυτούς με τους αντίστοιχους των σχημάτων 4.3 και 4.4 παρατηρούμε κάποιες διαφοροποιήσεις στη σημαντικότητα των νομών που σχετίζονται με τη διάρθρωση της φυτικής παραγωγής και τη διαθεσιμότητα των παραπροϊόντων. Έτσι για παράδειγμα περιοχές όπου η παραγωγή σε ξυλώδεις ιστούς είναι μεγάλη παρουσιάζουν υψηλό ενεργειακό προφίλ (Ηρακλείου, Ημαθίας, Πέλλας) ενώ σε όσες υπάρχει μεγάλη παραγωγή άχυρου (κατά κύριο λόγο κεντρικές και βόρειες περιοχές της χώρας) εμφανίζονται με μικρότερο από το αναμενόμενο ενεργειακό δυναμικό, αλλά όχι απαραίτητα και ασήμαντο.

Το μέρισμα για τις τρεις σημαντικότερες κατηγορίες παραπροϊόντων στο ενεργειακό δυναμικό των 51 νομών της χώρας φαίνεται στο χάρτη του Σχήματος 4.9. Το ενεργειακό δυναμικό από τη ξυλώδη φυτική βιομάζα είναι και το μεγαλύτερο σε νομούς που στο σύνολό τους διαθέτουν μεγάλο βιοδυναμικό. Τα υπολείμματα σε άχυρο διαθέτουν το μεγαλύτερο ενεργειακό δυναμικό στους νομούς Έβρου και Λαρίσης ενώ γενικότερα στις γεωγραφικές περιοχές της Θεσσαλίας, της Μακεδονίας και της Θράκης η συμμετοχή τους είναι υψηλή.



Σχήμα 4.7 Γεωγραφική κατανομή του ενεργειακού δυναμικού φυτικής βιομάζας στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας ανά κατηγορίες μεγέθους σύμφωνα με την εκτίμηση για το έτος 2000.



Σχήμα 4.8 Γεωγραφική κατανομή του ενεργειακού δυναμικού φυτικής βιομάζας στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας ανά κατηγορίες μεγέθους σύμφωνα με την πρόβλεψη για το έτος 2010.



Σχήμα 4.9 Συγκριτική απεικόνιση ανά νομό της συμμετοχής των τριών σημαντικότερων κατηγοριών παραπροϊόντων στο ενεργειακό δυναμικό φυτικής βιομάζας (πρόβλεψη 2010).

4.3 Προοπτικές Αξιοποίησης Φυτικής Βιομάζας

Η ένταση των γεωργικών δραστηριοτήτων στην Ελλάδα παραμένει αρκετά υψηλή παρόλο που τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό ο τομέας παροχής υπηρεσιών. Ένα μεγάλο μέρος των παραπροϊόντων από την καλλιέργεια διαφόρων φυτικών ειδών παραμένει αναξιοποίητο. Στη συνέχεια εξετάζονται οι προοπτικές ενεργειακής αξιοποίησης του εκτιμώμενου δυναμικού σε φυτική βιομάζα για την παραγωγή βιοαιθανόλης και ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3.1 Παραγωγή Βιοαιθανόλης

Η παραγωγή αιθανόλης από τη φυτική βιομάζα θεωρείται σήμερα μια αρκετά υποσχόμενη πρακτική στη διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν από την παραγωγή φυτικών προϊόντων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επιλογή των σημαντικότερων ειδών φυτικής παραγωγής που δύναται να αποτελέσουν κατάλληλο υπόστρωμα τροφοδοσίας για την παραγωγή αιθανόλης στην Ελλάδα.

Από τα 25 είδη φυτικής βιομάζας, των οποίων η αξιοποίηση του ενεργειακού τους δυναμικού είναι και το ζητούμενο, εκείνα που ευνοούν περισσότερο την επεξεργασία με τη μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης φαίνονται στον Πίνακα 4.3 μαζί με τα αποτελέσματα για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Βάση των συντελεστών διαθεσιμότητας και των συντελεστών απόδοσης σε αιθανόλη που επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα είδη φυτών, παρουσιάζεται η εκτίμηση για το έτος βάσης και η αντίστοιχη πρόβλεψη για το 2010. Στον ίδιο πίνακα φαίνονται και τα ποσοστά συμμετοχής για κάθε ένα από τα είδη φυτών που έχουν επιλεγεί, επί του συνολικού δυναμικού για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ελλάδα.

Έτσι, λοιπόν, στο σύνολό της η παραγωγή αιθανόλης από τα παραπροϊόντα φυτικής παραγωγής στην ελληνική επικράτεια σύμφωνα με την εκτίμηση για το έτος βάσης υπολογίζεται περίπου σε 299 χιλιάδες χιλιόλιτρα. Ενώ η προβλεπόμενη ποσότητα για το 2010 εμφανίζεται ακόμα μεγαλύτερη περίπου κατά 18%, φθάνοντας σχεδόν στα 352 χιλιάδες χιλιόλιτρα. Ενδεικτικά, ως μέτρο σύγκρισης, αναφέρεται ότι η κατανάλωση ελαφρύ πετρελαίου (Diesel) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς της ΔΕΗ το 1999 ήταν 389 χιλιάδες

Φυτά	Εκτίμηση 2000			Πρόβλεψη 2010		
	Συνολικό Δυναμικό Βιομάζας (τόνους)	Παραγωγή Αιθανόλης (χιλιόλιτρα)	Συμμετοχή στην Παραγωγή Αιθανόλης (%)	Συνολικό Δυναμικό Βιομάζας (τόνους)	Παραγωγή Αιθανόλης (χιλιόλιτρα)	Συμμετοχή στην Παραγωγή Αιθανόλης (%)
Κριθάρι	424094	22265	7.4	317652	16677	4.7
Αποξηραμένα Φρούτα	159349	42020	14.1	174219	45942	13.1
Σταφύλια (φαγώσιμα)	62946	3569	1.2	65146	3694	1.0
Σταφύλια (για κρασί)	150017	8506	2.8	184071	10437	3.0
Βρώμη	120925	5653	1.9	201037	9398	2.7
Πατάτες	176654	15263	5.1	203482	17581	5.0
Ρύζι	176962	16104	5.4	285687	25997	7.4
Σίκαλη	47990	2368	0.8	76731	3787	1.1
Ζαχαρότευτλα	363992	29975	10.0	601417	49527	14.1
Σιτάρι Σκληρό	2165105	116916	39.1	2772514	149716	42.5
Σιτάρι Μαλακό	673271	36356	12.2	355386	19190	5.4
Σύνολο	4521304	298995	100.0	5237342	351946	100.0

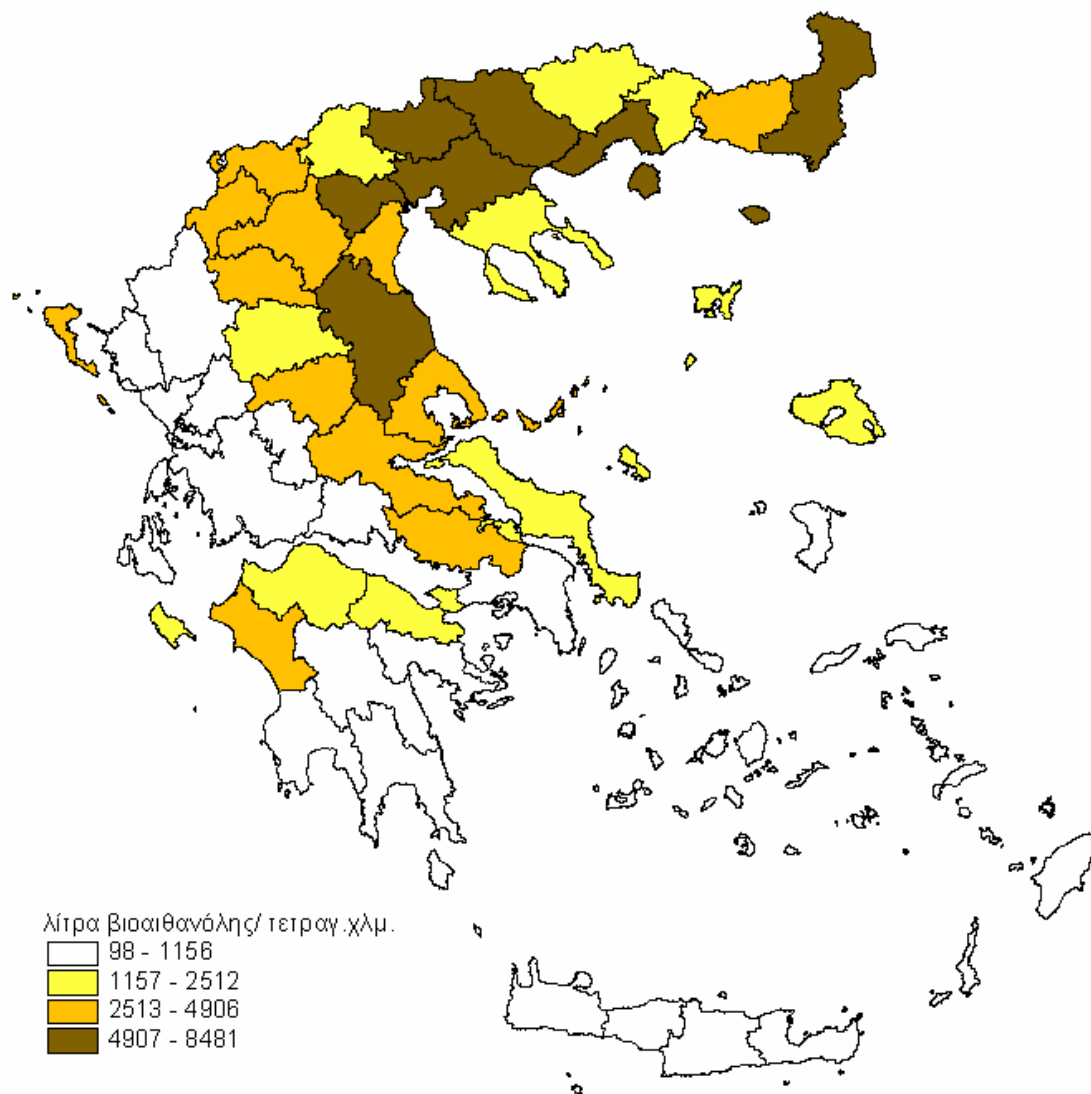
Πίνακας 4.3 Δυναμικό παραγωγής βιοαιθανόλης στο σύνολο της Ελλάδος από τη διαθέσιμη βιομάζα των σημαντικότερων φυτικών ειδών.

χιλιόλιτρα [ICAP, 2000]. Η σύγκριση αυτή αποκτά ειδικό βάρος εφόσον η βιοαιθανόλη προορίζεται για την αντικατάσταση μέρους των αναγκών της χώρας σε εισαγωγές πετρελαίου. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι το συνολικό δυναμικό για την παραγωγή αιθανόλης από απορριπτόμενη φυτική βιομάζα στην Ευρώπη εκτιμάται σε 5.45 εκατομμύρια χιλιόλιτρα [Kim & Dale, 2003] το ποσοστό που αντιστοιχεί, σύμφωνα με την αντίστοιχη πρόβλεψη, στην Ελλάδα είναι της τάξεως του 6.5%.

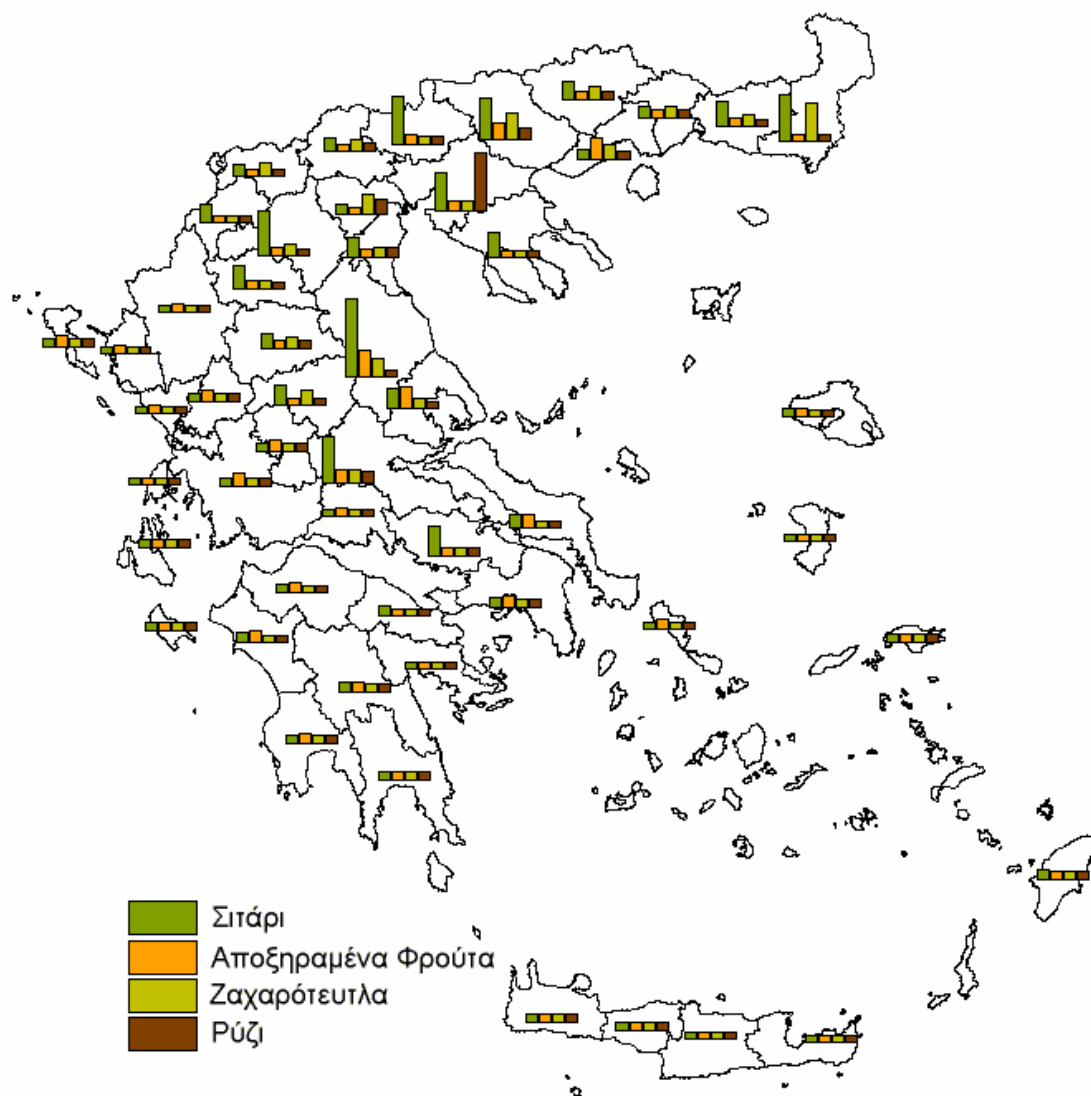
Όσον αφορά την προέλευση του υποστρώματος τροφοδοσίας για την παραγωγή βιοαιθανόλης στον ελληνικό χώρο, η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από τα σιτηρά, τα ζαχαρότευτλα, τα αποξηραμένα φρούτα και την καλλιέργεια ρυζιού σε ποσοστό 47.9%, 14.1%, 13.1% και 7.4% αντίστοιχα, σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010. Η γεωγραφική κατανομή σε επίπεδο νομού του δυναμικού βιοαιθανόλης για κάθε μια από τις 9 κατηγορίες προέλευσης φυτικών ειδών ξεχωριστά (σιτηρά, αποξηραμένα φρούτα, σταφύλια, βρώμη, πατάτες, κριθάρι, ρύζι, σίκαλη και ζαχαρότευτλα) παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Η αντίστοιχη γεωγραφική κατανομή του συνολικού δυναμικού βιοαιθανόλης από όλες τις κατηγορίες φυτικών ειδών μαζί παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.10. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη πυκνότητα παραγωγής σε βιοαιθανόλη βρίσκονται κατά κύριο λόγο στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα. Οι νομοί που εντάσσονται στην πρώτη κατηγορία μεγέθους και ξεχωρίζουν είναι οι Λάρισας, Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Σερρών, Καβάλας και Έβρου. Αντιθέτως μικρό εμφανίζεται το δυναμικό κατά κύριο λόγο στις νησιωτικές περιοχές της χώρας, στην δυτική ηπειρωτική χώρα και στη νότια Πελοπόννησο.

Συγκρίνοντας το χάρτη του σχήματος 4.10 με τον αντίστοιχο της γεωγραφικής κατανομής του ενεργειακού δυναμικού της φυτικής βιομάζας (του σχήματος 4.8) παρατηρούμε σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τους σημαντικότερους νομούς. Αυτό έχει να κάνει με τη διάρθρωση της γεωργικής παραγωγής σε κάθε περιοχή και την παραγωγή παραπροϊόντων που ευνοούν ή όχι την παραγωγή βιοαιθανόλης. Για παράδειγμα στο νομό Ηρακλείου όπου η συμμετοχή των παραπροϊόντων σε άχυρο είναι χαμηλή και σε ξυλώδη βιομάζα υψηλή, παρότι στον χάρτη του ενεργειακού δυναμικού εμφανίζεται στην πρώτη κατηγορία μεγέθους στον αντίστοιχο χάρτη για το δυναμικό σε βιοαιθανόλη βρίσκεται στην τελευταία. Από την άλλη, σε νομούς όπου τα παραπροϊόντα σε άχυρο συμμετέχουν σημαντικά στο ενεργειακό δυναμικό, η παραγωγή βιοαιθανόλης



Σχήμα 4.10 Γεωγραφική κατανομή του συνολικού δυναμικού σε βιοαθανόλη στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας ανά κατηγορίες μεγέθους σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010.



Σχήμα 4.11 Συγκριτική απεικόνιση της συμμετοχής στην παραγωγή αιθανόλης από τις τέσσερις σημαντικότερες κατηγορίες φυτικών ειδών στους 51 νομούς της χώρας (πρόβλεψη 2010).

είναι αρκετά υψηλή. Αυτό σχετίζεται πρωτίστως με το γεγονός ότι η βιοαιθανόλη προκύπτει από τη ζύμωση αχυροκυτταρινούχων και σακχαρούχων υλών.

Στο χάρτη του Σχήματος 4.11 φαίνεται η συμμετοχή για κάθε ένα από τις τέσσερις σημαντικότερες κατηγορίες φυτικών ειδών (σιτηρά, ζαχαρότευτλα, αποξηραμένα φρούτα και ρύζι) στην παραγωγή βιοαιθανόλης για τους 51 νομούς της χώρας. Όσον αφορά τους νομούς με το μεγαλύτερο δυναμικό σε βιοαιθανόλη, η συμμετοχή από την παραγωγή σιτηρών είναι και η σημαντικότερη στους νομούς Λάρισας, Κιλκίς, Σερρών και Έβρου, από την παραγωγή αποξηραμένων φρούτων στον νομό Καβάλας, από την καλλιέργεια ζαχαρότευτλων στον νομό Ημαθίας και από την παραγωγή ρυζιού στο νομό Θεσσαλονίκης. Ποσοτικά είναι επίσης σημαντική η συμμετοχή από τα ζαχαρότευτλα στο νομό Έβρου και Σερρών, όπως και η συμμετοχή των σιτηρών στους νομούς Φθιώτιδας και Κοζάνης.

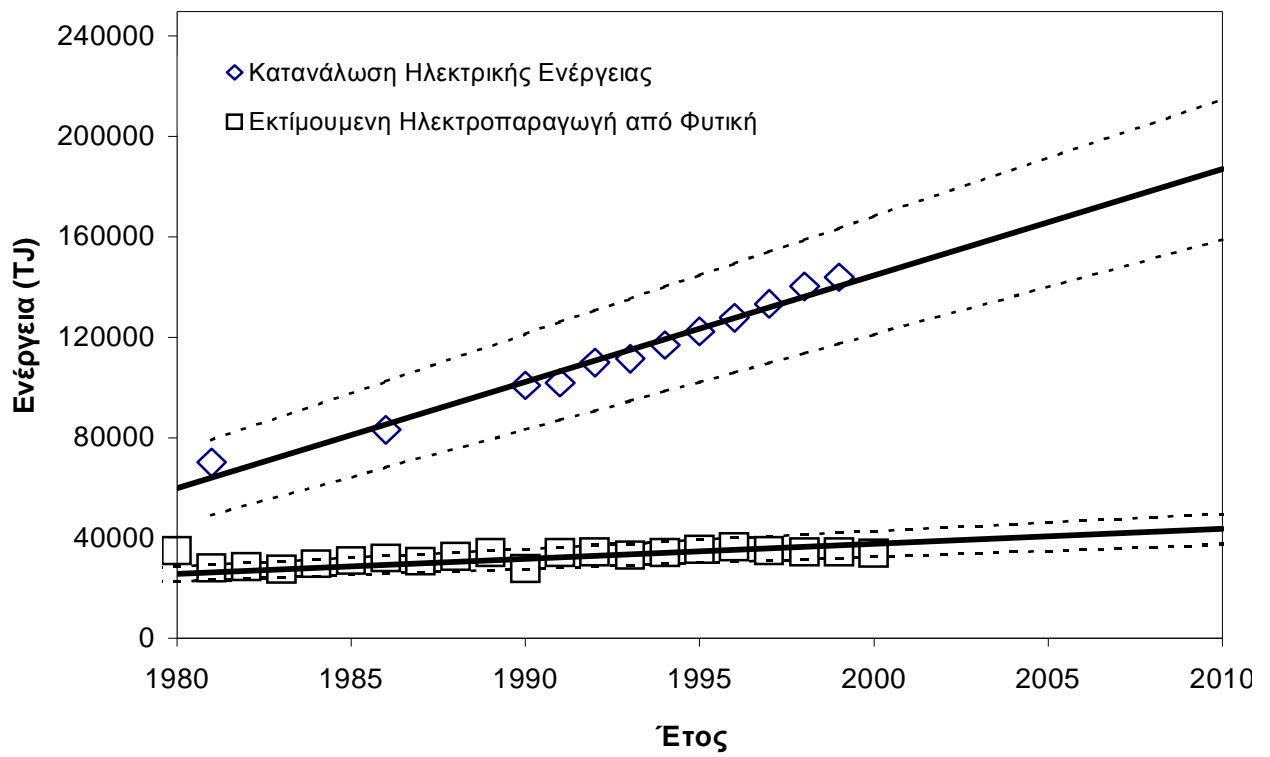
4.3.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Από τη βιομάζα δύναται να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια αφού πρώτα οδηγηθεί σε συστήματα καύσεως που είτε λειτουργούν αυτόνομα με πρώτη ύλη μόνο τη βιομάζα είτε χρησιμοποιούν ως κύριο καύσιμο κάποια άλλη πηγή ενέργειας με βάση τον άνθρακα (λιγνίτη, πετρέλαιο κλπ.) και ως συμπληρωματικό καύσιμο τη βιομάζα. Τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας-ηλεκτρισμού παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες αποδόσεις, ακριβώς επειδή από την όλη διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής αξιοποιούν και την παραγόμενη θερμική ενέργεια που διαφορετικά αποβάλλεται στο περιβάλλον.

Η εκτίμηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη διαθέσιμη φυτική βιομάζα στο σύνολο της Ελλάδος πραγματοποιήθηκε βάση των αντίστοιχων εκτιμήσεων για το ενεργειακό περιεχόμενο, λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική τιμή της απόδοσης ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμη ύλη βιομάζα είναι ίση με 30% [Turnbull, 1996]. Στο Σχήμα 4.12 φαίνονται τα αποτελέσματα για τη χρονική εξέλιξη της εν λόγω ηλεκτροπαραγωγής από το 1980 μέχρι το 2010 συγκρίνοντάς την με την συνολική κατανάλωση ενέργειας όπως προκύπτει από τα στοιχεία που διαθέτει η ΔΕΗ μέχρι το έτος 2000. Οι τιμές και των δύο ποσοτήτων για τα υπόλοιπα έτη έως το 2010 αποτελούν πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.

Παρατηρούμε ότι η αξιοποίηση της φυτικής βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να συμβάλλει στην κάλυψη ενός σημαντικού μέρους

των αναγκών, το μέγεθος του οποίου για το 2010 υπολογίζεται κατά προσέγγιση σε 37 με 50 χιλιάδες TJ (εκτίμηση με 95% διάστημα εμπιστοσύνης) ποσότητα που αντιστοιχεί περίπου στο 1/4 με 1/5 της προβλεπόμενης ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια στο σύνολο της Ελλάδος όσον αφορά το ίδιο έτος. Επίσης παρότι η εκτιμώμενη ηλεκτροπαραγωγή από τη φυτική βιομάζα αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου, εντούτοις ο ρυθμός αύξησης είναι μικρότερος από αυτόν που αφορά την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 4.12 Εκτίμηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη φυτική βιομάζα στο σύνολο της Ελλάδος και σύγκριση με την αντίστοιχη κατανάλωση.

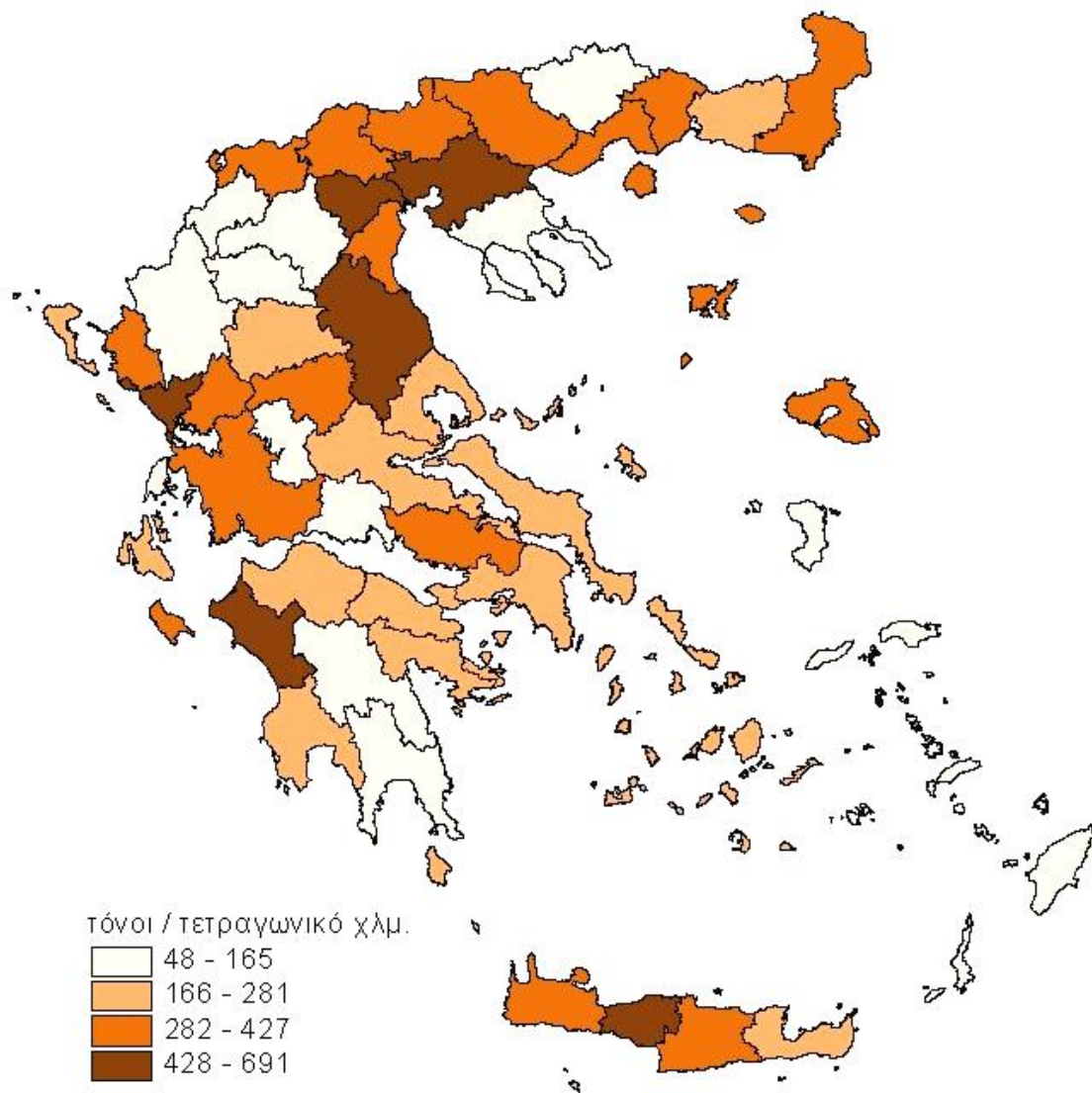
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα απόβλητα από τις αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες στον ελλαδικό χώρο αποτελούν ένα σημαντικό δυναμικό σε βιομάζα το οποίο στο μεγαλύτερο μέρος του παραμένει ανεκμετάλλευτο. Η ανακύκλωση του υλικού αυτού μέσω της ενεργειακής του αξιοποίησης θα επιφέρει πολλαπλά οφέλη διαχειριστικής, ενεργειακής και περιβαλλοντικής φύσεως. Αυτό που παραμένει περιοριστικός παράγοντας και επιδέχεται ενδελεχής μελέτη είναι η οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Γενικότερα, το κατά πόσο η βιομάζα ως μία εν δυνάμει πηγή ενέργειας θα καταστεί οικονομικά ανταγωνιστική απέναντι στις συμβατικές πηγές αλλά και στις υπόλοιπες ανανεώσιμες εξαρτάται κυρίως από την πρόοδο που θα επιτευχθεί στην τεχνολογία των μεθόδων ενεργειακής της αξιοποίησης και από τις πολιτικές ενθάρρυνσης ή μη των κυβερνητικών και άλλων οργανισμών. Για παράδειγμα, στη Φινλανδία όπου εφαρμόζεται ο φόρος άνθρακα στην ενεργειακή πολιτική της χώρας, η συμμετοχή της βιομάζας στο ενεργειακό της ισοζύγιο ανέρχεται στο 17%, όταν το αντίστοιχο ποσοστό για το σύνολο των χωρών της ΕΕ είναι μόλις 3%. Με την εφαρμογή πολιτικών εσωτερικοποίησης του περιβαλλοντικού κόστους από την παραγωγή ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα της βιομάζας απέναντι στις συμβατικές μορφές ενέργειας.

Στην Ελλάδα ο συνολικός όγκος των αποβλήτων που προέρχονται από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες εκτιμάται σε 35.5 εκατομμύρια τόνους ετησίως, σύμφωνα με την πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε για το 2010. Από αυτή την ποσότητα οι 18.1 εκατομμύρια τόνοι αφορούν τα παραπροϊόντα της φυτικής παραγωγής και τα υπόλοιπα 17.4 εκατομμύρια τα υπολείμματα ζωικής προέλευσης. Η συνολική εικόνα της γεωγραφικής κατανομής του δυναμικού σε βιομάζα από τις αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες στους 51 νομούς της χώρας (εξαιρείται το Αγ.Όρος) παρουσιάζεται στο χάρτη GIS του Σχήματος 5.1. Τα μεγέθη έχουν αναχθεί στην έκταση που καλύπτει ο κάθε νομός ώστε να είναι άμεσα συγκρίσιμα.

Οι περιοχές μεγάλης συγκέντρωσης βιομάζας έχουν ιδιαίτερη σημασία στο σχεδιασμό ενός συστήματος αξιοποίησής της, καθώς επίσης και στη λήψη αποφάσεων όσον αφορά για παράδειγμα την ορθολογική κατανομή μονάδων επεξεργασίας. Έτσι, λοιπόν, σύμφωνα με την εκτίμηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσης εργασίας τη μεγαλύτερη πυκνότητα αποβλήτων συναντάμε



Σχήμα 5.1 Γεωγραφική κατανομή του δυναμικού βιομάζας από το σύνολο των αγροκτηνοτροφικών δραστηριοτήτων στους 51 νομούς της χώρας, σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010.

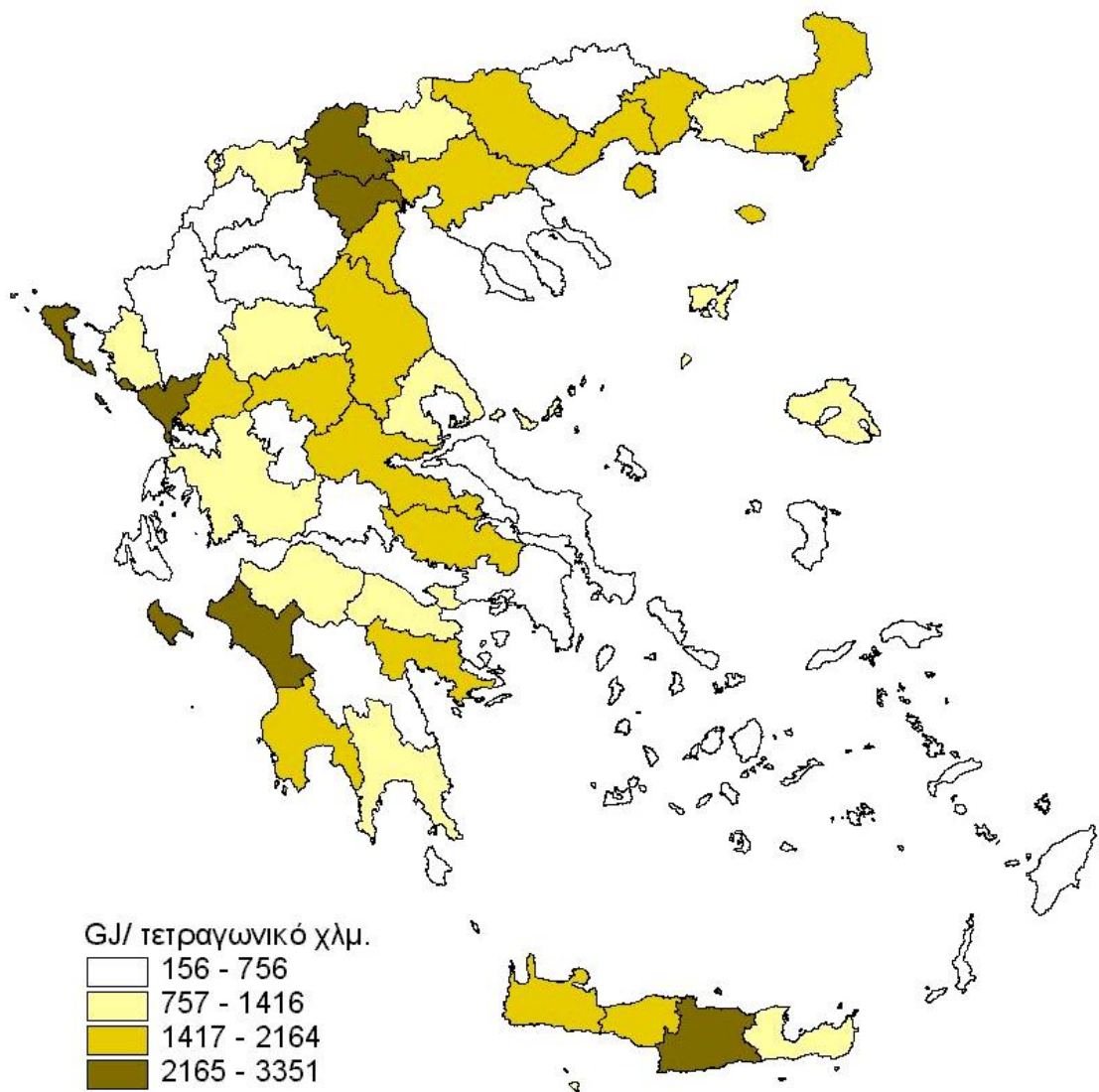
στους νομούς Θεσσαλονίκης, Ημαθίας, Πρεβέζης, Λαρίσης, Ηλείας και Ρεθύμνου. Ενώ, γενικότερα μεγάλη συγκέντρωση βιομάζας από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες απαντάται στην κεντρική Μακεδονία, αλλά και σε περιοχές της Θεσσαλίας, της Ηπείρου και της Κρήτης όπου οι νομοί που περιλαμβάνουν συγκαταλέγονται στις πρώτες κατηγορίες μεγέθους του χάρτη πυκνότητας βιομάζας (σχήμα 5.1).

Το αντίστοιχο ενεργειακό δυναμικό της διαθέσιμης βιομάζας από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες στο σύνολο της Ελλάδας εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των 172.5 PJ. Από αυτό το ποσό τα 140.9 PJ αντιστοιχούν στη φυτική βιομάζα και τα υπόλοιπα 31.6 PJ στη ζωική βιομάζα. Στην αξιοποίηση του σημαντικό ρόλο κατέχει η γεωγραφική κατανομή που εμφανίζει στον ελλαδικό χώρο όπως φαίνεται στο χάρτη GIS του Σχήματος 5.2, όπου παρουσιάζεται η ενεργειακή πυκνότητα του συνολικού διαθέσιμου δυναμικού σε βιομάζα από αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες στους 51 νομούς της χώρας.

Οι πληροφορίες που παρέχει ο εν λόγω χάρτης είναι χρήσιμη όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ενεργειακή αξιοποίηση του κατανεμημένου δυναμικού αγροκτηνοτροφικών αποβλήτων. Στην ηπειρωτική χώρα το μεγαλύτερο ενεργειακό δυναμικό εντοπίζεται στους νομούς Ημαθίας, Πέλλας Πρεβέζης και Ηλείας, ενώ από τις νησιωτικές περιοχές στους νομούς Ηρακλείου, Ζακύνθου και Κερκύρας. Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται σε σχέση με το χάρτη του προηγούμενου σχήματος σχετίζονται με τη διάρθρωση των αγροκτηνοτροφικών δραστηριοτήτων και τη διαθεσιμότητα των αποβλήτων.

Στο σχεδιασμό ενός έργου αξιοποίησης της απορριπτόμενης φυτικής και ζωικής βιομάζας στην ελληνική επικράτεια, η παρούσα μελέτη με τη βοήθεια των GIS προσφέρει ένα πρώτο βήμα στη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την κατανομή του σχετικού δυναμικού σε μεγάλη κλίμακα (επίπεδο νομού). Επιπλέον επιχειρήθηκε μια εκτίμηση των δυνατοτήτων ενεργειακής του αξιοποίησης, για μεν τη ζωική βιομάζα με τη μέθοδο της αναερόβιας επεξεργασίας (προς παραγωγή βιοαερίου), για δε τη φυτική βιομάζα με τη μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης (προς παραγωγή βιοαιθανόλης). Και οι δύο πρακτικές επιλέχθηκαν ύστερα από προσεκτική μελέτη των επικρατέστερων μεθόδων που εφαρμόζονται σε άλλες χώρες όπου υπάρχει σχετική εμπειρία στην ενεργειακή αξιοποίηση βιομάζας.

Όσον αφορά τη ζωική βιομάζα η ποσότητα σε βιοαέριο που εκτιμάται ότι δύναται να παραχθεί από την επεξεργασία της σε αντιδραστήρες αναερόβιας διάσπασης είναι της τάξεως των 424 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων, σύμφωνα με



Σχήμα 5.2 Γεωγραφική κατανομή του ενεργειακού δυναμικού της διαθέσιμης βιομάζας από το σύνολο των αγροκτηνοτροφικών δραστηριοτήτων στους 51 νομούς της χώρας, σύμφωνα με την πρόβλεψη για το 2010.

την πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε για 2010. Το μέγιστο θεωρητικό ποσό ενέργειας που αντιστοιχεί σε αυτήν την ποσότητα ανέρχεται σε περίπου 9.2 PJ. Όμως το τελικό ωφέλιμο ποσό ενέργειας που δύναται να αξιοποιηθεί είναι σημαντικά μικρότερο και εξαρτάται από τις εφαρμογές τελικής χρήσης που θα οδηγηθεί το βιοαέριο για καύση, από τις οποίες τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας επιτυγχάνουν τη μεγαλύτερη απόδοση.

Εξετάστηκε, επίσης, η περίπτωση καθαρισμού του βιοαερίου με σκοπό την εισαγωγή του στο υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου. Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται με επιτυχία σε πολλές χώρες τις Ευρώπης αλλά και στις ΗΠΑ. Στην Ελλάδα η ο εμπλουτισμός του δικτύου με υποκατάστατο καύσιμο το βιοαέριο θα συμβάλλει στην κάλυψη των αναγκών σε αέριο καύσιμο που ως επί το πλείστον εισάγεται από τρίτες χώρες. Το μειονέκτημα αυτής της πρακτικής είναι ότι προαπαιτείται πλήρης καθαρισμός του βιοαερίου από τα ανεπιθύμητα αέρια συστατικά (CO_2 , H_2S και υδρατμούς) γεγονός που καθιστά αυτήν την επιλογή ιδιαίτερα δαπανηρή. Δεδομένου, όμως, ότι οι ανάγκες της χώρας σε αέριο καύσιμο αυξάνονται συνεχώς και ότι το κόστος καθαρισμού του βιοαερίου αναμένεται να μειωθεί όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία, η επιλογή του βιοαερίου είτε ως εναλλακτικό καύσιμο για χρήση σε τοπικό επίπεδο απευθείας σε εφαρμογές τελικής χρήσης φυσικού αερίου είτε για τον εμπλουτισμό στο υπάρχον δίκτυο φυσικού αερίου, φαντάζει μια όλο και περισσότερο υποσχόμενη πρακτική.

Η επεξεργασία της φυτικής βιομάζας με τη μέθοδο της αλκοολικής ζύμωσης εκτιμάται ότι μπορεί να αποφέρει σε εθνικό επίπεδο υγρό καύσιμο (αιθανόλη) της τάξεως των 352 χιλιάδων χιλιόλιτρων (πρόβλεψη 2010). Η παραγωγή βιοαιθανόλης από τα παραπροϊόντα της καλλιέργειας σιτηρών και ζαχαρότευτλων προσδίδουν μια εναλλακτική επιλογή καυσίμου για τις μεταφορές, καθώς η πρόσμιξη αιθανόλης με βενζίνη στη σωστή αναλογία καθιστά δυνατή τη χρήση της σε κινητήρες οχημάτων. Η καύση βιοαιθανόλης αντί για πετρέλαιο προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη αφού στα καυσαέρια η ποσότητα των νιτρικών και θεικών οξέων μειώνεται σημαντικά. Επίσης για την Ελλάδα αποκτά πρόσθετο ενδιαφέρον από τη στιγμή που η κατεύθυνση της ενεργειακής πολιτικής τα τελευταία χρόνια συμπεριλαμβάνει τη μείωση των εισαγωγών σε ελαφρύ πετρέλαιο (Diesel). Η παραγωγή βιοαιθανόλης ως εναλλακτικό καύσιμο φαντάζει μια αρκετά υποσχόμενη πρακτική καθώς προκύπτει από μια αναξιόποιγη εγχώρια πηγή ενέργειας αποτελώντας μια ελκυστική επιλογή όσον αφορά την ενεργειακή αυτονομία και την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της χώρας.

Εν κατακλείδι, εξετάζοντας συνολικά τις προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας ως μία εν δυνάμει ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η ανταγωνιστικότητα των μεθόδων επεξεργασίας των διαθέσιμων ποσοτήτων βιομάζας θα εξαρτηθεί από το κατά πόσο θα επιτραπεί στο μέλλον οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας να διαμορφώνονται ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των ενεργειακών αποθεμάτων. Επιπλέον, η εσωτερικοποίηση του εξωτερικού κόστους παραγωγής (π.χ. περιβαλλοντικό κόστος) στην τιμή πώλησης του ενεργειακού προϊόντος θα ενθαρρύνει την ανεξάρτητη παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα και γενικότερα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

I. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Akinbami J.-F.K., Ilori M.O., Oyebisi T.O., Akinwumi I.O., Adeoti O., *Biogas energy use in Nigeria: current status, future prospects and policy implications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2001;5:97-112.

American Society of Agricultural Engineers (ASAE), *Manure Production and Characteristics*, ASAE Standards 2000, D384.1 DEC99.

Barker J.C., Hodges S.C., Walls F.R., *Livestock manure production rates and nutrient content*, North Carolina Agricultural Chemicals Manual, Chapter X-Fertilizer Use, 2002.

Borjesson P.H., *Energy analysis of biomass production and transportation*, Biomass and Bioenergy 1996;11(4);305-18.

Chatziathanassiou A., *Present State of Biogas in Greece*, Center of Renewable Energy Sources (CRES), Pikermi, Greece (<http://www.ad-nett.org/html/greece.html>).

Chhabra A., Palria S., Dadhwal V.K., *Growing stock-based forest biomass estimate for India*, Biomass and Bioenergy 2002;22;187-94.

D' Apote S.L., *IEA biomass energy analysis and projections*, In: Conference Proceedings of Biomass Energy: Data, Analysis and Trends, 23-24 March, Paris: OECD;1998.

Dagnall S., Hill J., Pegg D., *Resource mapping and analysis of farm livestock manures-assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes*, Bioresource Technology 2000;71;225-234.

Di Blasi C., Tanzi V., Lanzetta M., *A study on the production of agricultural residues in Italy*, Biomass and Bioenergy 1997;12(5);321-31.

Diamantidis N., Koukios E., *Agricultural crops and residues as feedstocks for non-food products in Western Europe*, *Industrial Crops and Products* 2000;11;97-106.

Faaij A., Doorn J., Curvers T., Waldheim L., Olsson E., Wijk A., Daey-Ouwens C., *Characteristics and availability of biomass waste and residues in the Netherlands for gasification*, *Biomass and Bioenergy* 1997;12(4);225-40.

Hall D.O., *Biomass energy in industrialized countries-a view of the future*, *Forest Ecology and Management* 1997;91;17-45.

Hall D.O. and Scrase J.I., *Will Biomass Be The Environmentally Friendly Fuel of the Future?*, *Biomass and Bioenergy* 1998;15;357-367.

Hammad M., Badarneh D., Tahboub K., *Evaluating variable organic waste to produce methane*, *Energy Conversion & Management* 1999;40:1463-1475.

Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), *Biogas Digest*, German Agency for Technical Cooperation, Eschborn, 2000.

International Energy Agency (IEA), *Biogas Upgrading and Utilisation*, Bioenergy Task 24: Energy from biological conversion of organic waste, AEA Technology Environment, Abingdon, Oxfordshire, UK, 2001.

Kaygusuz K., Turker M.F., *Biomass energy potential in Turkey*, *Renewable Energy* 2002;26:661-678.

Kim S., Dale B.E., *Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues*, *Biomass and Bioenergy* 2003;article in press.

Klass L. D., *Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals*, Academic Press, San Diego, 1998, Chapter III. (Agricultural Solid Wastes): pg.143-146.

Maeng H., Lund H., Hvelplund F., *Biogas plants in Denmark: technological and economic developments*, *Applied Energy* 1999;64:195-206.

Maniatis K., *Progress in biomass gasification*, Directorate General for Energy, European Commission, Brussels, 2001.

McKendry P., *Energy production from biomass (part 1 and 2): conversion technologies*, *Bioresource Technology* 2002;83;37-54.

Polprasert Chongrak, *Organic Waste Recycling (Second Edition)*, John Wiley & Sons, Environmental Engineering Program, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1996, Chapter 4.5 (Biogas Production): pg.149-158.

Polychroniou G., *The Natural Gas Market in Greece in the New International Business Environment*, Hellenic Association of Mechanical & Electrical Engineers (HAMEE), International Congress: Energy 2002, Athens, 12-15 June 2002.

Ramachandra T.V., Joshi N.V., Subramanian D.K., *Present and prospective role of bioenergy in regional energy system*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2000;4:375-430.

Sidiras D.K., Koukios E.G., *BIOBASE: A Database for Accessing the Biomass Potential in National and Regional Level*, Proc. 9th European Bioenergy Conference, Biomass for Energy and the Environment, Copenhagen, Denmark 1996.

Turnbull J.H., *Strategies for achieving a sustainable, clean and cost-effective biomass resource*, *Biomass and Bioenergy* 1996;10(2-3);93-100.

Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E.G., *Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method*, *Biomass and Bioenergy* 2001;20;101-112.

Wolfgang Tentscher, *Biogas in the internal market of gas-Compensation for Biogas injected into the Gas Grid. New Possibilities*, 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, June 2002.

II. ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αθανασόπουλος Νίκος, *Εξοικονόμηση Ενέργειας με Αναερόβια Επεξεργασία και Χρήση Βιοαερίου*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ), Πάτρα, 1991.

Αποστολάκης Μ., Κυρίτσης Σ., Σούτερ Χ., *Το Ενεργειακό Δυναμικό της Βιομάζας Γεωργικών και Δασικών Υποπροϊόντων (Έρευνα στον ελληνικό χώρο)*, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας (ΕΛΚΕΠΑ), Αθήνα 1987.

Δρής Α. Μανόλης, *Ενέργεια: Πηγές - Εφαρμογές - Εναλλακτικές Λύσεις*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1996, κεφ.13 (Ενέργεια Βιομάζας): σελ.231-237.

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΣΥΕ), *Γεωργική Στατιστική της Ελλάδος: Γεωργία – Κτηνοτροφία – Δάση – Αλιεία*, τεύχη ετών 1970-2000.

ΕΣΥΕ, *Αποτελέσματα Απογραφής Γεωργίας και Κτηνοτροφίας της 17^{ης} Μαρτίου 1991*, Αθήνα, 1998.

ICAP/Δήλος Επικοινωνίες, *Η Αγορά Ενέργειας στην Ελλάδα*, Ιούνιος 2000 (www.energia.gr/Meleti_icap).

Κακλαμάνης Φ.Α., *Περιγραφή και Αποτίμηση Εξωτερικού Κόστους του Συστήματος Παραγωγής Βιοηλεκτρισμού από Ενεργειακά Φυτά-Γεωργικά Παραπροϊόντα*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών (ΕΜΠ), Τομέας IV: Σύνθεση & Ανάπτυξη Βιομηχανικών Διαδικασιών, Εργαστήριο Οργανικών & Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών, Αθήνα, 1997.

Kranert Martin, *Τελευταίες εξελίξεις στις τεχνολογίες απορριμμάτων και βιομάζας*, Πρακτικά Ημερίδας με θέμα: Διαχείριση & Τεχνολογίες Αξιοποίησης Βιομάζας και Απορριμμάτων, ΤΕΕ, Πολιτιστικό Κέντρο Θερμής, 23 Ιουνίου 1997.

Νικολαΐδης Ν., *Κομποστοποίηση Οργανικών Υπολειμμάτων*, Πρακτικά Ημερίδας με θέμα: Διαχείριση & Τεχνολογίες Αξιοποίησης Βιομάζας και Απορριμμάτων, ΤΕΕ, Πολιτιστικό Κέντρο Θερμής, 23 Ιουνίου 1997.

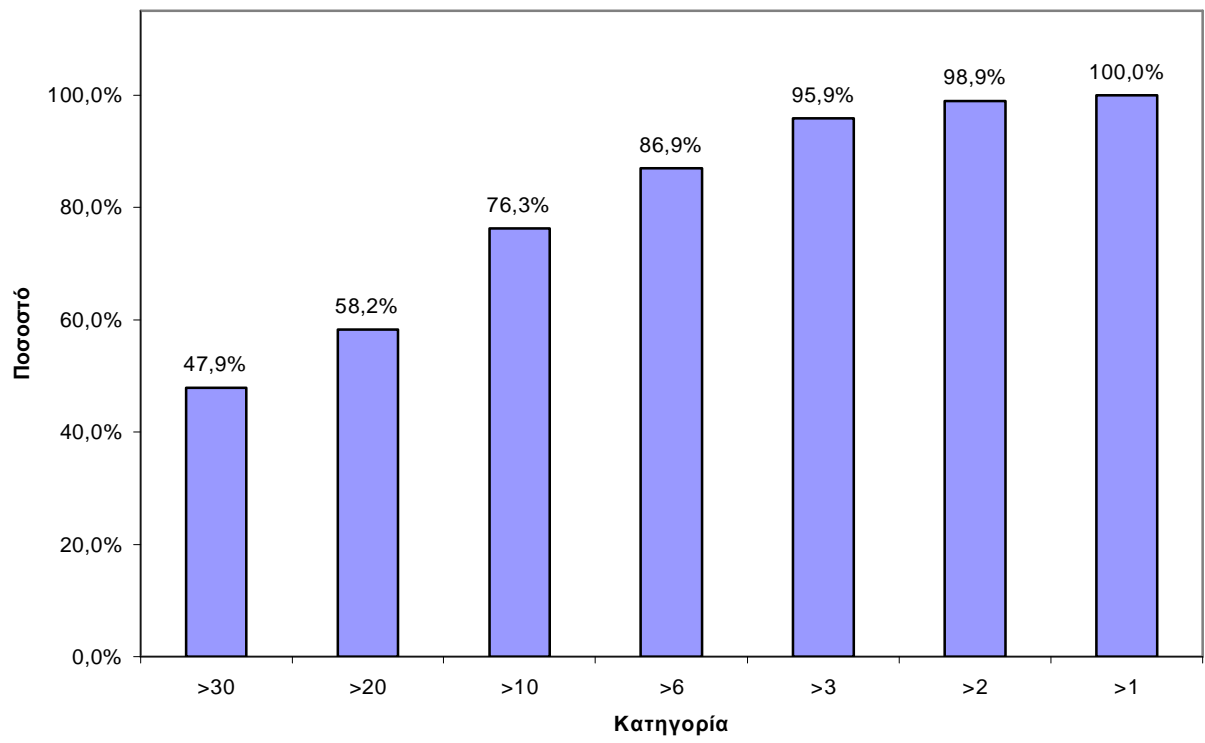
Σαμολαδά Κ. Μαρία και Ζαμπανιώτου Α. Αναστασία, *Έρευνα σε θέματα βιομάζας*,
Πρακτικά Ημερίδας με θέμα: Διαχείριση & Τεχνολογίες Αξιοποίησης Βιομάζας και
Απορριμμάτων, ΤΕΕ, Πολιτιστικό Κέντρο Θερμής, 23 Ιουνίου 1997.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

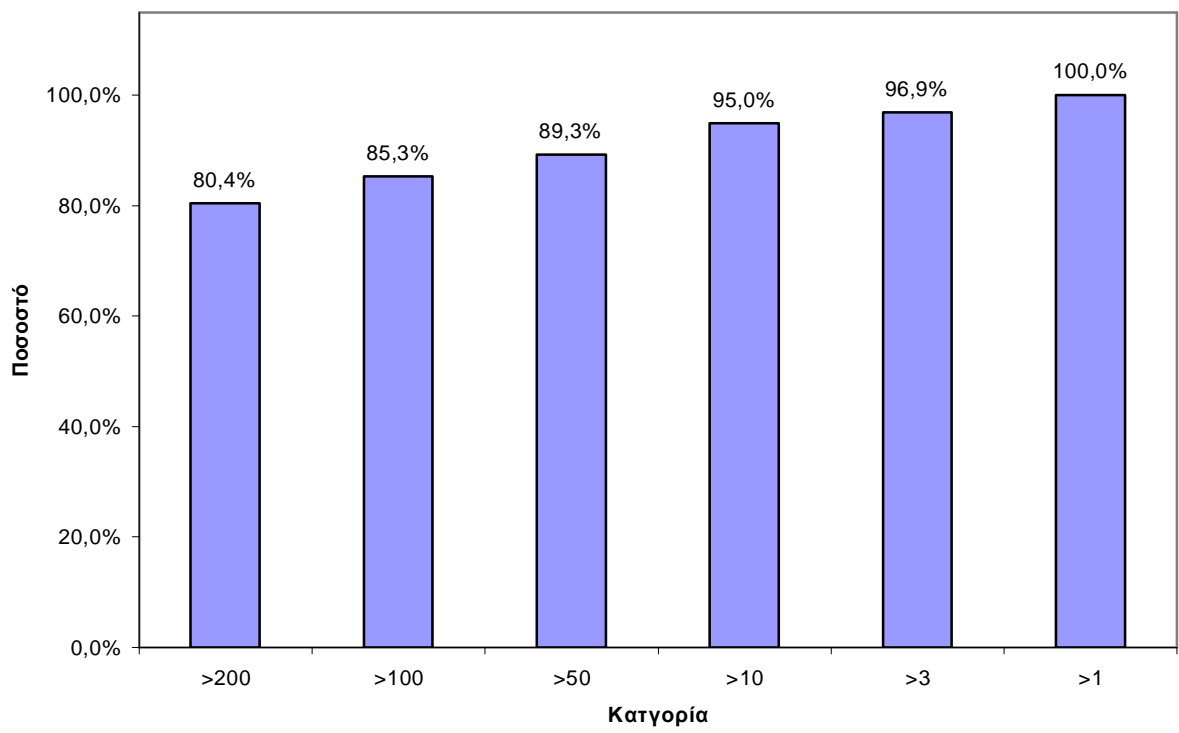
Παράρτημα Α:

Αθροιστική κατανομή του πληθυσμού ζωικών ειδών ανά κατηγορίες μεγέθους
κτηνοτροφικών μονάδων ή εκμεταλλεύσεων
(σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ για το 1991)

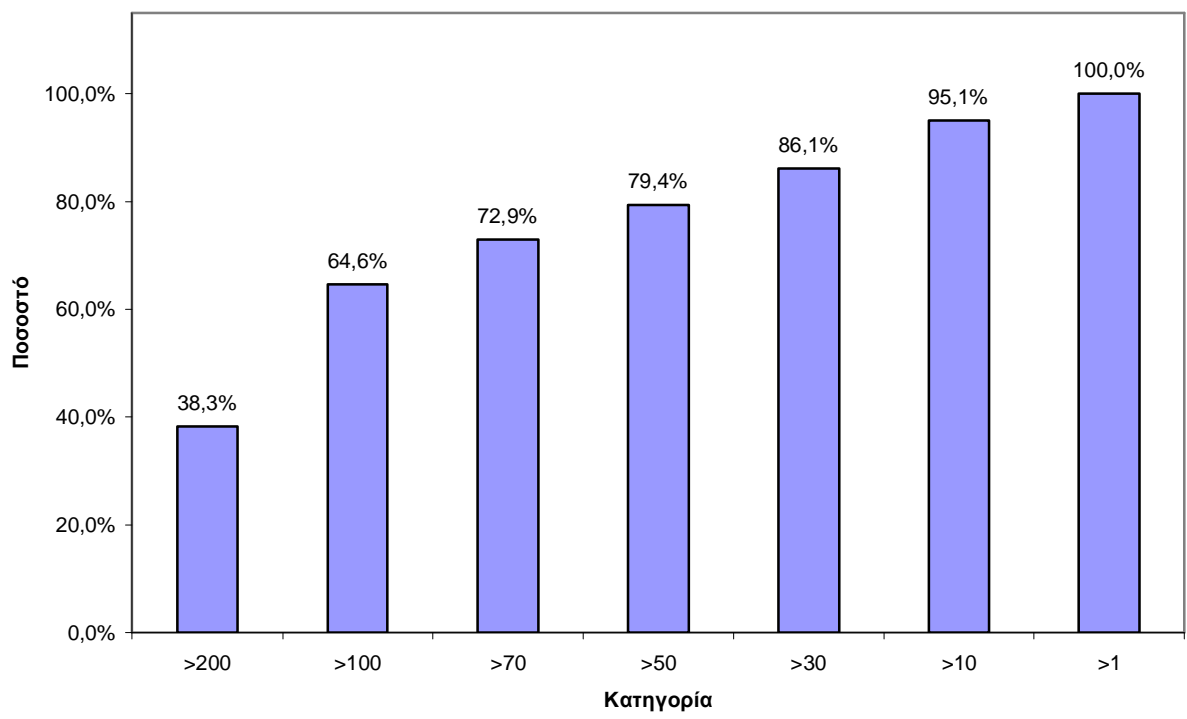
Βοοειδή



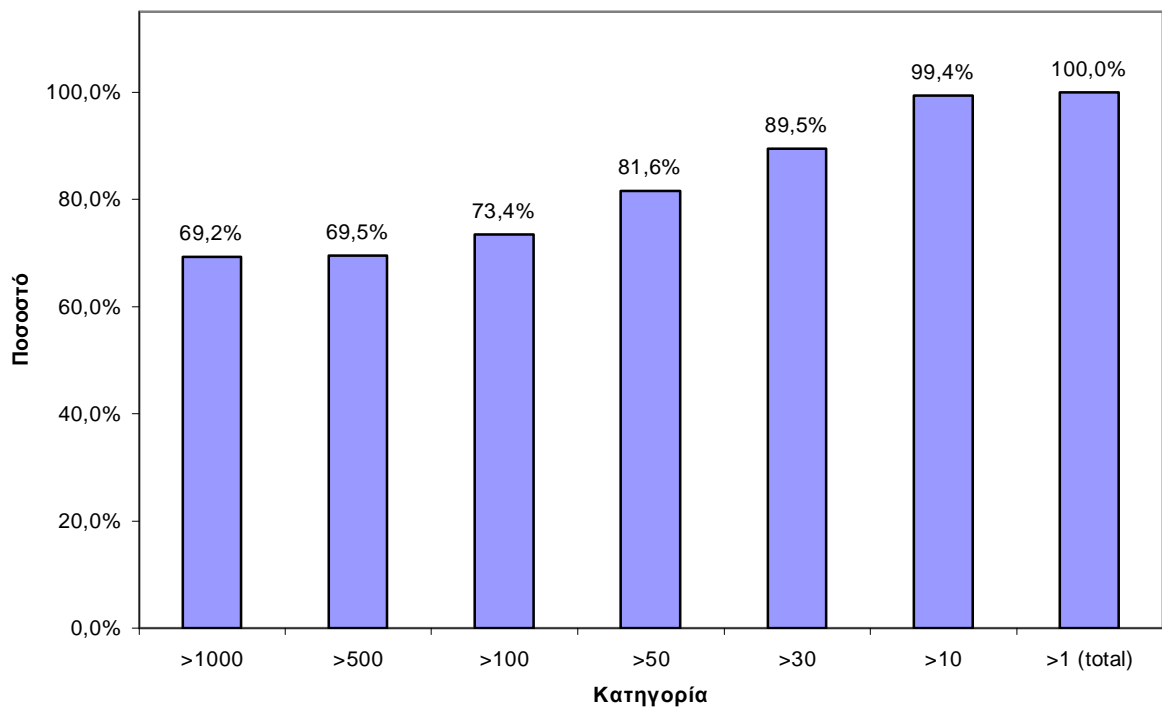
Χοιροειδή



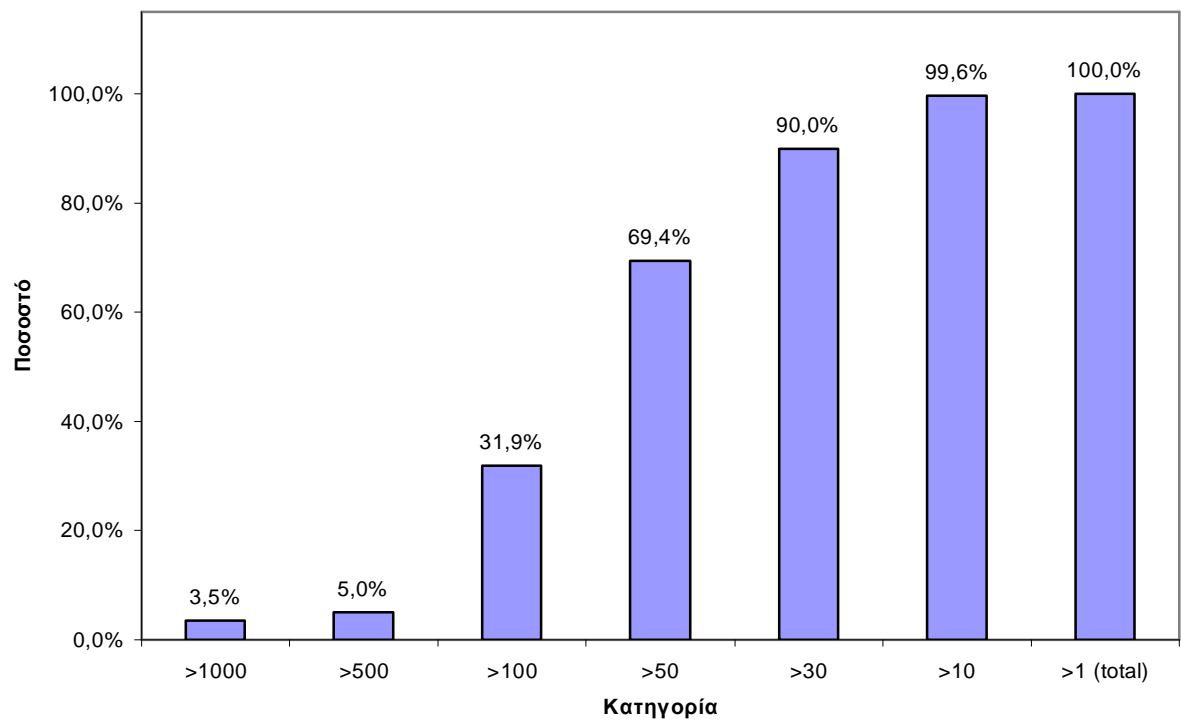
Αιγοπρόβατα



Πουλερικά



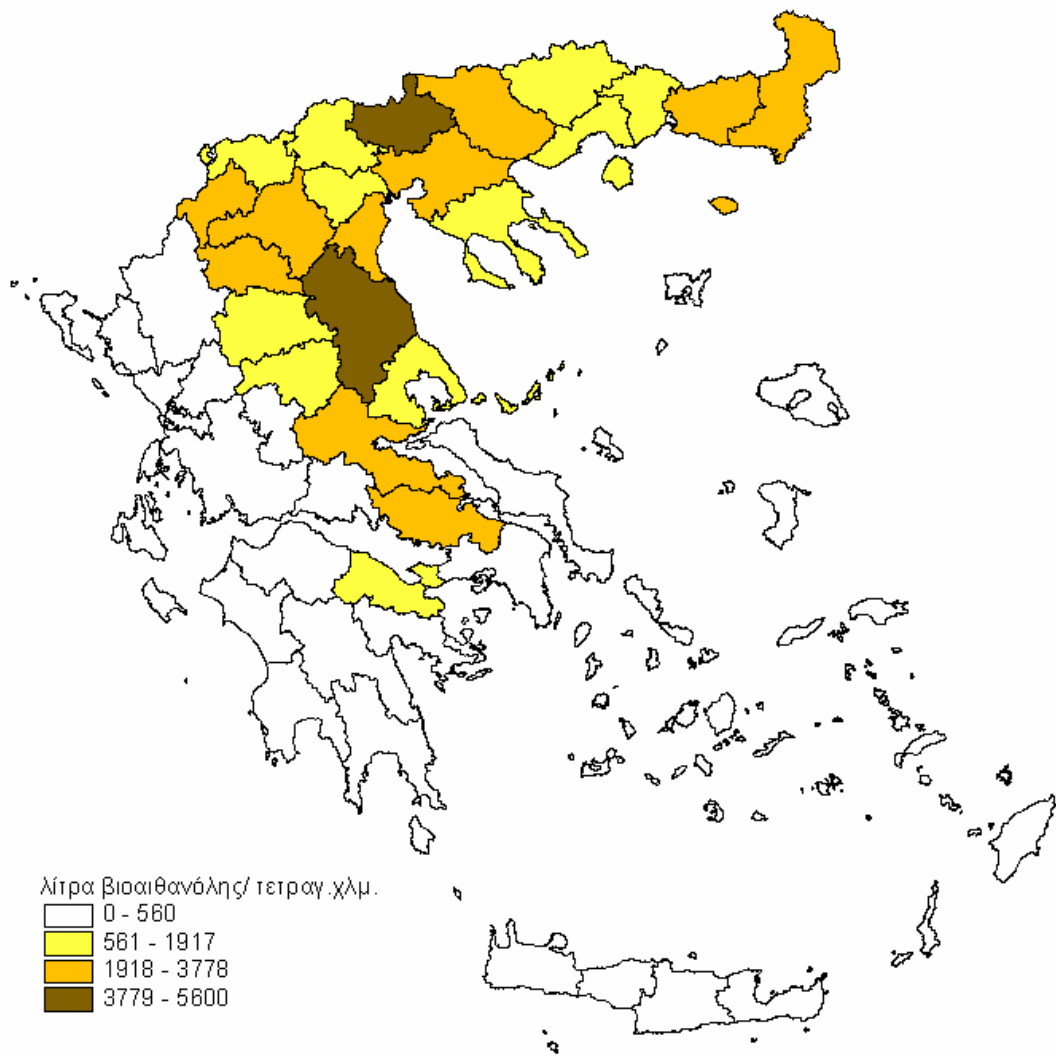
Κουνέλια



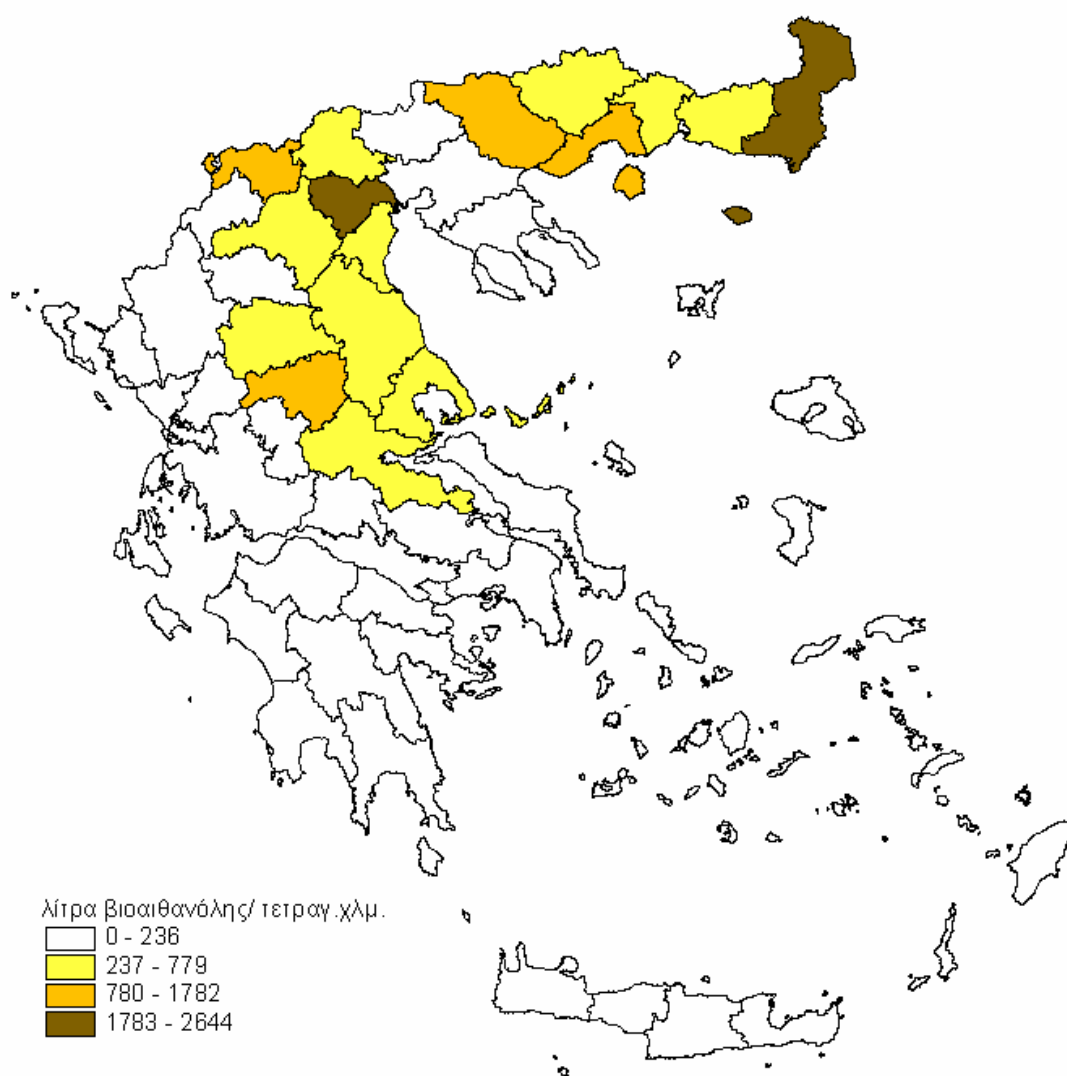
Παράρτημα Β:

Γεωγραφική κατανομή του δυναμικού σε βιοαιθανόλη από τις σημαντικότερες κατηγορίες φυτικών ειδών στους 51 νομούς της ελληνικής επικράτειας (πρόβλεψη 2010)

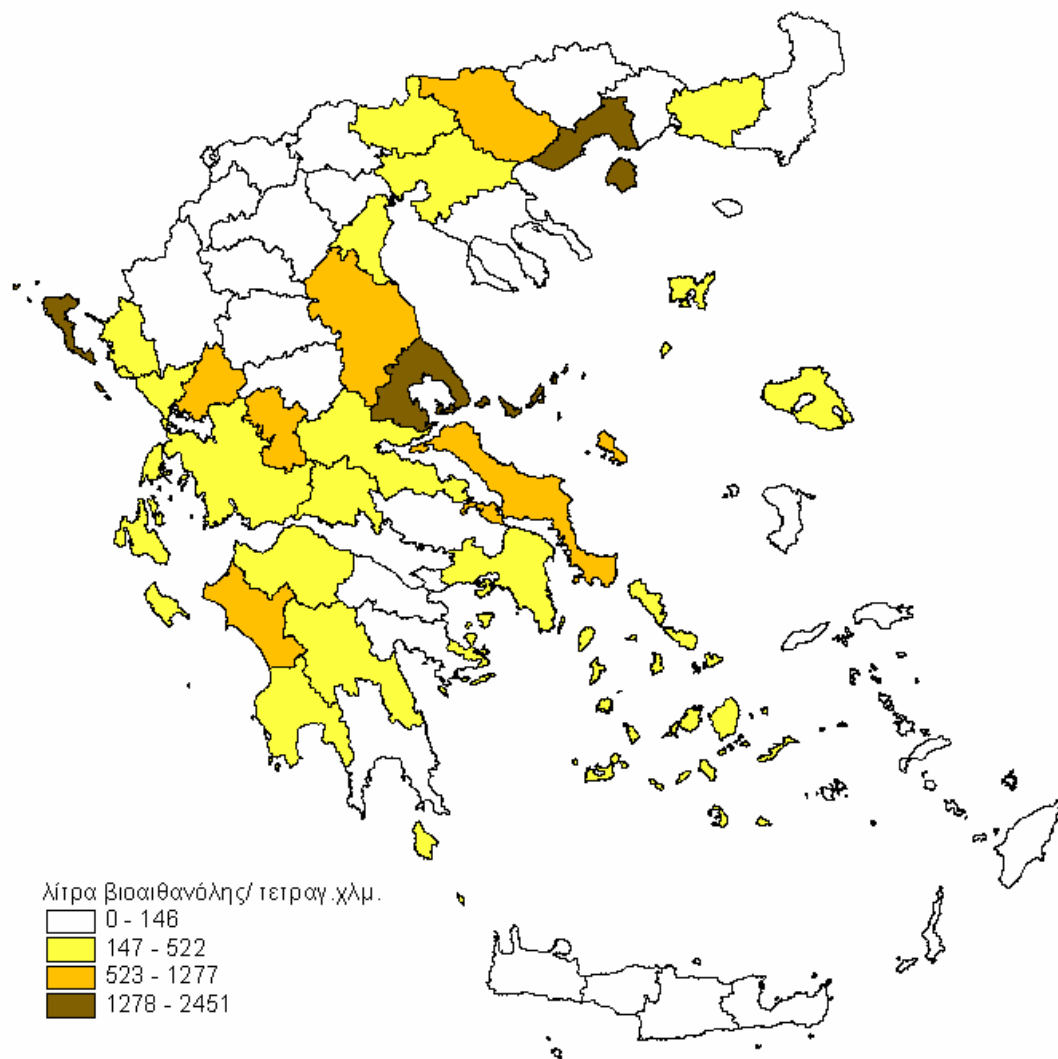
Σιτηρά



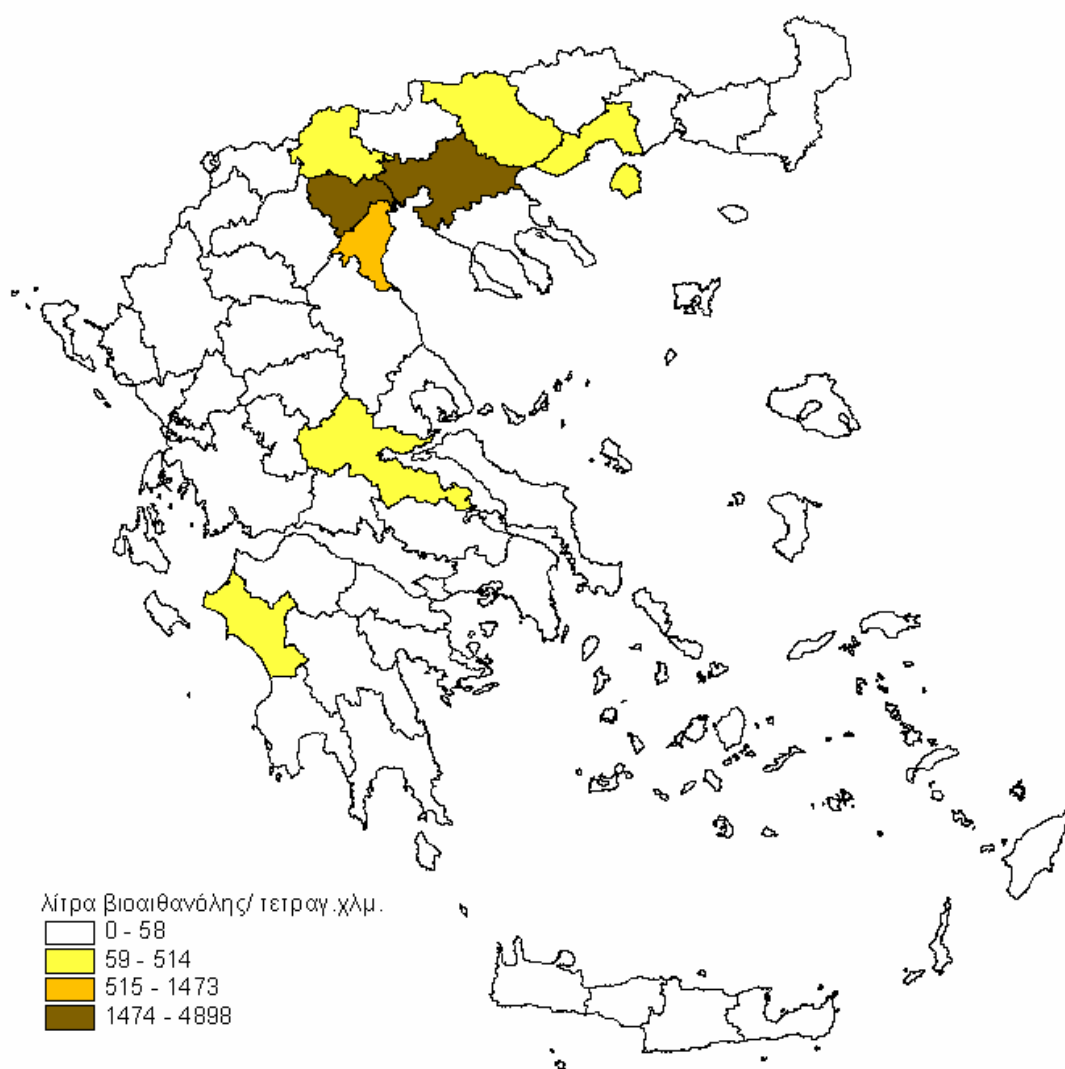
Ζαχαρότευτλα



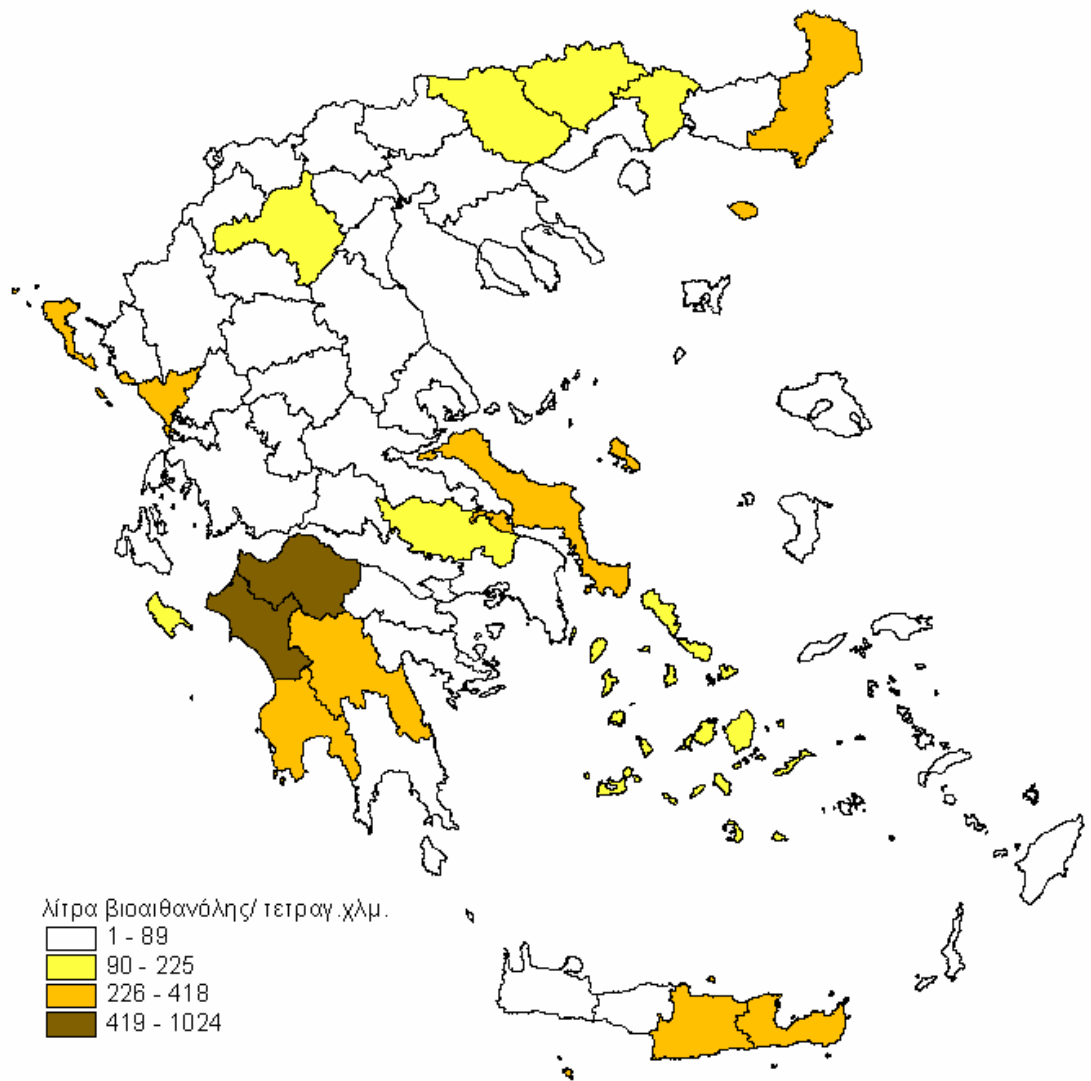
Αποξηραμένα Φρούτα



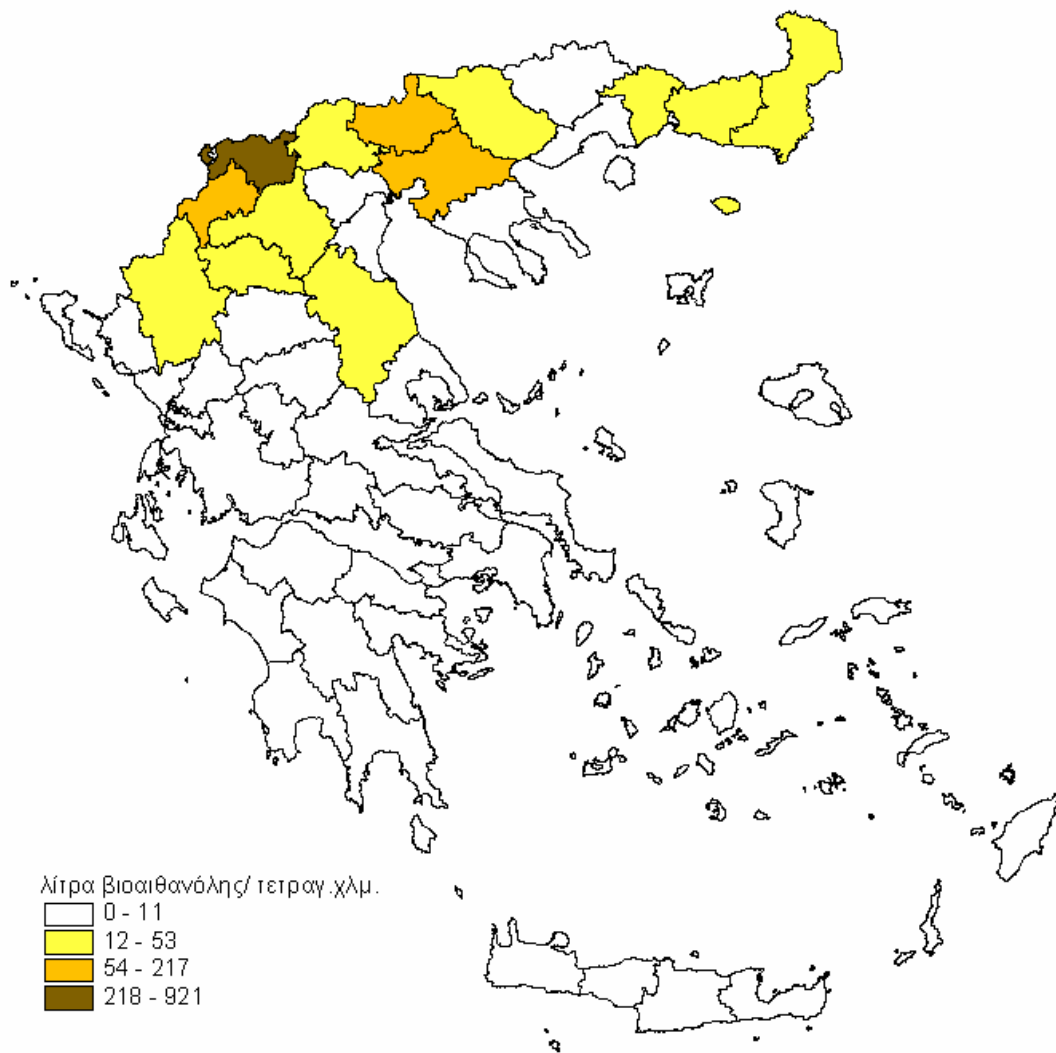
Ρόζι



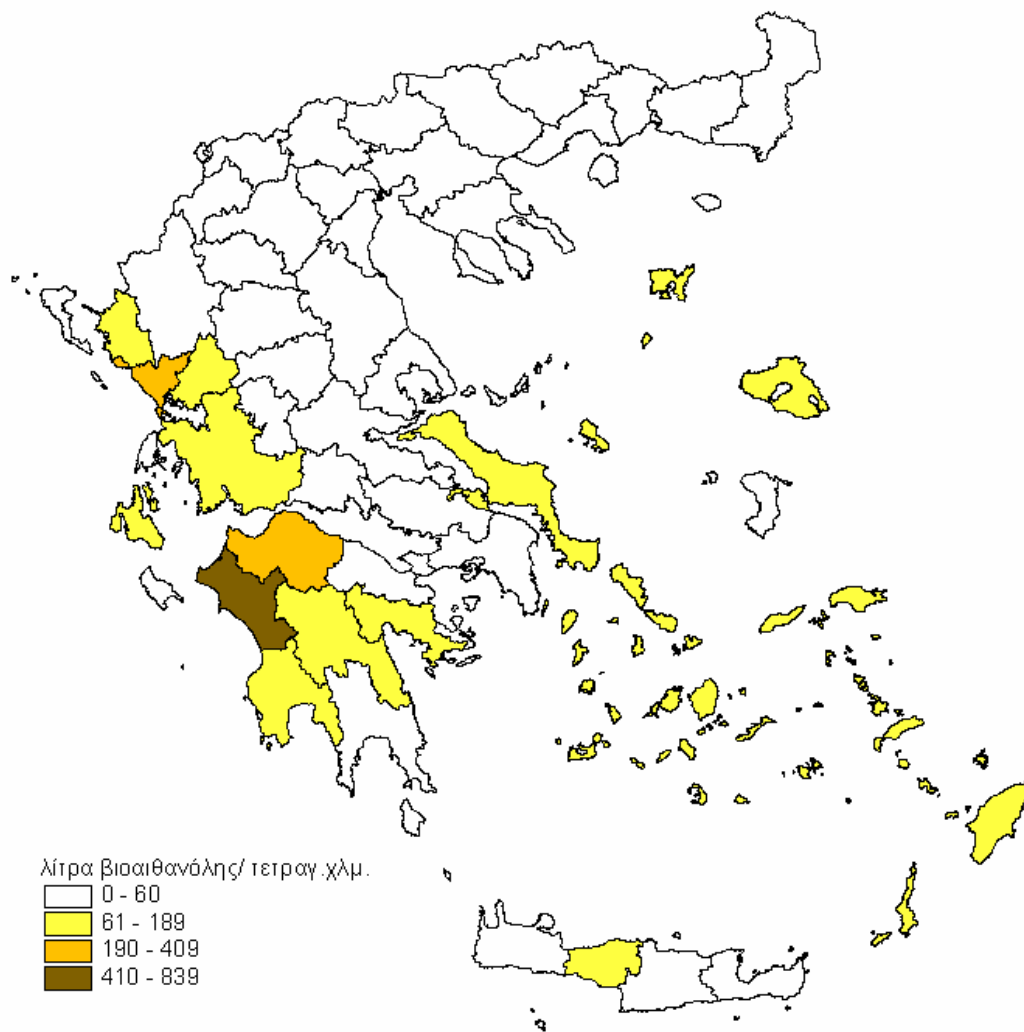
Πατάτες



Σίκολη



Βρώμη



Σταφύλια

