

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ  
ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ  
ΚΥΚΛΟ BRAYTON-RANKINE. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ  
ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Εκπόνηση Διπλωματικής Εργασίας: Ξανθή Γεωργολάμπρου

Επιβλέπων καθηγητής: Γ. Μαρινέλλος

Κοζάνη, 2016

## Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Αποτελεί λοιπόν αφορμή και ευκαιρία να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν και με στήριξαν τόσο στη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας όσο και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μαρνέλλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, αλλά και την βοήθειά του, όποτε τη χρειάστηκα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επ. Καθ. κ. Κ. Αθανασίου (Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης-Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος) για την πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια μου, τους γονείς και τον αδερφό μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, με στήριξαν και εμπύχωσαν στις δυσκολίες που αντιμετώπισα και σεβάστηκαν απόλυτα τις επιλογές μου.

Ξανθή Γεωργολάμπρου

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας πάνω στη λειτουργία μονάδας αεριοποίησης βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας με χρήση συνδυασμένου κύκλου Brayton-Rankine. Η μονάδα εντοπίζεται γεωγραφικά στην Θεσσαλία σε περιοχή μέσης ακτίνας 44,8 km, στην Κοιλιάδα του νομού Λάρισας.

Είναι πλέον ιδιαίτερα εμφανής και συντονισμένη η προσπάθεια που γίνεται στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, με σκοπό την αύξηση του μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ. Η αλόγιστη χρήση ορυκτών καυσίμων επί δεκαετίες έχει οδηγήσει στην εμφάνιση πολλών και δυσεπίλυτων προβλημάτων με σοβαρές οικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η ραγδαία κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή εξάρτηση ανεπτυγμένων χωρών από πολιτικά ασταθείς περιοχές, ο κίνδυνος εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων καθώς και η επίδραση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων στην υγεία. Η ευρύτερη λοιπόν χρήση των ΑΠΕ θα μπορούσε, αν όχι να λύσει τα παραπάνω προβλήματα, αλλά σίγουρα να τα μετριάσει.

Η βιομάζα είναι η μορφή ενέργειας με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην αγορά της ενέργειας σε σχέση με τις άλλες ΑΠΕ, γιατί διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά που την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή. Μπορεί να βοηθήσει τόσο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, αφού είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα υπάρχοντα δίκτυα, όσο και στην βελτίωση της παρούσας οικονομικής κατάστασης με δημιουργία νέων μονάδων. Επιπλέον, μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην διαχείριση και εκμετάλλευση υπολειμμάτων και αποβλήτων δίνοντας λύση σε ακόμα ένα πρόβλημα.

Η υπάρχουσα λοιπόν κατάσταση σε συνδυασμό με τα παραπάνω χαρακτηριστικά της χρήσης της βιομάζας, οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος της εργασίας. Η επιλογής της περιοχής εγκατάστασης, ο τύπος βιομάζας και η μέθοδος ενεργειακής αξιοποίησης αποτελούν τη βάση της λειτουργίας της μονάδας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επιλέγεται η Θεσσαλία, καθώς η αγροτική παραγωγή της, δίνει τη δυνατότητα τροφοδοσίας μιας μονάδας αεριοποίησης τέτοιας κλίμακας. Το άχυρο σιταριού χρησιμοποιείται τόσο για τα χαρακτηριστικά της σύστασής του όσο και για την αφθονία, τη χαμηλή τιμή και τη δυνατότητα αποθήκευσης. Τέλος, επιλέγεται η αεριοποίηση για την αξιοποίηση της βιομάζας, γιατί αποτελεί σύγχρονη τεχνολογία που ωστόσο είναι συμβατή και με τις υπάρχουσες υποδομές.

Οι άξονες πάνω στους οποίους κινείται η μελέτη, είναι η θερμοδυναμική, η οικονομική και η παραμετρική ανάλυση της μονάδας. Σκοπός του υπολογιστικού μέρους της μελέτης είναι να αποκτήσουμε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με τη σκοπιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

Το κύριο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι μια τέτοια επένδυση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα λόγω της άμεσης αποπληρωμής ακόμα κι αν δεν επιδοτείται. Ωστόσο η επένδυση αυτή πέρα από την άμεση αποπληρωμή, μπορεί να βοηθήσει ουσιαστικά στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής εγκατάστασης. Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, η ευκαιρία εκμετάλλευσης και διαχείρισης αγροτικών υπολειμμάτων θα τονώσουν οικονομικά την περιοχή και θα λύσουν το πρόβλημα διαχείρισης αγροτικών υπολειμμάτων. Επίσης η παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα από ΑΠΕ, δίνει τη δυνατότητα μερικής αποδέσμευσης από την χρήση ορυκτών καυσίμων με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

## **Abstract**

This thesis is written in order to present a preliminary feasibility study on a biomass gasification energy plant, using a combined Brayton-Rankine cycle for energy production. The plant is assumed to be located in Kilada, Thessaly.

Nowadays, renewable energy sources gain constantly increasing share in energy production field. However, the last decades may be characterized by wasteful and irresponsible use of fossil fuels. As a result ,many environmental, economic and social problems have arisen. Some of them, which are deeply and severely effective, are the climate change, the energy dependence on politically unstable areas, the threat of fuel running out, as well as the human health degradation. So, renewable energy sources are the key, not to fully eliminate these problems ,but to solve and surface some of them. Biomass not only belongs to renewable energy sources category, but also is the most used of them. Some of its preferential properties are the ability of using the current energy facilities and networks. Moreover, it may help in residue and waste management.

The current energy needs combined to the biomass advantages, led me to work on this study. The facility location was chosen based on the high biomass potential of the area and the particular biomass type (wheat straw) ,was chosen because of its low moisture and its chemical composition. In addition, wheat straw is abundant in the area and has low price, as well as there no difficulty in storage. Also, gasification was used, because there is no need of different facilities or networks from the existing ones. In addition, it is the proper technology in production of syngas using biomass with low moisture, like straw.

In the study, there is a calculation part along with parametric analysis, in order to help us decide if this energy facility is applicable and profitable. According to numeral results and the parametric analysis, this plant is a profitable investment with short repayment time, even though no subsidy is received. Also a large scale investment like this, will create new jobs in many relevant fields, and also will produce environmentally friendly energy, which will help in release from fossil fuels use.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	iii
Abstract.....	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή-Σκοπιμότητα .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ορισμός βιομάζας - Ιδιότητες.....	3
2.1 Ορισμός βιομάζας.....	3
2.2 Ιδιότητες βιομάζας .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εκτίμηση δυναμικού βιομάζας.....	18
3.1 Εκτίμηση δυναμικού βιομάζας σε Ευρώπη και Ελλάδα.....	18
3.2 Ο γεωργικός τομέας στην Ελλάδα .....	26
3.3 Πηγές βιομάζας.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας .....	39
4.1 Μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας .....	39
4.1.1 Θερμοχημική μετατροπή .....	41
4.1.2 Βιοχημική μετατροπή .....	42
4.1.3 Άλλες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας .....	43
4.2 Θερμοχημικές μέθοδοι μετατροπής βιομάζας .....	44
4.3 Σύγκριση θερμοχημικών μεθόδων μετατροπής βιομάζας .....	50
4.3.1 Αεριοποίηση έναντι καύσης .....	50
4.3.2 Αεριοποίηση έναντι πυρόλυσης.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Τεχνολογίες αεριοποίησης.....	533
5.1 Υπάρχουσες τεχνολογίες αεριοποίησης.....	533
5.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά αεριοποιητών ρευστοστερεάς κλίνης.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Λειτουργία της παρούσας μονάδας .....	59
6.1 Θερμοδυναμική ανάλυση.....	60
6.2 Οικονομική ανάλυση .....	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα .....	94
Βιβλιογραφία .....	96
Παράρτημα .....	99

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες και τύποι βιομάζας .....	7
Πίνακας 2: Σύσταση του ξηρού μέρους χαρακτηριστικών τύπων βιομάζας (% κ.β.) .....	9
Πίνακας 3: Στοιχειακή σύσταση του ξηρού ελεύθερου τέφρας μέρους χαρακτηριστικών πρώτων υλών βιομάζας (% κ.β. σε ξηρή και ελεύθερη τέφρα βάση).....	10
Πίνακας 4: Φυσική υγρασία (% κ.β.) και προσεγγιστική ανάλυση (% κ.β. σε ξηρή βάση) χαρακτηριστικών πρώτων υλών βιομάζας .....	11
Πίνακας 5: ΑΘΔ χαρακτηριστικών τύπων ξηρής βιομάζας .....	12
Πίνακας 6: Εκτίμηση της ΑΘΔ και της ΚΘΔ των τύπων βιομάζας του Πίνακα 4, με βάση τη συσχέτιση του Dulong, τις στοιχειακές συστάσεις του Πίνακα 3 και τις περιεκτικότητες σε υγρασία και τέφρα του Πίνακα 4 .....	15
Πίνακας 7: Τυπικές τιμές πυκνότητας δασικής και αγροτικής βιομάζας .....	16
Πίνακας 8: Τυπικές τιμές ενεργειακού περιεχομένου, πυκνότητας και ενεργειακής πυκνότητας, χαρακτηριστικών καυσίμων και βιοκαυσίμων.....	16
Πίνακας 9: Δυναμικό βιομάζας στην ΕΕ-27.....	20
Πίνακας 10: Δυναμικό βιομάζας στην Ελλάδα.....	21
Πίνακας 11: Ταξινόμηση μεθόδων πυρόλυσης .....	47
Πίνακας 12: Σύγκριση αεριοποίησης, καύσης και πυρόλυσης.....	522
Πίνακας 13: Σύγκριση αεριοποιητών σταθερής και ρευστοστερεάς κλίνης .....	54
Πίνακας 14: Σύγκριση αεριοποιητών ρευστοστερεάς κλίνης BFB και CFB .....	56
Πίνακας 15: Ταξινόμηση μεθόδων αεριοποίησης .....	588
Πίνακας 16 : Δεδομένα και αποτελέσματα υπολογισμών, εσόδων, εξόδων και χρόνων αποπληρωμή .....	89

## Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα κατά το σχηματισμό και την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας .....	3
Σχήμα 2: Μεταβολή της ΑΘΔ και της ΚΘΔ της τυπικής ξυλώδους βιομάζας με την περιεχόμενη υγρασία, σύμφωνα με τη συσχέτιση του Dulong και την τυπική στοιχειακή σύσταση του Πίνακα 3 .....	13
Σχήμα 3: Κατανομή των χρήσεων της βιοενέργειας στην ΕΕ-27 και την Ελλάδα, το 2010.....	22
Σχήμα 4: Προβλεπόμενη μεταβολή του μεριδίου των ΑΠΕ και της βιομάζας, στην ακαθάριστη τελική ενεργειακή κατανάλωση της ΕΕ-27 και στην Ελλάδα, έως το 2020, σύμφωνα με τα Εθνικά Σχέδια Δράσης για της Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας των κρατών μελών .....	23
Σχήμα 5:Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (τόνοι ξηρής ουσίας) (2009).....	28
Σχήμα 6:Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας .....	40
Σχήμα 7:Θερμοχημικές διεργασίες αξιοποίησης βιομάζας και προϊόντα .....	45
Σχήμα 8: Σχηματική παράσταση διεργασίας αεριοποίησης βιομάζας .....	48
Σχήμα 9: Διάγραμμα ροής της μονάδας .....	60

## Περιεχόμενα Χαρτών

Χάρτης 1: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (2009).....	27
Χάρτης 2: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό άχυρου (2009).....	29
Χάρτης 3: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό κλαδοδεμάτων ελιάς (2009) .....	30
Χάρτης 4: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό στελεχών βαμβακιού (2009 .....	31
Χάρτης 5: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό κλαδοδεμάτων δενδρωδών καλλιεργειών (2009).....	32
Χάρτης 6: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό υπολειμμάτων αραβοσίτου (2009) .....	33
Χάρτης 7: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό ελαιοπυρήνα (2009).....	34
Χάρτης 8: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των κτηνοτροφικών αποβλήτων .....	35
Χάρτης 9: Γεωγραφική κατανομή του συνόλου των ενεργειακών φυτών στην Ελλάδα (2011).....	36
Χάρτης 10: Γεωγραφική κατανομή των καλλιεργειών ηλίανθου (2011).....	37
Χάρτης 11: Γεωγραφική κατανομή των καλλιεργειών ηλίανθου (2011).....	38

## Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 1: Γράφημα ποσοστού μετατροπής σε CH <sub>4</sub> -απόδοσης αεριοποίησης	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί</b>
Γράφημα 2: Γράφημα ποσοστού αέρα αεριοποίησης - απόδοσης αεριοποίησης/ συνολικές αποδόσεις του συνδυασμένου κύκλου.....	84
Γράφημα 3: Γράφημα απόδοσης αεριοτροβίλου - απόδοσης αεριοποίησης/ συνολικές αποδόσεις του συνδυασμένου κύκλου.....	85
Γράφημα 4: Γράφημα απόδοσης ατμοτροβίλου- απόδοσης αεριοποίησης/ συνολικές αποδόσεις του συνδυασμένου κύκλου.....	85
Γράφημα 5: Γράφημα τιμής μπάλας άχυρου-χρόνου αποπληρωμής ιδίων .....	91
Γράφημα 6: Γράφημα ποσοστού επιδότησης-χρόνου αποπληρωμής ιδίων .....	91
Γράφημα 7 : Γράφημα ποσοστού φορολόγησης-χρόνου αποπληρωμής ιδίων .....	92
Γράφημα 8: Γράφημα τιμής ηλεκτρικής MWh-χρόνου αποπληρωμής ιδίων .....	92
Γράφημα 9 : Γράφημα τιμή θερμικής MWh -χρόνου αποπληρωμής ιδίων.....	93
Γράφημα 10: Γράφημα παροχής βιομάζας -χρόνου αποπληρωμής ιδίων.....	93





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή-Σκοπιμότητα

Η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στις διεργασίες παραγωγής ενέργειας γίνεται όλο και πιο έντονη και μεθοδευμένη τα τελευταία χρόνια, τόσο στα πλαίσια της ΕΕ όσο και σε άλλα προηγμένα κράτη. Η κλιματική αλλαγή, η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και του βιοτικού επιπέδου, που οδηγεί σε εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, και η ενεργειακή εξάρτηση από πολιτικά ασταθείς περιοχές του πλανήτη είναι οι λόγοι που οδήγησαν στην υιοθέτηση και στην θέσπιση(συνθήκη Κιότο, Λευκή Βίβλος της ΕΕ κτλ) αυτής της τακτικής στον τομέα παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, για να συμβεί αυτό πέρασαν τουλάχιστον δύο δεκαετίες, για να γίνουν εμφανή και αδιαμφισβήτητα τα αποτελέσματα της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε τη ριζική κλιματική αλλαγή, με ανυπολόγιστες οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες, την εξάντληση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, με άμεσες επιπτώσεις στο κόστος τους και την ενεργειακή εξάρτηση προηγμένων περιοχών του πλανήτη, καθώς επίσης και την γενικότερη περιβαλλοντική υποβάθμιση και τις συνέπειες της χρήσης ορυκτών καυσίμων στην υγεία. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την διαδικασία αποδέσμευσης από τα πεπερασμένα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων και τον συνακόλουθο αρνητικό περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο, διαδραματίζει και η βιομάζα και οι διαθέσιμες τεχνολογίες αξιοποίησής της. Ο όρος βιομάζα περικλείει ένα πλήθος οργανικών πρώτων υλών που διαθέτουν οργανική βάση. Η συμμετοχή της βιομάζας στο τομέα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ αυξάνεται συνεχώς (~68% για το 2010) και προβλέπεται να διατηρήσει την κυρίαρχη θέση της μεταξύ των ΑΠΕ για πολλά ακόμη χρόνια.

Είναι λογικό αν σκεφτεί κανείς ότι η βιομάζα, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ, απευθύνεται και στους τρεις τύπους ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών (ηλεκτρισμός, θέρμανση και καύσιμα μεταφορών), είναι συμβατή προς τις υφιστάμενες υποδομές ενεργειακής αξιοποίησης των ορυκτών καυσίμων, διαθέτει δυνατότητα συγχρονισμού της ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα με τις διακυμάνσεις της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της πρώτης ύλης και χρήση της ανάλογα με την ενεργειακή ζήτηση, καθώς επίσης οι εφαρμογές και οι χρήσεις της είναι οικονομικά βιώσιμες και δεν έχουν ανάγκη επιδοτήσεις όπως αυτές των φωτοβολταϊκών.

Επιπλέον, πλεονεκτήματά της αποτελούν οι διέξοδοι που υπόσχεται στα προβληματικά αγροτικά οικονομικά των τελευταίων δεκαετιών από την υπερπαραγωγή τροφίμων και την πλεονασματική διαθεσιμότητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκτάσεων, η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας τόσο στις μονάδες τις ίδιες όσο και σε τομείς όπως η μεταφορά, η επεξεργασία και η συγκομιδή της πρώτης ύλης, οι προοπτικές αποκέντρωσης του εργατικού δυναμικού και η εξάπλωση του προτύπου της γεωγραφικά κατανεμημένης συμπαραγωγής ενέργειας [1].

Με βάση λοιπόν τις υφιστάμενες τις ενεργειακές ανάγκες και την προσπάθεια στροφής προς τις ΑΠΕ για την παραγωγή ενέργειας, επιλέχθηκε ως αντικείμενο της παρούσας εργασίας να αποτελέσει η προκαταρκτική μελέτη σκοπιμότητας πάνω στη λειτουργία μονάδας αεριοποίησης βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας σε συνδυασμένο κύκλο Brayton-Rankine.

Η μονάδα που μελετάται βρίσκεται στην Θεσσαλία [5] και χρησιμοποιεί ως καύσιμη βιομάζα άχυρο σιταριού. Η επιλογή της περιοχής είναι πολύ μεγάλης σημασίας, γιατί μόνο η αγροτική παραγωγή της Θεσσαλίας θα μπορούσε να εξασφαλίσει την σωστή και αδιάκοπη λειτουργία μιας μονάδας τέτοιας δυναμικότητας (ηλεκτροπαραγωγή 24 MW ετησίως), καθώς συνεισφέρουν και οι τρεις νομοί της με μεγάλες ποσότητες άχυρου και συγκεκριμένα της Λάρισας με περίπου 112340 τόνοι/έτος [2], της Καρδίτσας με 3470 τόνοι/έτος [3] και των Τρικάλων με 10720 τόνοι/έτος [4].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκομιδή πραγματοποιείται εντός μιας περιοχής που εκτίνεται στους παραπάνω νομούς με μέση ακτίνα περίπου 44,8 km και το ετήσιο απόθεμα δημιουργείται μέσα στους τρεις καλοκαιρινούς μήνες, οπότε και υπάρχει διαθεσιμότητα [6] που μπορεί να τροφοδοτήσει επαρκώς τη συγκεκριμένη μονάδα (157680 τόνοι/έτος). Αναλυτικά τα στοιχεία για κάθε νομό και τις περιοχές τροφοδοσίας, παρουσιάζονται στους χάρτες και τους πίνακες του Παραρτήματος.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι επιλέγεται ο συγκεκριμένος τύπος βιομάζας (άχυρο σιταριού) γιατί συγκεντρώνει ορισμένα χαρακτηριστικά, που ευνοούν την παρούσα επένδυση. Όσον αφορά στον οικονομικό τομέα το άχυρο σιταριού υπάρχει σε αφθονία στην περιοχή, αποτελεί αγροτικό υπόλειμμα, χωρίς ιδιαίτερη χρήση (έως ένα βαθμό πωλείται ως ζωοτροφή), και έχει σχετικά χαμηλή τιμή, οπότε η χρήση του για ενεργειακούς σκοπούς δεν επηρεάζει την αγορά τροφίμων και επιπλέον η τιμή του συμφέρει οικονομικά την επιχείρηση, δεδομένου των μεγάλων ποσοτήτων που απαιτούνται. Η συγκομιδή της βιομάζας πραγματοποιείται όταν είναι σε ξηρή μορφή, οπότε δεν χρειάζεται να υποστεί κάποια διαδικασία ξήρανσης πριν την αποθήκευση ή/ και την χρήση, επίσης η φαινόμενη πυκνότητα του είναι αρκετά υψηλή, διευκολύνοντας έτσι τη μεταφορά και την αποθήκευση.

Όσον αφορά στη σύσταση και στις ιδιότητες του άχυρου σιταριού, υπάρχουν ορισμένα δεδομένα που προκύπτουν από αυτές και οδήγησαν στη συγκεκριμένη επιλογή. Ανήκει στις χορτώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (αγρωστώδης βιομάζα) από τις οποίες παράγεται λιγνινο-κυτταρινική βιομάζας, με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία, κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς. Επίσης η σύσταση της (σχετικά υψηλό ποσοστό άνθρακα), η υγρασία και η τέφρα (σχετικά χαμηλά ποσοστά) μας επιτρέπουν να επιλέξουμε τη συγκεκριμένη πρώτη ύλη. Ιδιαίτερα η υγρασία, αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα που επηρεάζει σημαντικά το ενεργειακό περιεχόμενο της πρώτης ύλης. Αύξηση της υγρασίας οδηγεί σε μεγάλη μείωση του ξηρού μέρους της βιομάζας (ως ποσοστό ανά kg φυσικής βιομάζας), σε επιπλέον έκλυση υδρατμών και την περαιτέρω απόκλιση της ΚΘΔ από την ΑΘΔ μέσω ελάττωση της πρώτης.

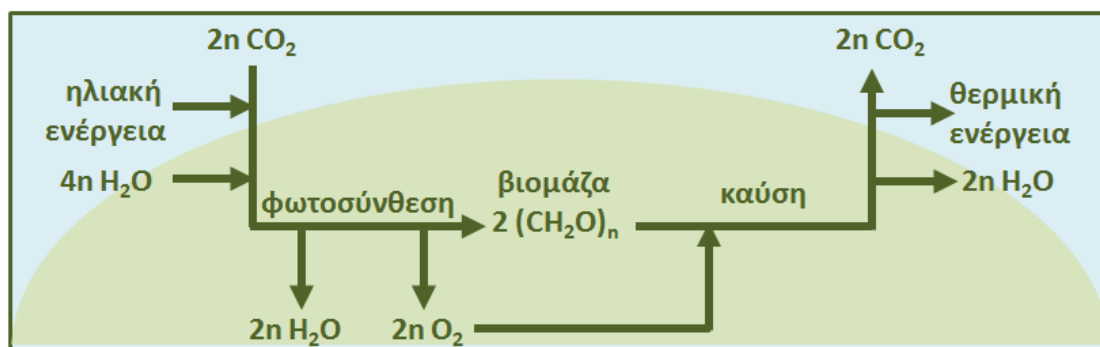
Ακόμα, η μέθοδος που εφαρμόζεται για τη παραγωγή βιοαερίου (αεριοποίηση) επιλέχθηκε με βάση το γεγονός ότι αποτελεί σύγχρονη τεχνολογικά μέθοδο, αλλά ταυτόχρονα χρησιμοποιείται αποτελεσματικά αρκετά χρόνια για την παραγωγή ενέργειας (σε αντίθεση με την πυρόλυση που ακόμα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο χρήσης), ωστόσο καθοριστικό ρόλο έπαιξε και ο τύπος της χρησιμοποιούμενης βιομάζας (άχυρο σιταριού), λόγω της χαμηλής περιεχόμενης υγρασίας. Ακόμη κρίθηκε σκόπιμο για την καλύτερη ανάλυση και παρουσίαση της μελέτης, πέρα από τους υπολογισμούς του βασικού σεναρίου, να γίνει παραμετρική ανάλυση ορισμένων θερμοδυναμικών και οικονομικών μεγεθών της μονάδας.

Η ανάλυση αυτή δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της συνολικής λειτουργίας της εγκατάστασης, των κερδών και του χρόνου αποπληρωμής. Τα τελευταία δύο στοιχεία είναι και αυτά που θα κρίνουν αν η επένδυση είναι συμφέρουσα από οικονομικής πλευράς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ορισμός βιομάζας - Ιδιότητες

### 2.1 Ορισμός βιομάζας

Ο όρος βιομάζα περιγράφει το σύνολο της μάζας των ζωντανών οργανισμών, των υπολειμμάτων και των αποβλήτων τους σε μία περιοχή ή ένα οικοσύστημα. Το σύνολο της βιομάζας έχει παραχθεί πρωτογενώς μέσω της φωτοσύνθεσης φυτικών οργανισμών (βιολογική διεργασία μετατροπής του διοξειδίου άνθρακα της ατμόσφαιρας σε υδατάνθρακες, οι οποίοι αποτελούν τα δομικά συστατικά των φυτών) παρά την ποικιλία των βιοχημικών μετασχηματισμών που ενδέχεται να έχει υποστεί κατά τη μετάβαση της από οργανισμό σε οργανισμό, μέσω των τροφικών αλυσίδων του οικοσυστήματος. Δευτερογενώς η οργανική ύλη των φυτών μπορεί να μετασχηματιστεί σε δομικά συστατικά άλλων οργανισμών, που την καταναλώνουν ως τροφή και να καταλήξει απόβλητο του μεταβολισμού των οργανισμών αυτών. Έτσι, είτε ως φυτικός, ζωικός ή μικροβιακός ιστός είτε ως απόβλητο ή υπόλειμμα οποιουδήποτε ζωντανού οργανισμού, ως βιομάζα μπορεί να χαρακτηριστεί το σύνολο της βιολογικής ύλης της βιόσφαιρας.



Σχήμα 1: Ο κύκλος του διοξειδίου του άνθρακα κατά το σχηματισμό και την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας

Η βιομάζα εμπεριέχει ηλιακή ενέργεια που απορροφούν τα φυτά, αποθηκευμένη στους χημικούς δεσμούς της οργανικής ύλης. Παρά τις μεταβολικές διεργασίες που συντελούνται, η οργανική ύλη συνεχίζει να διατηρεί μέρος της αρχικής ηλιακής ενέργειας στους χημικούς της δεσμούς, καθώς και μέρος του αρχικού άνθρακα, που προσέλαβε το φυτό από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Το σύνολο του άνθρακα του φυτού, προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα που δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα κατά τη φωτοσύνθεση, με αποτέλεσμα το σύνολο του βιολογικού άνθρακα όλων των ζώντων οργανισμών και των αποβλήτων τους να προέρχεται επίσης από το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα.

Κατά τις μεταβολικές διεργασίες που υφίσταται η αρχική βιομάζα των φυτών, στο πεπτικό σύστημα των οργανισμών που την καταναλώνουν σαν τροφή, ένα μέρος της αρχικά αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας καταναλώνεται (μέσω του μεταβολισμού, των ένδο-οργανικών καύσεων ή άλλων βιοχημικών αντιδράσεων) με σκοπό τη θέρμανση και την κίνηση του ζώντος οργανισμού, ενώ ένα μέρος του αρχικά αποθηκευμένου άνθρακα εκλύεται πίσω στην ατμόσφαιρα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα (από τις βιοχημικές αντιδράσεις οξείδωσης ή την αναερόβια χώνευση, εντός του οργανισμού) ή με τη μορφή μεθανίου (από την αναερόβια χώνευση εντός του οργανισμού).

Με το πέρας των μεταβολικών διεργασιών, σε όλο το μήκος της τροφικής αλυσίδας και την τελική μικροβιακή αποδόμηση των αποβλήτων, το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού άνθρακα έχει επιστρέψει στην ατμόσφαιρα (ένα μικρό κλάσμα σταθερού άνθρακα μπορεί να παραμείνει σε στερεή μορφή και να μην είναι δυνατόν να υποστεί περαιτέρω βιοχημικό μετασχηματισμό σε αέριο διοξείδιο ή μεθάνιο), ενώ στο περιβάλλον επιστρέφει και η αρχικά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια.

Η διάρρηξη των χημικών δεσμών της βιομάζας, φυτικής ή ζωικής προέλευσης, με ελεγχόμενες αντιδράσεις χώνευσης ή καύσης, μπορεί να οδηγήσει σε επίσης ελεγχόμενη απελευθέρωση της αρχικά αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας με τη μορφή εκμεταλλεύσιμης θερμικής ενέργειας, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κατά τις διεργασίες αυτές είναι ποσοτικά ίσο με το διοξείδιο του άνθρακα, που είχε δεσμεύσει αρχικά το φυτό. Με τον τρόπο αυτό η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας δεν συνεισφέρει στην αύξηση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και η ενέργεια που παράγεται από βιομάζα ανανεώνεται διαρκώς, μέσω της βιοχημικής δέσμευσης νέων ποσοτήτων ηλιακής ενέργειας και ατμοσφαιρικού διοξειδίου. Για τους λόγους αυτούς, η βιομάζα συγκαταλέγεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Στο πλαίσιο της αειφορίας των οικοσυστημάτων που αναπτύσσουν, μετασχηματίζουν και αποσυνθέτουν τη βιομάζα, καθώς και με τους περιορισμούς που τίθενται από τις χρήσεις των διαφόρων μορφών βιομάζας για διατροφή ή υλικά, ο ορισμός της βιομάζας σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, είναι ο ακόλουθος [7]:

“Η βιομάζα ορίζεται ως κάθε φυτική ύλη, η οποία χρησιμοποιείται ως καύσιμο ή μετατρέπεται σε άλλες μορφές πριν από την καύση της, περιλαμβανομένων του ξύλου, των φυτικών αποβλήτων (και των αποβλήτων ξύλου καθώς και των καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας), των ζωικών υλικών και των ζωικών αποβλήτων, των στερεών που περιέχονται στα απόβλητα της βιομηχανίας χαρτιού καθώς και άλλων στερεών.”

ενώ, σύμφωνα με τον ίδιο οργανισμό, ο όρος “βιοκαύσιμο” αφορά σε [8]:

“υγρά, στερεά και αέρια καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα, περιλαμβανομένης της βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο ή αραβόσιτο, του ξυλάνθρακα και του βιοαερίου από την αποσύνθεση αποβλήτων” συμπληρώνοντας ότι “βιοκαύσιμο είναι οποιοδήποτε υλικό, που προέρχεται από φυτά ή ζώα, το οποίο σκόπιμα καίγεται από τον άνθρωπο”. Ο αντίστοιχος ορισμός του Πλαισίου Σύμβασης του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή εστιάζει περισσότερο στους όρους υπό τους οποίους η βιομάζα μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμη και οι όροι αυτοί, αφορούν στη βιομάζα που προέρχεται από περιοχές εδαφών που είναι δάση, θαμνώδεις ή χορτολιβαδικές εκτάσεις ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις, θέτουν ως προϋπόθεση αειφορίας ότι [9]:

- οι περιοχές αυτές θα παραμείνουν δάση, θαμνώδεις ή χορτολιβαδικές εκτάσεις ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αντίστοιχα
- θα χρησιμοποιούνται διατηρήσιμες πρακτικές διαχείρισης ώστε να εξασφαλίζεται ότι το απόθεμα άνθρακα των περιοχών αυτών δεν θα ελαττώνεται συστηματικά και ότι τα βιομαζικά απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν βιομάζα εάν η χρήση τους δεν προκαλεί την ελάττωση των “δέξαμενων άνθρακα” και συγκεκριμένα του “νεκρού ξύλου” ή του εδαφικού οργανικού άνθρακα, στις περιοχές από τις οποίες προέρχονται, ενώ περιλαμβάνει στον όρο βιομάζα το μη-ορυκτό κλάσμα των βιομηχανικών και των αστικών αποβλήτων.

Ο όρος 'βιομάζα' ,όπως φαίνεται από όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω, είναι ιδιαίτερα ευρύς. Καταλήγουμε λοιπόν σε έναν γενικότερο ορισμό, ότι δηλαδή βιομάζα είναι “οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από φυτά ή ζώα, το οποίο σκόπιμα καίγεται από τον άνθρωπο”, που είναι πιο πλήρης και σαφής. Εάν σκοπός είναι η ανάλυση του όρου, αναπόφευκτα οδηγούμαστε στην κατηγοριοποίηση των βιομαζικών πρώτων υλών, και κυρίως αυτών με το σημαντικότερο δυναμικό, τις περισσότερες εφαρμογές και τις πιο ευοίωνες προοπτικές [1].

## 2.2 Ιδιότητες βιομάζας

Η κατηγοριοποίηση των πρώτων υλών βιομάζας του Πίνακα 1 αφορά κυρίως στις πηγές προέλευσης της. Ανεξάρτητα από την προέλευση, η βιομάζα μπορεί να διακριθεί σε τρεις κυρίως τύπους [10]:

- την ξυλώδη βιομάζα
- την αγρωστώδη (ή ποώδη βιομάζα) και
- τα ζωικά απόβλητα και την ενεργό ιλύ

ενώ σαν ένας τέταρτος τύπος (με δυνητικά πολύ υψηλό δυναμικό, αλλά ακόμη σε ερευνητικό στάδιο) είναι τα υδρόβια φυτά. Από τις κατηγορίες αυτές, η αγρωστώδης βιομάζα μπορεί επιπλέον να κατηγοριοποιηθεί σε υψηλής και χαμηλής υγρασίας, ενώ η ξυλώδης βιομάζα είναι συνήθως χαμηλής υγρασίας και τα ζωικά απόβλητα, η ενεργός ιλύς αλλά και τα υδρόβια φυτά περιέχουν από τη φύση τους υψηλά ποσοστά υγρασίας. Η περιεχόμενη υγρασία αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των βιομαζικών πρώτων υλών, το οποίο, σε μεγάλο βαθμό, καθορίζει και τη μέθοδο ενεργειακής αξιοποίησης της.

Η υγρασία της φυτικής βιομάζας (μετά από φυσική ξήρανση σε συνθήκες περιβάλλοντος) κυμαίνεται από 5 έως 20 % (Πίνακας 4) και μπορεί να φτάσει ακόμη και το 60 – 80 % για φρέσκα αγροτικά υπολείμματα (κυρίως γρασίδια και βλαστούς, ενώ τα άχυρα συγκομίζονται συνήθως ξηρά), καθώς και για φρέσκα φύλλα, λεπτά κλαδιά και λεπτούς κορμούς. Η υγρασία της φυσικά ξηραμένης φυτικής βιομάζας ελαττώνεται από το ξύλο, στο γρασίδι και στους βλαστούς μονοετών και πολυετών αγρωστωδών καλλιεργειών και είναι η χαμηλότερη στο άχυρο. Όσον αφορά στα ζωικά απόβλητα, αν περιληφθούν και οι υγρές εκροές, είναι αρχικά της τάξης του 75 – 85 %, ενώ με φυσική ξήρανση μπορεί να ελαττωθεί ακόμη και σε τιμές χαμηλότερες του άχυρου. Ως ιδιαίτερος τύπος βιομάζας, η ενεργός ιλύς, μετά την πάχυνση της περιέχει υγρασία της τάξης του 80 – 90 % και με μηχανικά μέσα (ταινιοφιλτρόπρεςες) μπορεί να ελαττωθεί στην περιοχή του 60 – 70 %, ενώ απαιτείται θερμική ξήρανση για περαιτέρω ελάττωση της (ακόμη και κάτω του 5 %)

Η σύσταση του ξηρού μέρους της βιομάζας, εκτός της υγρασίας, καθορίζει τόσο τις ιδιότητες της και τις διεργασίες ενεργειακής αξιοποίησης της, όσο και τα πιθανά περιβαλλοντικά προβλήματα από τη χρήση της και τη διάθεση των υπολειμμάτων της. Ειδικότερα, η φυτική βιομάζα είναι ένα σύνθετο και ανομοιογενές μίγμα κυρίως οργανικής και σε μικρότερη έκταση ανόργανης ύλης και η σύσταση της εξαρτάται από το είδος και το μέρος του φυτού από το οποίο προέρχεται, την ηλικία του, τις συνθήκες ανάπτυξης του (ήλιος, υγρασία και άλλες κλιματολογικές παράμετροι, τύπος και συστατικά του εδάφους κ.α.).

Επίσης μεγάλη σημασία έχουν οι τεχνικές καλλιέργειας, η εφαρμογή λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων, η απόσταση από πόλεις, βιομηχανίες και άλλες πηγές μόλυνσης, ο χρόνος και οι τεχνικές συγκομιδής, οι συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσης καθώς και άλλοι παράγοντες, με τον τύπο και το τμήμα του φυτού να αναγνωρίζονται ως οι πιο σημαντικοί [11].

Τα δομικά συστατικά του ξηρού μέρους της βιομάζας είναι η κυτταρίνη, η ημι-κυτταρίνη και η λιγνίνη, σε ποσοστά που μεταβάλλονται με τον τύπο της βιομάζας και το συγκεκριμένο φυτό αλλά και από το επιμέρους τμήμα του (κορμός, φλοιός, φύλλα κλπ).

Η κυτταρίνη, η ημι-κυτταρίνη και η λιγνίνη κατατάσσονται στους πολυσακχαρίτες και τα σχετικά μεταξύ τους ποσοστά επίσης καθορίζουν τις διεργασίες που θα χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Ειδικότερα η κυτταρίνη είναι πολυμερές της γλυκόζης, με ευθείες ανθρακικές αλυσίδες και μοριακό βάρος της τάξης των 100.000. Αντίθετα, η ημι-κυτταρίνη είναι πολυμερές κυρίως ξυλόζης άλλα και άλλων μονοσακχαριτών με πέντε άτομα άνθρακα, περιλαμβανομένης της γλυκόζης, το οποίο σχηματίζει διακλαδισμένες ανθρακικές αλυσίδες, που συνδέονται ισχυρά με τα μακρομόρια κυτταρίνης και έχει μοριακό βάρος της τάξης των 30.000. Η λιγνίνη, τέλος, είναι ένα άμορφο πολυμερές με κύρια δομική μονάδα τα φαίνυλο-προπάνια. Η κυτταρίνη αποτελεί συνήθως το κύριο συστατικό (40 – 50 %) της φυτικής βιομάζας, ενώ το ποσοστό της ημι-κυτταρίνης κυμαίνεται από 20 έως 40 % [10].



Πίνακας 1: Κατηγορίες και τύποι βιομάζας [10]

<b>A. ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ:</b>	
<b>1. από ενεργειακές καλλιέργειες:</b>	
<b>1.1 ξυλώδης</b>	Δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (ακακία, λεύκα, ιτιά, ευκάλυπτος κ.α.) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας – βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 <sup>ης</sup> γενιάς
<b>1.2 αγρωστώδης</b>	Χορτώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (μίσχανθος, καλάμι, αγριαγκινάρα κ.α.) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας – βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 <sup>ης</sup> γενιάς
<b>1.3 υγρή αγρωστώδης</b>	Χορτώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (κυρίως ενεργειακός αραβόσιτος) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας – βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και υψηλή υγρασία κατάλληλη συν-χώνευση με ζωικά κ.α. απόβλητα και την παραγωγή βιοαερίου
<b>1.4 σακχάρων/αμύλου</b>	Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή βιομάζας πλούσιας σε σάκχαρα (σακχαρούχο σόργο, ζαχαρότευτλα) ή άμυλο (αραβόσιτος και άλλα δημητριακά) κατάλληλες για την παραγωγή βιο-αιθανόλης
<b>1.5 ελαίων</b>	Ενεργειακές καλλιέργειες σπόρων πλούσιων σε έλαια (ελαιοκράμβη, ηλίανθος κ.α.), για την παραγωγή βιοντίζελ και υδρογονωμένων ελαίων
<b>2. από αγροτικά υπολείμματα:</b>	
<b>2.1 αγρωστώδης</b>	Υπολείμματα ετήσιων καλλιεργειών (άχυρα, υπολείμματα αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού κ.α.) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας – βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 <sup>ης</sup> γενιάς (στην κατηγορία αυτή εμπίπτει και η βιομάζα από μόνιμους βοσκότοπους και χορτολιβαδικές εκτάσεις)
<b>2.2 ξυλώδης</b>	Υπολείμματα δενρωδών πολυετών καλλιεργειών (κλαδέματα ελιάς, αμπέλων, οπωροφόρων κ.α.) για την παραγωγή λιγνινο-κυτταρινικής βιομάζας – βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης και χαμηλή υγρασία κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2 <sup>ης</sup> γενιάς
<b>3. από ζωικά απόβλητα:</b>	
<b>3.1 ξηρή</b>	Απόβλητα πτηνοτροφίας και αμνοεριφίων, χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, κατάλληλα για χώνευση προς βιοαέριο αλλά και καύση ή άλλες θερμοχημικές διεργασίες
<b>3.2 υγρή</b>	Απόβλητα βοοειδών και χοίρων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία κατάλληλα για χώνευση προς βιοαέριο

## **B. ΔΑΣΙΚΗ ΒΙΟΜΑΖΑ:**

### **1. από την άμεση δασική παραγωγή:**

#### **1.1 υφιστάμενη**

Κορμοί για την παραγωγή οικοδομικής ξυλείας, επίπλων και άλλων αντικειμένων ή χαρτιού – αν και δυνάμει βιομαζικά καύσιμα λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς) η παραγωγή τους καθορίζεται από τη ζήτηση για μη-ενεργειακές χρήσεις (οικοδομική ξυλεία, έπιπλα κ.α.) και δεν προσμετρούνται στο δυναμικό βιομάζας

#### **1.2 συμπληρωματική**

Δυνητική επιπλέον παραγωγή κορμών, η οποία να υπερβαίνει τη ζήτηση μη-ενεργειακών χρήσεων και να προορίζεται για ενεργειακούς σκοπούς, εντός των ορίων ανανεώσιμης εκμετάλλευσης των δασών – λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς)

### **2. από υπολείμματα υλοτομίας και βιομηχανίας ξύλου:**

#### **2.1 πρωτογενή**

Υπολείμματα υλοτομίας εντός των δασικών περιοχών, αποτελούμενα από τις βάσεις των δέντρων και το τμήμα της ρίζας που μπορεί να εξαχθεί από το έδαφος, το επάνω λεπτό μέρος του κορμού, τα κλαδιά και τα φύλλα – η απομάκρυνση τους από το δάσος πρέπει να εμπίπτει στους όρους ανανεώσιμης υλοτομίας – λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς)

#### **2.2 δευτερογενή**

Υπολείμματα της επεξεργασίας και της βιομηχανίας ξύλου (φλοιοί, ακατάλληλα τεμάχια ξύλου, ροκανίδια, πριονίδια, ξυλόσκονη) – λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς)

#### **2.3 τριτογενή**

Ξύλο από κατεδαφίσεις και αστικά απορρίμματα ξύλου – λιγνινοκυτταρινική βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα λιγνίνης (κατάλληλη για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες ή βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς)

## **Γ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

#### **1. πρωτογενή**

Ξυλώδης ή χορτώδης βιομάζα από τη διαχείριση κήπων, πάρκων και νησίδων ή παριών αστικών και εθνικών οδών

#### **2. δευτερογενή**

Απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων ποικίλης φύσης (υγρά απόβλητα κατάλληλα για χώνευση προς βιοαέριο, ελαιοπυρήνες, περιβλήματα ξηρών καρπών, απόβλητα εκκοκκιστηρίων κ.α. – ειδικά τα λίπη σφαγείων και το έλαιο από σπόρους βαμβακιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοντίζελ)

#### **3. τριτογενή**

Ιλύς αστικών αποβλήτων (υψηλής υγρασίας κατάλληλη για αναερόβια χώνευση προς βιοαέριο ή χαμηλής υγρασίας για καύση και άλλες θερμοχημικές διεργασίες), οργανικό κλάσμα αστικών απορριμμάτων (ζυμώσιμο προς χώνευση για παραγωγή βιοαερίου ή μη-ζυμώσιμο χαμηλής υγρασίας και ξυλώδες προς καύση ή θερμοχημική αξιοποίηση), χρησιμοποιημένα έλαια προς βιοντίζελ ή υδρογόνωση κ.α.

Πίνακας 2: Σύσταση του ξηρού μέρους χαρακτηριστικών τύπων βιομάζας (% κ.β.) [13]

	Κυτταρίνη	Ήμι-κυτταρίνη	Λιγνίνη
<b>Ξυλώδης Βιομάζα</b>	<b>39,5 (12,4 – 65,5)</b>	<b>34,5 (6,7 – 65,6)</b>	<b>26 (10,2 – 44,5)</b>
κορμός (μέση τιμή)	51,2	23,4	25,4
φυλλοβόλα (μ.τ.)	46,3	32,1	21,6
Οξιά	45,2	32,7	22,1
Δρυς	58,4	31,4	10,2
Ευκάλυπτος	52,7	15,4	31,9
αιθαλή/κωνοφόρα (μ.τ.)	44,2	27,9	27,9
Πεύκο	48,1	23,5	28,4
Έλατο	47,0	25,3	27,7
φλοιός (μ.τ.)	22,0	47,0	31,0
κλαδιά (μ.τ.)	15,4	62,3	33,3
φύλλα (μ.τ.)	26,5	47,2	26,3
<b>Αγρωστώδης Βιομάζα</b>	<b>46,1 (23,7 – 87,5)</b>	<b>30,2 (12,3 – 54,5)</b>	<b>23,7 (0,0 – 54,3)</b>
γρassίδι (μ.τ.)	42,7	37,9	19,4
Καλάμι	49,2	39,1	11,7
Switchgrass	48,7	38,4	12,9
Σόργο	50,6	24,7	24,7
άχυρο (μ.τ.)	45,4	31,5	23,1
Σιταριού	44,5	33,2	22,3
Κριθαριού	48,6	29,7	21,7
Ριζιού	52,3	32,8	14,9
στελέχη (μ.τ.)	58,8	23,8	17,4
αραβόσιτου	49,0	37,9	13,1
Βαμβακιού	66,2	18,4	15,4
Ηλίανθου	71,6	12,3	16,1
Καπνού	44,6	30,2	25,2
<b>Αγροτικά Απορρίμματα (μ.τ.)</b>	<b>40,0</b>	<b>27,4</b>	<b>32,6</b>
κελύφη καρυδιού	28,1	26,6	45,3
κελύφη αμύγδαλου	50,7	28,9	20,4
κελύφη φουντουκιού	26,6	30,0	43,4
κελύφη φιστικιού	42,2	22,1	35,7
κελύφη ηλιόσπορου	56,5	28,0	15,5
πυρήνες ελιάς	25,0	24,6	50,4
πυρήνες ροδάκινου	23,7	22,0	54,3
κότσαλα αραβόσιτου	47,4	30,3	22,3
<b>Απόβλητα</b>			
απόβλητα βοοειδών (μ.τ.)	32,7	24,5	42,8
Χαρτί	92,5	0,0	7,5
RDF	68,1 (45,6 – 92,5)	17,1 (0,0 – 31,3)	14,8 (7,5 – 23,1)

Πίνακας 3: Στοιχειακή σύσταση του ξηρού ελεύθερου τέφρας μέρους χαρακτηριστικών πρώτων υλών βιομάζας (% κ.β. σε ξηρή και ελεύθερη τέφρας βάση) [11]

	C	O	H	N	S
<b>Ξύλο (μ.τ.)</b>	<b>52,1</b>	<b>41,2</b>	<b>6,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,08</b>
οξιά	51,4	41,8	6,0	0,7	0,11
φτελιά	50,9	42,5	5,8	0,7	0,11
ευκάλυπτος	48,7	45,3	5,7	0,3	0,05
δρυς	50,6	42,9	6,1	0,3	0,10
ελιά	49,0	44,9	5,4	0,7	0,03
πέυκο	53,8	39,9	5,9	0,3	0,07
λεύκα	53,6	39,3	6,7	0,3	0,10
έλατο	53,6	40,0	6,2	0,1	0,10
ιτιά	49,8	43,4	6,1	0,6	0,06
<b>Αγρωστώδης (μ.τ.)</b>	<b>49,9</b>	<b>42,6</b>	<b>6,2</b>	<b>1,2</b>	<b>0,15</b>
μίσχανθος	49,2	44,2	6,0	0,4	0,15
καλάμι	49,4	42,7	6,3	1,5	0,15
σόργο	49,7	43,7	6,1	0,4	0,09
αγριαγκινάρα [14]	56,0	36,3	6,5	1,0	0,22
άχυρο κριθαριού	49,4	43,6	6,2	0,7	0,13
στελέχη αραβόσιτου	48,7	44,1	6,4	0,7	0,08
στελέχη ελαιοκράμβης	48,5	44,5	6,4	0,5	0,10
άχυρο ρυζιού	50,1	43,0	5,7	1,0	0,16
άχυρο σιταριού	49,4	43,6	6,1	0,7	0,17
<b>Αγροτικά Απορρίμματα (μ.τ.)</b>	<b>50,2</b>	<b>41,9</b>	<b>6,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,16</b>
κελύφη αμύγδαλου	50,3	42,5	6,2	1,0	0,05
κελύφη βαμβακιού	50,4	39,8	8,4	1,4	0,01
κελύφη φουντουκιού	51,5	41,6	5,5	1,4	0,04
πυρήνες ελιάς	52,8	39,4	6,6	1,1	0,07
φλοιοί ρυζιού	49,3	43,7	6,1	0,8	0,08
κελύφη ηλιόσπορου	50,4	43,0	5,5	1,1	0,03
κελύφη καρυδιού	49,9	42,4	6,2	1,4	0,09
<b>Οικοδομική Ξυλεία (Μ.Τ.)</b>	<b>51,7</b>	<b>40,7</b>	<b>6,4</b>	<b>1,1</b>	<b>0,09</b>
<b>Έπιπλα (Μ.Τ.)</b>	<b>51,8</b>	<b>41,8</b>	<b>6,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,04</b>
<b>RDF (μ.τ.)</b>	<b>53,8</b>	<b>36,8</b>	<b>7,8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,47</b>
<b>Ενεργός Ιλύς (μ.τ.)</b>	<b>50,9</b>	<b>33,4</b>	<b>7,3</b>	<b>6,1</b>	<b>2,33</b>
άνθρακας	78,2	13,6	5,2	1,3	1,7
λιγνίτης	64,0	23,7	5,5	1,0	5,8

Συχνότερα από την αναλογία των δομικών της συστατικών, η σύσταση της βιομάζας εκφράζεται μέσω της % κ.β. αναλογίας των στοιχείων που αποτελούν το ξηρό της μέρος (στοιχειακή σύσταση). Σε φθίνουσα σειρά τα κύρια στοιχεία που αποτελούν τη βιομάζα είναι ο άνθρακας (C), το οξυγόνο (O), το υδρογόνο (H), το άζωτο (N), το ασβέστιο (Ca) και το κάλιο (K), ενώ σε μικρότερα ποσοστά συναντώνται πυρίτιο (Si), μαγνήσιο (Mg), αργίλιο (Al), θείο (S), σίδηρος (Fe), φώσφορος (P), χλώριο (Cl) και νάτριο (Na) καθώς και ίχνη μαγγανίου (Mn), τιτανίου (Ti) κ.α. Η στοιχειακή σύσταση χαρακτηριστικών τύπων βιομάζας αναφέρεται στον Πίνακα 3 [11].

Πίνακας 4: Φυσική υγρασία (% κ.β.) και προσεγγιστική ανάλυση (% κ.β. σε ξηρή βάση) χαρακτηριστικών πρώτων υλών βιομάζας [11]

	H <sub>2</sub> O	VM	FC	τέφρα
<b>Ξύλο (μ.τ.)</b>	<b>19,3</b>	<b>78,0</b>	<b>18,5</b>	<b>3,5</b>
οξιά	8,4	73,7	18,5	7,8
φτελιά	8,4	73,1	18,8	8,1
ευκάλυπτος	12,0	78,0	17,2	4,8
δρυς	6,5	78,1	21,4	0,5
ελιά	6,6	79,6	17,2	3,2
πεύκο	4,7	73,7	24,4	1,9
λεύκα	8,4	80,3	17,5	2,2
έλατο	8,4	73,4	23,4	3,2
ιτιά	10,1	82,5	15,9	1,6
<b>Αγρωστώδης (μ.τ.)</b>	<b>12,0</b>	<b>75,2</b>	<b>19,1</b>	<b>5,7</b>
μίσχανθος	11,4	81,2	15,8	3,0
καλάμι	7,7	73,4	17,7	8,9
σόργο	7,0	77,2	18,1	4,7
αγριαγκινάρα [14]	12,0	76,0	9,2	14,8
άχυρο κριθαριού	11,5	76,2	18,5	5,3
στελέχη αραβόσιτου	7,4	73,1	19,2	7,7
στελέχη ελαιοκράμβης	8,7	77,4	17,9	4,7
άχυρο ρυζιού	7,6	64,3	15,6	20,1
άχυρο σιταριού	10,1	74,8	18,1	7,1
<b>Αγροτικά Απορρίμματα (μ.τ.)</b>	<b>10,2</b>	<b>74,3</b>	<b>17,1</b>	<b>8,6</b>
κελύφη αμύγδαλου	7,2	74,9	21,8	3,3
κελύφη βαμβακιού	6,9	78,4	18,2	3,4
κελύφη φουντουκιού	7,2	77,1	21,4	1,5
πυρήνες ελιάς	6,1	77,0	19,9	3,1
φλοιοί ρυζιού	10,6	62,8	19,2	18,0
κελύφη ηλιόσπορου	9,1	76,0	20,9	3,1
κελύφη καρυδιού	6,8	59,3	37,9	2,8
<b>Οικοδομική Ξυλεία</b>	<b>16,3</b>	<b>75,8</b>	<b>17,3</b>	<b>6,9</b>
Έπιπλα	12,1	83,0	13,4	3,6
RDF	4,2	73,4	0,5	26,1
Ενεργός Ιλύς	6,4	48,0	5,7	46,3
άνθρακας	5,5	32,8	46,3	20,9
λιγνίτης	10,5	36,7	28,7	34,6

Τα αλκάλια (K, Na, Ca κ.α.) και τα άλλα μέταλλα (Mg, Mn κ.α.), τα βαρέα μέταλλα (Al, Fe, Ti κ.α.) καθώς και άλλα ανόργανα όπως το πυρίτιο και ο φώσφορος, συνήθως κατηγοριοποιούνται υπό τον όρο τέφρα, το ποσοστό της οποίας ποσοτικοποιείται μετά από καύση της βιομάζας στους 550 – 600 °C και μπορεί να λάβει τιμές από 1 έως και 45% (Πίνακας 4).

Οι περιεκτικότητες σε τέφρα είναι ιδιαίτερα υψηλές στην ενεργό ιλύ και τα ζωικά απόβλητα και ελαττώνονται από τα άχυρα, στους μονοετείς και πολυετείς αγρωστώδεις βλαστούς και τα γρασίδια και τέλος στις ξυλώδεις βιομάζες (Πίνακας 4).

Γενικά, η βιομάζα των ετήσιων φυτών (τα οποία αναπτύσσονται ταχύτερα, στη διάρκεια ενός έτους και κυρίως την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού), των τμημάτων εκείνων των πολυετών δέντρων που αναπτύσσονται επίσης στη διάρκεια ενός έτους (φύλλα, κλαδιά), καθώς και οι ταχυναυξείς δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες μικρού περιόδου χρόνου περιέχουν υψηλότερα ποσοστά τέφρας σε σχέση με τους κορμούς και τις βάσεις των δέντρων, τα μεγάλα κλαδιά και τους φλοιούς [1].

Η περιεκτικότητα των κυριότερων ανόργανων, για τις διάφορες κατηγορίες βιομάζας, κυμαίνεται σύμφωνα με τις φθίνουσες σειρές [12]:

Ca > Si > K > Mg > Al > P	για το ξύλο
Si > K > Ca > P > Mg > Al	για την αγρωστώδη βιομάζα και τα γρασίδια
Si > K > Ca > Mg > P > Al	για τα άχυρα
K > Si > Ca > P > Mg > Al	για τα κελύφη και τους πυρήνες
Ca > P > K > Si > Mg > Al	για τα ζωικά απόβλητα, και
Si > Ca > Al > P > Mg > K	για την ενεργό ιλύ

Πίνακας 5: ΑΘΔ χαρακτηριστικών τύπων ξηρής βιομάζας [15]

ξύλο	MJ/kg	αγροτικά απορρίμματα MJ/kg	
φλοιός δέντρου	20,50	κελύφη αμύγδαλου	17,96 - 19,92
κλαδιά	18,96	κελύφη φιστικιού	18,46 - 19,85
λευκή δρυς	19,42	κελύφη φουντουκιού	19,20 - 19,30
μαύρη δρυς	18,93 - 18,98	κελύφη ηλιόσπορου	17,60
έλατο	16,64 - 20,02	κελύφη καρυδιού	18,91 - 20,18
οξιά	19,20	πυρήνας ροδάκινου	19,42 - 20,82
λεύκα	19,38	πυρήνες βερίκοκου	18,80
σημύδα	19,30	πυρήνες ελιάς	20,23
ιτιά	19,59	φλοιοί βαμβακιού	16,38
ευκάλυπτος	19,10	φλοιός ρυζιού	15,29 - 15,67
<b>αγρωστώδης</b>			
άχυρο σιταριού	17,00 - 18,91	στελέχη ηλιάνθου	15,87 - 17,86
άχυρο ρυζιού	14,85 - 15,61	στελέχη καπνού	17,70
στελέχη αραβόσιτου	17,65 - 17,93	γλυκό σόργο	13,73
στελέχη βαμβακιού	15,83 - 18,26	μίσχανθος	19,30
στελέχη ελαιοκράμβης	18,34	αλφάλφα	18,67
αγριαγκινάρα [16]	17,90 - 21,50	καλάμι	17,70
<b>πελλέτες</b>		<b>ενεργός ιλύς</b>	<b>10,14 - 20,90</b>
μαλακού ξύλου	20,54		
μίσχανθου	19,00		

Ο Πίνακας 3 αποκαλύπτει παραπλήσιες συστάσεις του ξηρού (μηδενικής υγρασίας) και ελεύθερου τέφρας (dry ash free – daf) μέρους της βιομάζας σε άνθρακα, οξυγόνο και υδρογόνο. Όσον αφορά στον στοιχειακό άνθρακα, αυτός κυμαίνεται από 48 έως 57 % (κάποιοι ειδικοί τύποι βιομάζας, όπως τα πτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν ακόμη και να υπερβαίνουν το 60 %, ή να υπολείπονται του 48 %, όπως οι φλοιοί σόγιας) και ελαττώνεται στην ενεργό ιλύ και στα ζωικά απόβλητα, στην ξυλώδη βιομάζα, στην αγρωστώδη βιομάζα, στα γρασίδια και στα άχυρα.

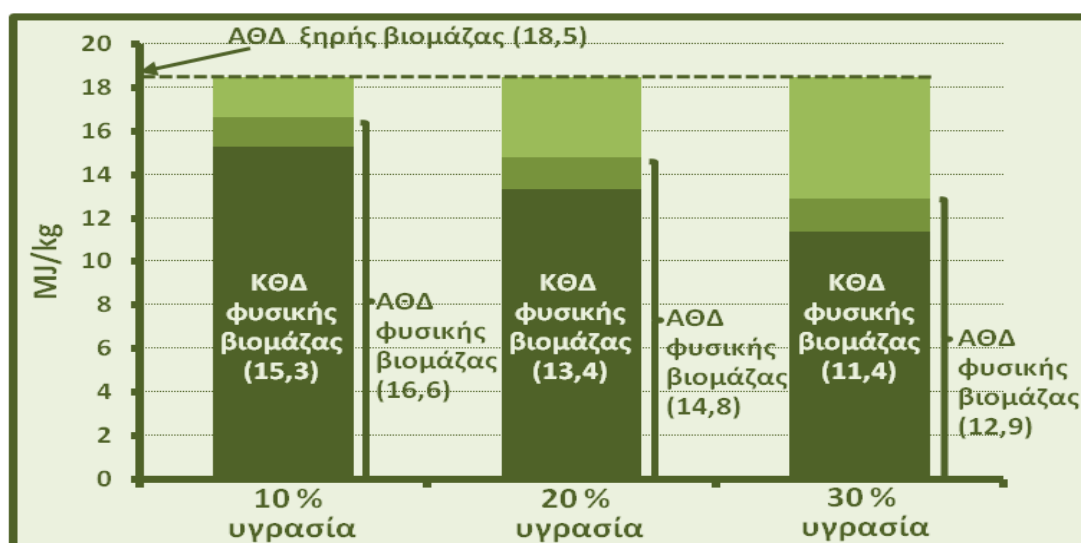
Στην ίδια βάση, της ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας, το στοιχειακό οξυγόνο κυμαίνεται από 35 έως 45 % και φθίνει κατά την ακολουθία ξυλώδους βιομάζας, αγρωστώδους βιομάζας, ζωικών απόβλητα και ενεργού ιλύς, ενώ το στοιχειακό υδρογόνο κυμαίνεται από 5,5 έως 8,5%, με συχνότερες τιμές στο διάστημα 6,0 – 6,5 %, για την ξυλώδη και αγρωστώδη βιομάζα. Σε σχέση με τα ορυκτά στερεά καύσιμα (γαιάνθρακες και λιγνίτες, στις δύο τελευταίες γραμμές του Πίνακα 3), το ξηρό και ελεύθερο τέφρας μέρος της βιομάζας υπολείπεται σε ανθρακικό περιεχόμενο και εμφανίζει υψηλότερες τιμές στοιχειακού οξυγόνου και υδρογόνου. Το στοιχειακό άζωτο είναι συνήθως υψηλότερο, σε σχέση με τα ορυκτά στερεά καύσιμα και κυμαίνεται από 0,3 έως 1,5 στην ξυλώδη και αγρωστώδη βιομάζα, ενώ μπορεί να εμφανίσει τιμές ακόμη και υψηλότερες του 6 % στην ενεργό ιλύ.

Αντίστοιχα, το στοιχειακό θείο είναι σημαντικά χαμηλότερο στη βιομάζα, σε σχέση με το ξηρό και ελεύθερο τέφρας μέρος των ορυκτών στερεών καυσίμων και κυμαίνεται από 0,01 έως 0,15 %, με εξαίρεση πάλι την ενεργό ιλύ, όπου μπορεί να ξεπεράσει και το 2%. Όσον αφορά στο χλώριο (δεν περιλαμβάνεται στον Πίνακα 3) αυτό κυμαίνεται από 0,01 έως 0,06 % κ.β. στην ξυλώδη βιομάζα, ειδικά στον φλοιό ορισμένων δέντρων (ευκάλυπτος) μπορεί να φθάσει και το 0,2 %, ενώ είναι υψηλότερο στην αγρωστώδη βιομάζα (0,05 – 0,65 %) και τα ζωικά απόβλητα (~ 0,5 %) και είναι συνήθως υψηλότερο του ξηρού και ελεύθερου τέφρας μέρους των ορυκτών ανθράκων [11].

Με αναφορά στα ορυκτά στερεά καύσιμα (γαιάνθρακες και λιγνίτες) η σύσταση της βιομάζα μπορεί επίσης να εκφραστεί ως πτητικά στερεά (volatile solids, VS), σταθερός άνθρακας (fixed carbon, FV), ανόργανο μέρος (τέφρα) και υγρασία (Πίνακας 4).

Ως “πτητικά στερεά” χαρακτηρίζεται το μέρος εκείνο της βιομάζας που μετατρέπεται σε αέρια (περιλαμβανομένων των υδρατμών) κατά τη θέρμανση της απουσία οξυγόνου στους 950 °C για 7 λεπτά, ενώ ο σταθερός άνθρακας είναι ότι παραμένει μετά την απομάκρυνση των στερεών και των ανόργανων. Η έκφραση της σύστασης της ξηρής βιομάζας σε πτητικά στερεά, σταθερό άνθρακα και τέφρα, αναφέρεται συνήθως ως “προσεγγιστική ανάλυση” (proximate analysis) της βιομάζας [18].

Οι διαφορές στα πτητικά στερεά και στον σταθερό άνθρακα, που παρατηρούνται στον Πίνακα 4, οφείλονται κυρίως στις μεταβολές της τέφρας, μεταξύ των διαφόρων τύπων βιομάζας. Σε ξηρή βάση (μηδενική υγρασία) συνυπολογιζόμενης όμως της τέφρας, τα πτητικά στερεά κυμαίνονται στο διάστημα 45 – 85 %, ενώ στο ξηρό και ελεύθερο τέφρας μέρος της βιομάζας (το αμιγώς οργανικό της κλάσμα), οι διακυμάνσεις αυτές περιορίζονται από 75 σε 85 % (ακόμη και 90 % για την ενεργό ιλύ και τα ζωικά απόβλητα), αν και γενικά ελαττώνονται από το γρασίδι, στο ξύλο, στα άχυρα, τους βλαστούς και τέλος στα ζωικά απόβλητα και την ενεργό ιλύ. Αντίστοιχα, ο περιεχόμενος σταθερός άνθρακα παρουσιάζει επίσης σημαντικές διακυμάνσεις από 5 έως 40 % σε ξηρή βάση, οι οποίες οφείλονται επίσης στις διακυμάνσεις της τέφρας και εξομαλύνονται σε 15 – 20 % για το αμιγώς οργανικό (το ξηρό και ελεύθερο τέφρας) μέρος της βιομάζας, ενώ γενικά ο σταθερός άνθρακας ελαττώνεται από τα αγροτικά υπολείμματα και το ξύλο, στο άχυρο, το γρασίδι, τα ζωικά υπολείμματα και την ενεργό ιλύ.



Σχήμα 2: Μεταβολή της ΑΘΔ και της ΚΘΔ της τυπικής ξυλώδους βιομάζας με την περιεχόμενη υγρασία, σύμφωνα με τη συσχέτιση του Dulong και την τυπική στοιχειακή σύσταση του Πίνακα 3



Η σύσταση της βιομάζας καθορίζει και το ενεργειακό της περιεχόμενο ή τη Θερμογόνο Δύναμη της (ΘΔ – Heating Value, HV), τη θερμότητα δηλαδή που εκλύεται κατά την πλήρη καύση της σε περίσσεια οξυγόνου. Η θερμογόνος αυτή δύναμη εκφράζεται ως η (θερμική) ενέργεια που εκλύεται ανά μονάδα μάζας ή όγκου του καυσίμου (συνήθως MJ/kg για στερεά καύσιμα και βιοκαύσιμα, MJ/lit για υγρά καύσιμα και βιοκαύσιμα και MJ/m<sup>3</sup> για αέρια καύσιμα και βιοκαύσιμα) και διακρίνεται στην Ανώτερη Θερμογόνο Δύναμη (ΑΘΔ – Higher Heating Value, HHV ή Gross Heating Value, GHV) και την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη (ΚΘΔ – Lower Heating Value, LHV ή Net Heating Value, NHV)<sup>1</sup>. Η ΑΘΔ είναι η συνολική θερμότητα που εκλύεται κατά την πλήρη καύση ενός καυσίμου, περιλαμβανομένης της λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης του ατμού που παράγεται από την καύση και αποτελεί το μέγιστο δυνατό ποσό θερμότητας που μπορεί να αξιοποιηθεί. Το πραγματικό ποσό θερμότητας που θα ανακτηθεί από μία αντίδραση καύσης εξαρτάται από τη τεχνολογία που χρησιμοποιείται, ενώ πρακτικά η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών που παράγονται από την καύση είναι συχνά αδύνατο να χρησιμοποιηθεί. Έτσι, καταλληλότερος όρος για να εκφραστεί η πραγματική ενεργειακή αξία ενός καυσίμου είναι η ΚΘΔ, η οποία προκύπτει από την ΑΘΔ με αφαίρεση της λανθάνουσας θερμότητας συμπύκνωσης των υδρατμών, που εκλύονται από την καύση και οι οποίοι είτε παράγονται από την καύση του υδρογόνου που περιέχεται στο καύσιμο, είτε προέρχονται από την υγρασία που το καύσιμο αυτό περιέχει. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές της ΑΘΔ του ξηρού μέρους (περιλαμβανομένης της τέφρας) χαρακτηριστικών τύπων βιομάζας [15].

Η ΑΘΔ οποιουδήποτε καυσίμου (περιλαμβανομένης της βιομάζας και των βιοκαυσίμων που προκύπτουν από τις πρωτογενείς μορφές της) μετριέται πειραματικά σε ειδικά αυτόκλειστα που ονομάζονται θερμιδόμετρα.

Εναλλακτικά, μπορεί με ικανοποιητική ακρίβεια να υπολογιστεί από συσχετίσεις που συνδέουν την ΑΘΔ με τη στοιχειακή ή την προσεγγιστική σύσταση της βιομάζας [14], όπως αυτή του Dulong:

$$A\Theta\Delta = 33.823C + 144.250(H - O/8) + 9.419S \quad (kJ/kg) \quad (1)$$

όπου C, H, O και S, οι % κ.β. περιεκτικότητες της βιομάζας σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο, αντίστοιχα. Στην περίπτωση της βιομάζας, η σημαντικότερη παράμετρος όσον αφορά την ενεργειακή της αξία είναι η περιεχόμενη υγρασία, η οποία αφενός ελαττώνει το ξηρό της μέρος, ως ποσοστό ανά kg φυσικής βιομάζας, και αφετέρου οδηγεί στην επιπλέον έκλυση υδρατμών και την περαιτέρω απόκλιση της ΚΘΔ από την ΑΘΔ μέσω ελάττωση της πρώτης. Στο Σχήμα 2 παριστάνεται η ελάττωση της ΑΘΔ και της ΚΘΔ της φυσικής βιομάζας με την αύξηση της υγρασίας της πρώτης ύλης (τα αποτελέσματα του σχήματος έχουν υπολογιστεί από την συσχέτιση του Dulong, για την τυπική στοιχειακή σύσταση του ξύλου, από τον Πίνακα 3 (C: 52,1 %κ.β., O: 41,2 %κ.β., H: 6,2 % κ.β., N: 0,4 %κ.β. και S: 0,08 %κ.β., (σε ξηρή και ελεύθερη τέφρας βάση) και την τυπική περιεκτικότητα σε ανόργανα (3,5 %κ.β. σε ξηρή βάση) από τον Πίνακα 4).

Από το Σχήμα 2 φαίνεται ότι για 10 %κ.β. υγρασία της φυσικής ξυλώδους βιομάζας, η ΑΘΔ είναι αναλογικά χαμηλότερη (κατά 10 %) της ΑΘΔ του ξηρού υλικού, ενώ η ΚΘΔ (η οποία αντιπροσωπεύει την πρακτική θερμική αξία του καυσίμου) είναι 17 % χαμηλότερη της ΑΘΔ του ξηρού καυσίμου. Η απόκλιση της ΚΘΔ της φυσικής βιομάζας από την ΑΘΔ της ξηρής βιομάζας αυξάνεται σε 28 %, για 20 % υγρασία και προσεγγίζει το 40 %, για 30 % υγρασία [1].

<sup>1</sup> Συχνά στην διεθνή βιβλιογραφία ο όρος heating value αντικαθίσταται από τον όρο calorific value και τα αντίστοιχα ακρωνύμια γίνονται HCV ή GCV και LCV ή NCV.



Πίνακας 6: Εκτίμηση της ΑΘΔ και της ΚΘΔ των τύπων βιομάζας του Πίνακα 4, με βάση τη συσχέτιση του Dulong, τις στοιχειακές συστάσεις του Πίνακα 3 και τις περιεκτικότητες σε υγρασία και τέφρα του Πίνακα 4

	Ξηρή Βιομάζα		Φυσική βιομάζα	
	HHV, MJ/dkg	LHV, MJ/dkg	HHV, MJ/kg	LHV, MJ/kg
<b>Ξύλο (μ.τ.)</b>	<b>18,47</b>	<b>17,25</b>	<b>14,90</b>	<b>13,48</b>
οξιά	17,06	15,93	15,63	14,41
φτελιά	16,47	15,38	15,08	13,90
ευκάλυπτος	15,73	14,63	13,84	12,60
δρυς	18,09	16,85	16,91	15,61
ελιά	15,75	14,68	14,71	13,56
πεύκο	19,14	17,96	18,24	17,01
λεύκα	20,25	18,92	18,55	17,14
έλατο	19,22	18,00	17,61	16,30
ιτιά	17,53	16,31	15,76	14,44
<b>Αγρωστώδης (μ.τ.)</b>	<b>17,11</b>	<b>15,92</b>	<b>15,05</b>	<b>13,73</b>
μίσχανθος	16,81	15,62	14,89	13,58
καλάμι	16,49	15,32	15,22	13,96
σόργο	16,90	15,71	15,71	14,46
αγριαγκινάρα	18,55	17,42	16,32	15,06
άχυρο κριθαριού	16,85	15,65	14,91	13,59
στελέχη αραβόσιτου	16,39	15,18	15,17	13,89
στελέχη ελαιοκράμβης	16,78	15,54	15,32	13,99
άχυρο ρυζιού	13,91	12,99	12,86	11,83
άχυρο σιταριού	16,39	15,24	14,74	13,47
<b>Αγροτικά Απορρίμματα (μ.τ.)</b>	<b>16,92</b>	<b>15,75</b>	<b>15,19</b>	<b>13,91</b>
κελύφη αμύγδαλου	17,69	16,47	16,42	15,12
κελύφη βαμβακιού	21,24	19,59	19,77	18,08
κελύφη φουντουκιού	17,58	16,48	16,32	15,13
πυρήνες ελιάς	19,65	18,34	18,45	17,09
φλοιοί ρυζιού	14,43	13,41	12,90	11,75
κελύφη ηλιόσπορου	16,69	15,61	15,17	13,98
κελύφη καρυδιού	17,67	16,44	16,47	15,17
<b>Οικοδομική Ξυλεία (Μ.Τ.)</b>	<b>18,04</b>	<b>16,83</b>	<b>15,10</b>	<b>13,72</b>
<b>Έπιπλα (Μ.Τ.)</b>	<b>18,11</b>	<b>16,91</b>	<b>15,92</b>	<b>14,59</b>
<b>RDF (μ.τ.)</b>	<b>16,86</b>	<b>15,69</b>	<b>16,15</b>	<b>14,93</b>
<b>Ενεργός Ιλύς (μ.τ.)</b>	<b>11,67</b>	<b>10,87</b>	<b>10,92</b>	<b>10,03</b>
άνθρακας	24,92	24,08	23,54	22,63
λιγνίτης	16,55	15,82	14,81	13,92

Έτσι, ενώ από τον Πίνακα 5 φαίνεται ότι μία τυπική τιμή ΑΘΔ της ξηρής βιομάζας (περιλαμβανομένης της τέφρας) είναι της τάξης των 18 MJ/kg (σχετικά υψηλότερη για την ξυλώδη βιομάζα και τα αγροτικά απορρίμματα και χαμηλότερη για την ξηρή αγρωστώδη βιομάζα), από τον Πίνακα 6 φαίνεται ότι η τυπική τιμή ΚΘΔ της φυσικής βιομάζας βρίσκεται συνήθως στην περιοχή των 15 MJ/kg [1].

Πίνακας 7: Τυπικές τιμές πυκνότητας δασικής και αγροτικής βιομάζας [10]

	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>
<b>ξυλώδης</b>		<b>αγρωστώδης</b>	
πριονίδι κωνοφόρων	180 – 190	φυσικό	20 – 40
πριονίδι πλατύφυλλων	230	σε μπάλες	110 – 200
σκόνη ξύλου	120	σε κύβους	320 – 670
υπολείμματα πλάνης	100	συμπιεσμένο	100 – 1.250
πελλέτες	560 – 630	πελλέτες	560 – 710

Ένα επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό της φυσικής βιομάζας, το οποίο καθορίζει τόσο την αξία και τις εφαρμογές της ως καύσιμο, όσο και κυρίως τις δυνατότητες και το κόστος μεταφοράς αλλά και αποθήκευσης της, είναι η φαινόμενη πυκνότητα των διαφόρων τύπων της. Ο όρος φαινόμενη πυκνότητα αναφέρεται όχι στην πυκνότητα του ίδιου του υλικού της βιομάζας αλλά στην πυκνότητα που η πρώτη ύλη εμφανίζει μακροσκοπικά, λόγω κυρίως της μορφής (πριονίδι, ροκανίδι, βλαστός, άχυρο) στην οποία συλλέγεται ή αποθηκεύεται και η οποία συχνά εξαναγκάζει στην ύπαρξη κενών όγκων που ελαττώνουν την αρχική τιμή της πυκνότητας του υλικού. Στον Πίνακα 7, παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές φαινόμενης πυκνότητας χαρακτηριστικών πρώτων υλών ξυλώδους και αγρωστώδους βιομάζας, ως προς τις πλέον συνηθισμένες μορφές στις οποίες παράγεται, μεταφέρεται ή αποθηκεύεται [1].

Πίνακας 8: Τυπικές τιμές ενεργειακού περιεχομένου, πυκνότητας και ενεργειακής πυκνότητας, χαρακτηριστικών καυσίμων και βιοκαυσίμων

	MJ/kg*	kg/m <sup>3</sup>	MJ/t*
<b>στερεά καύσιμα</b>			
γαιάνθρακας	22 - 27	670 - 930	15 - 25
λιγνίτης	5 - 14	640 - 860	3 - 12
ξυλώδης βιομάζα	14 - 17	180 - 230	3 - 4
αγρωστώδης βιομάζα	13 - 16	110 - 320	2 - 5
πελλέτες	13 - 17	560 - 710	7 - 12
<b>υγρά καύσιμα</b>			
αργό πετρέλαιο	41 - 46	800 - 970	29 - 37
ντίζελ	45 - 46	820 - 920	37 - 38
βενζίνη	45	700 - 780	32 - 35
βιο-ντίζελ	38 - 43	880	33 - 36
βιο-αιθανόλη	25	790	20
βιο-μεθανόλη	20	790	16
βιο-έλαιο	10 - 15	1.200	12 - 18
<b>αέρια καύσιμα</b>			MJ/m <sup>3</sup> *
φυσικό αέριο			37
βιο-αέριο			22
αέριο σύνθεσης			5 - 20

\* ΚΘΔ σε φυσική μορφή (περιλαμβανομένης της υγρασίας)

Η χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα της στερεής βιομάζας, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, αλλά και το χαμηλότερο ειδικό ενεργειακό της περιεχόμενο (ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα μάζας), έχουν σαν αποτέλεσμα τα στερεά βιοκαύσιμα να υπολείπονται σημαντικά των αντίστοιχων ορυκτών καυσίμων σε ενεργειακή πυκνότητα (ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα όγκου). Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τις τυπικές τιμές ενεργειακού περιεχομένου, φαινόμενης πυκνότητας και ενεργειακής πυκνότητας των κυριότερων καυσίμων και βιοκαυσίμων [1].

Από τον πίνακα φαίνεται ότι η στερεή βιομάζα σε φυσική μορφή και κατά τη συλλογή της παρουσιάζει φαινόμενη πυκνότητα 2 – 10 φορές χαμηλότερη από αυτή των γαιανθράκων, των λιγνιτών αλλά και του αργού πετρελαίου (φαινόμενη πυκνότητα ξυλώδους και αγρωστώδους βιομάζας ίση με το 10 – 50 % της φαινόμενης πυκνότητας των ορυκτών καυσίμων) και μόνο αφότου πελλετοποιηθεί, οι τιμές της φαινόμενης πυκνότητας της γίνονται συγκρίσιμες με αυτές των ορυκτών καυσίμων (60 – 110 % της φαινόμενης πυκνότητας των ορυκτών καυσίμων). Αντίστοιχα, το ειδικό ενεργειακό της περιεχόμενο (ΚΘΔ ανά μονάδα μάζας καυσίμου) είναι επίσης της τάξης του 50 – 75 % των γαιανθράκων, 30 – 40 % του αργού πετρελαίου και συγκρίνεται (ή ακόμα και υπερβαίνει σημαντικά) αυτό του λιγνίτη.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ενεργειακή πυκνότητα της στερεής βιομάζας να κυμαίνεται στο 5 – 35 % της ενεργειακής πυκνότητας του γαιάνθρακα, στο 10 – 160 % της ενεργειακής πυκνότητας του λιγνίτη και στο 3 – 15 % της ενεργειακής πυκνότητας του αργού πετρελαίου, με τις αναμενόμενες επιπτώσεις πρωτίστως όσον αφορά στο κόστος μεταφοράς της ακατέργαστης βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις. Η κατάσταση βελτιώνεται εν μέρει αν η πρωτογενής βιομάζα υποστεί πελλετοποίηση, οπότε και η ενεργειακή της πυκνότητα αντιστοιχεί στο 30 – 80 % των γαιανθράκων, το 60 – 400 % των λιγνιτών και το 15 – 35 % του αργού, ενώ είναι αισθητά καλύτερη όσον αφορά τα υγρά βιοκαύσιμα (ενεργειακή πυκνότητα βιοντίζελ ίση με 87 – 97 % του ορυκτού ντίζελ, της βιοαιθανόλης 57 – 65 % της βενζίνης) [1].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εκτίμηση δυναμικού βιομάζας

### 3.1 Εκτίμηση δυναμικού βιομάζας σε Ευρώπη και Ελλάδα

Την τελευταία δεκαετία, πολλές προσπάθειες και διαφορετικές προσεγγίσεις οδήγησαν σε αξιοσημείωτα διαφορετικές εκτιμήσεις όσον αφορά στο δυναμικό βιομάζας στην Ευρώπη και στα επιμέρους κράτη μέλη. Τα αποτελέσματα των προσπαθειών αυτών είναι πολύ δύσκολο να αντιστοιχηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους και κυρίως να οδηγήσουν σε οριστικές και γενικά αποδεκτές τιμές των διαθέσιμων πρώτων υλών βιομάζας. Στο πλαίσιο αυτό, το έργο Biomass Energy Europe ολοκλήρωσε μία διεξοδική επισκόπηση περισσότερων από 250 μελετών εκτίμησης του δυναμικού βιομάζας και επιχείρησε, μεταξύ άλλων, να οργανώσει, να κατηγοριοποιήσει και να εναρμονίσει τα αποτελέσματα τους. Συνεχίζοντας την προσπάθεια του BEE, το έργο Biomass Futures [19] καταλήγει στην κατηγοριοποίηση των πρώτων υλών βιομάζας του Πίνακα 1, για τις οποίες παρέχει τις εκτιμήσεις δυναμικού, για το 2010 και το 2020 (Πίνακες 9 και 10), μέσα από εργώδη σύνθεση και αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων προηγούμενων μελετών, ερευνητικών έργων και μοντέλων για την πρόβλεψη των μεταβολών των κύκλων εργασιών και των τιμών διαφόρων κλάδων της αγροτικής οικονομίας, της ζωικής παραγωγής και των ζωοτροφών, της δασικής εκμετάλλευσης και της παραγωγής ξύλου, της βιομηχανίας τροφίμων, της ανακύκλωσης πρώτων υλών και άλλων τομέων.

Σύμφωνα με την εκτίμηση του Πίνακα 9, το συνολικό δυναμικό βιομάζας στην ΕΕ-27, το 2010 ανερχόταν σε 262 Mtoe και είναι περίπου διπλάσιο από την αντίστοιχη ακαθάριστη κατανάλωση βιομάζας (118 Mtoe Σχήμα 3), δηλαδή θα ήταν επαρκές ακόμη και αν η χρήση βιοενέργειας διπλασιαζόταν. Με εξαίρεση τα υγρά βιοκαύσιμα<sup>2</sup>, η ακαθάριστη κατανάλωση της βιομάζας για την παραγωγή θερμότητας (οικιακή, βιομηχανική και συνοικιακή) ή τη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (102,7 Mtoe Σχήμα 6) στην ΕΕ-27 το 2010, φτάνει μόλις στο 40 % σε σχέση με το άθροισμα των διαθέσιμων αγροτικών υπολειμμάτων (32,3 Mtoe), ζωικών αποβλήτων (56,8 Mtoe), δασικών υπολειμμάτων (75,3 Mtoe) και αστικών/βιομηχανικών αποβλήτων (54,0 Mtoe). Τα αγροτικά υπολείμματα (περιλαμβανομένων των ζωικών αποβλήτων) αντιστοιχούν στο 36 % του εκτιμώμενου δυναμικού βιομάζας και από αυτά το 64 % αφορά στα ζωικά απόβλητα. Τα δασικά υπολείμματα (πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή) και τα απόβλητα (αστικά, βιομηχανικά, ιλύς αλλά και τα απόβλητα από την περιποίηση των πρηνών των εθνικών οδών – με εξαίρεση τα χρησιμοποιημένα έλαια) αφορούν στο 30 και στο 16%, αντίστοιχα. Από το 16 % των αποβλήτων (με εξαίρεση πάντα τα χρησιμοποιημένα έλαια), το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων αντιστοιχεί στο 71 %.

<sup>2</sup> Όπως αναφέρθηκε, η όλη στρατηγική της ΕΕ για τα βιοκαύσιμα 1<sup>ης</sup> γενιάς βρίσκεται υπό αναθεώρηση και από τη στιγμή που η ανάπτυξη του σχετικού δυναμικού ελαίων ή σακχαρούχων/αμυλούχων πρώτων υλών στηρίχθηκε στα κίνητρα αυτής της υπό αναθεώρηση στρατηγικής, η αναφορά στο δυναμικό τους στερείται προοπτικής. Άλλωστε και οι εκτιμήσεις του έργου Biomass Futures (Πίνακας 10 και 11) καταγράφουν τη μείωση του συγκεκριμένου δυναμικού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την αναθεώρηση της στρατηγικής όσο και τον προβληματισμό όσον αφορά τις απαιτήσεις σε γεωργική γη που η περαιτέρω ανάπτυξη τους θα επέφερε. Επίσης, από τη στιγμή που η παραγωγή αυτών των βιοκαυσίμων (βιοντίζελ και βιοαιθανόλης) στηρίζεται αποκλειστικά σε κυβερνητικά κίνητρα και ο σχετικός πόρος είναι η υφιστάμενη γεωργική γη, η έννοια του δυναμικού χάνει τη σημασία της, αφού το δυναμικό αυτό θα είναι κάθε στιγμή ίσο με τον κεντρικά αποφασισμένο στόχο για την κατανάλωση των βιοκαυσίμων αυτών.

Ένα σημαντικό κλάσμα (17 % ή 41 Mtoe) του εκτιμώμενου συνολικού δυναμικού των 262 Mtoe, θα μπορούσε, σύμφωνα με το έργο Biomass Futures, να προέλθει από την επιπλέον και αειφόρο πάντα υλοτόμηση των δασών, πέραν της υφιστάμενης υλοτομίας για τη παραγωγή βιομηχανικής ξυλείας. Όσον αφορά στην εκτίμηση του ίδιου έργου, για το 2020:

- τα αγρωστώδη και τα ξυλώδη αγροτικά υπολείμματα αναμένεται να αυξηθούν κατά 114 και κατά 8 %, αντίστοιχα, ενώ τα ζωικά απόβλητα να ελαττωθούν κατά 18 % (το συγκεκριμένο έργο στηρίχθηκε για τις προβλέψεις του στο μοντέλο CAPRI για τις μεταβολές της χρήσης γης ως το 2020)
- η δυνητικά επιπρόσθετη υλοτομία αναμένεται να ελαττωθεί κατά 8 %, λόγω αναμενόμενης αύξησης της υλοτομίας για βιομηχανική ξυλεία, η οποία όμως με τη σειρά της αναμένεται να αποφέρει αύξηση των πρωτογενών και δευτερογενών δασικών υπολειμμάτων κατά 53 %
- το δυναμικό των κλαδεμάτων των δασικών υπολειμμάτων από αστικές περιοχές (δεν συνδέονται με την παραγωγή ξύλου) αναμένεται να αυξηθεί κατά 25 %
- τα τριτογενή δασικά υπολείμματα (χρησιμοποιημένο χαρτί και ξύλο), λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις δυνατότητες ανακύκλωσης, αναμένεται να αυξηθούν κατά 3 και 16 %, αντίστοιχα
- τέλος, όσον αφορά στα απόβλητα, τα βιομηχανικά, η ιλύς και τα χρησιμοποιημένα έλαια (αλλά και τα κλαδέματα από τα πρανή εθνικών οδών), αναμένεται να παρουσιάσουν οριακές αν και θετικές μεταβολές, ενώ το ζυμώσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων αναμένεται να ελαττωθεί κατά περίπου 20 %

Πίνακας 9: Δυναμικό βιομάζας στην ΕΕ-27 [20]

Mtoe		2010 <sup>1</sup>	2020	
αγροτική	ενεργειακές καλλιέργειες	ξύλαδες	18,62	
		αγροστώδεις (ξηρές)	39,58	
		αγροστώδεις (υγρές)	5,51	
		σακχάρων/αμύλου	3,00	
	αγροτικά υπολείμματα	ελαίων	11,00	
		αγροστώδη	22,94	
ζωικά απόβλητα	ξύλαδη	9,36		
	χορτολιβαδικές εκτάσεις		3,65	
		56,82	46,72	
δασική	ξύλεια <sup>2</sup>	41,05	37,87	
	πρωτογενή υπολείμματα	υπολείμματα υλοτομίας	20,28	31,19
		από αστικούς δενδρώνες	9,07	11,42
	δευτερογενή υπολείμματα	ξύλο/φλοιοί	9,07	10,09
		πριονίδι	4,50	4,98
τριτογενή υπολείμματα	άλλα	10,86	22,21	
	χρησιμοποιημένο ξύλο	7,59	8,79	
	χαρτί/χαρτόνι <sup>3</sup>	13,88	14,30	
απόβλητα	πρωτογενή	από πρηνή εθνικών οδών	1,10	1,14
		αστικά απορρίμματα <sup>4</sup>	28,52	22,19
	δευτερογενή	βιομηχανικά	2,78	2,88
		ύλς	7,77	8,08
	χρησιμοποιημένα έλαια	2,10	2,14	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>261,69</b>	<b>362,59</b>	

1. Αναφέρεται στο 2010, εκτός από τις ενεργειακές καλλιέργειες που αναφέρονται στο 2004.
2. Δυνητική παραγωγή, επιπλέον της παραγωγής για τη βιομηχανία ξύλου.
3. Λαμβάνοντας υπόψη το μέρος εκείνο του χρησιμοποιημένου χαρτιού που ανακυκλώνεται.
4. Οργανικό κλάσμα.

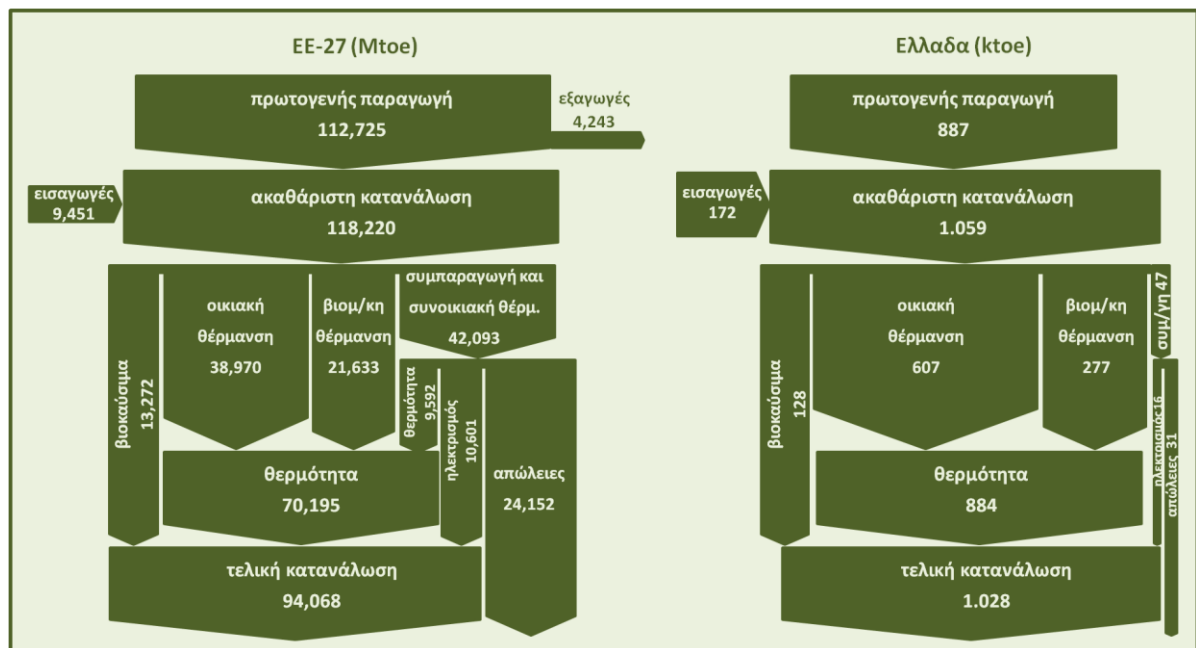
Πίνακας 10: Δυναμικό βιομάζας στην Ελλάδα [20]

Mtoe			σήμερα <sup>1</sup>	2020
αγροτική	ενεργειακές καλλιέργειες	ξυλώδεις		
		αγροστώδεις (ξηρές)		2,91
		αγροστώδεις (υγρές)		
	αγροτικά υπολείμματα	σακχάρων/αμύλου		
		ελαίων	0,06	0,07
		αγροστώδη	0,34	0,44
ζωικά απόβλητα	ξυλώδη	0,86	0,80	
	χορτολιβαδικές εκτάσεις		0,03	
			0,09	0,08
δασική	ξυλεία <sup>2</sup>		0,87	0,42
	πρωτογενή υπολείμματα	υπολείμματα υλοτομίας	0,08	0,17
	δευτερογενή υπολείμματα	ξύλο/φλοιοί	0,02	0,02
		πριονίδι	0,01	0,01
	τριτογενή υπολείμματα	άλλα	0,03	0,05
	χρησιμοποιημένο ξύλο χαρτί/χαρτόνι <sup>3</sup>	0,13	0,15	
απόβλητα	πρωτογενή	από πρηνή εθνικών οδών	0,02	0,02
		αστικά απορρίμματα <sup>4</sup>	0,80	0,61
	δευτερογενή	βιομηχανικά	0,07	0,07
		ιλύς	0,07	0,07
	χρησιμοποιημένα έλαια	0,05	0,05	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>3,67</b>	<b>6,14</b>

1. Αναφέρεται στο 2010, εκτός από τις ενεργειακές καλλιέργειες που αναφέρονται στο 2004.
2. Δυνητική παραγωγή, επιπλέον της παραγωγής για τη βιομηχανία ξύλου.
3. Λαμβάνοντας υπόψη το μέρος εκείνο του χρησιμοποιημένου χαρτιού που ανακυκλώνεται.
4. Οργανικό κλάσμα.

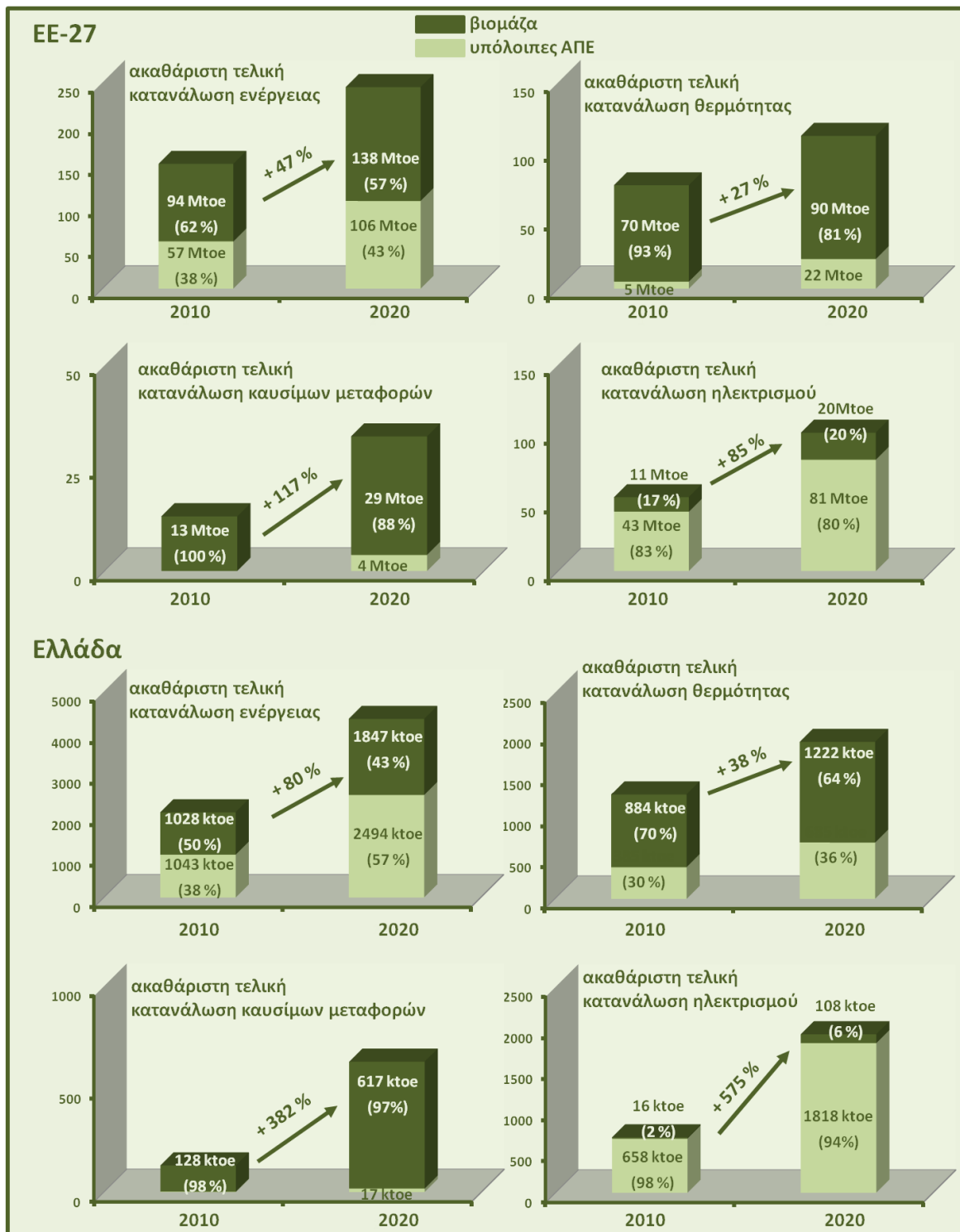
Συνολικά, οι υφιστάμενες πηγές δυναμικού βιομάζας (το δυναμικό από ενεργειακές καλλιέργειες εκτιμάται σήμερα να έχει πρακτικά μηδενικές τιμές και δεν θεωρείται, εδώ, υφιστάμενη πηγή), εκτός της επιπλέον ξυλείας (αποκλειστικά για ενεργειακούς σκοπούς), αναμένεται να αυξηθεί από 220,6 Mtoe σε 298,9 Mtoe (κατά 20 % περίπου) κυρίως λόγω της αύξησης των αγροστωδών και των ξυλωδών αγροτικών υπολειμμάτων και των πρωτογενών αλλά και των δευτερογενών δασικών υπολειμμάτων και παρά την ελάττωση των ζωικών αποβλήτων και των αστικών απορριμμάτων. Αντιπαραβάλλοντας τους 298,9 Mtoe του εκτιμώμενου εφικτού δυναμικού από υφιστάμενες πηγές, με τις προβλέψεις των Εθνικών Σχεδίων Δράσης για τις ΑΠΕ (138 Mtoe) του Σχήματος 4, φαίνεται ότι το δυναμικό των ήδη υφιστάμενων πηγών, το 2020, αναμένεται να υπερκαλύπτει την ακαθάριστη τελική κατανάλωση βιομάζας κατά 2,2 φορές. Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι, η ακαθάριστη τελική κατανάλωση δεν περιλαμβάνει τις απώλειες, κυρίως από την ηλεκτροπαραγωγή, τη συμπαραγωγή και τη συνιοικιακή θέρμανση (Σχήμα 3), οι οποίες το 2010 ανέρχονταν στο 26 % της τελικής κατανάλωσης βιοενέργειας ή το 57 % της ακαθάριστης κατανάλωσης βιομάζας για συμπαραγωγή και συνιοικιακή θέρμανση (230 % της ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα, που είναι και η κύρια πηγή απωλειών).

Θεωρώντας ότι η επιπλέον συνοικιακή θέρμανση από βιομάζα θα προέλθει εξολοκλήρου από τη συμπαραγωγή θερμότητας από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (σήμερα το 70 % της συνοικιακής θέρμανσης από βιομάζα, προέρχεται από τέτοιες μονάδες), τότε οι συνολικές απώλειες βιοενέργειας θα μπορούσαν να ανέλθουν σε 45 Mtoe (24 Mtoe οι υφιστάμενες απώλειες και 21 Mtoe οι απώλειες από την επιπλέον βιομαζική ηλεκτροπαραγωγή) και η ακαθάριστη κατανάλωση βιομάζας, το 2020 να ανέλθει σε 183 Mtoe (138 Mtoe η τελική κατανάλωση και 45 Mtoe οι απώλειες). Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση όμως, το προβλεπόμενο δυναμικό από τις υφιστάμενες πηγές (χωρίς δηλαδή να λαμβάνονται υπόψη οι δυνατότητες επιπλέον υλοτόμησης για ενεργειακούς σκοπούς και οι ενεργειακές καλλιέργειες) των 298,9 Mtoe, υπερκαλύπτει την αναμενόμενη ζήτηση βιομάζας (183 Mtoe) κατά 60 % [1].



Σχήμα 3: Κατανομή των χρήσεων της βιοενέργειας στην EE-27 και την Ελλάδα, το 2010 [21]





Σχήμα 4: Προβλεπόμενη μεταβολή του μεριδίου των ΑΠΕ και της βιομάζας, στην ακαθάριστη τελική ενεργειακή κατανάλωση της ΕΕ-27 και στην Ελλάδα, έως το 2020, σύμφωνα με τα Εθνικά Σχέδια Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας των κρατών μελών [22]

Παρά, όμως, τη διαφαινόμενη επάρκεια πρώτων υλών οικονομικά διαθέσιμης βιομάζας από ήδη υφιστάμενες πηγές, η ερευνητική σύμπραξη του έργου Biomass Futures, θεωρεί για το 2020 και ένα επιπλέον δυναμικό 63,7 Mtoe από ξυλώδεις και αγρωστώδεις ενεργειακές καλλιέργειες λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας (δυναμικό που αυξάνεται σε 75,5 Mtoe αν συνυπολογιστούν οι ενεργειακές καλλιέργειες παραγωγής ελαίων και σακχάρων/αμύλου). Η πρόβλεψη αυτή καταγράφει το δυναμικό λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες (ξυλώδεις και αγρωστώδεις) στο 21 % του ολικού δυναμικού λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας, το 2020, έναντι 20 % των αγροτικών υπολειμμάτων (περιλαμβανομένων των ζωικών αποβλήτων) και 11 % των αποβλήτων. Έτσι το προβλεπόμενο δυναμικό λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες (63,7 Mtoe) αναμένεται να υπολείπεται μόνο του δυναμικού δασικών υπολειμμάτων (103 Mtoe ή 33 %), χωρίς πάντα να λαμβάνονται υπόψη οι δυνατότητες περεταίρω αειφόρου υλοτόμησης των δασών.

Στην Ελλάδα, το εκτιμώμενο δυναμικό βιομάζας φτάνει στους 3,67 Mtoe, δηλαδή περίπου τρισεπίμισι φορές μεγαλύτερο από την ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση βιομάζας (αλλά και την τελική κατανάλωση βιοενέργειας, η οποία στην περίπτωση της Ελλάδας είναι περίπου ίση με την ακαθάριστη κατανάλωση λόγω περιορισμένων εφαρμογών ηλεκτροπαραγωγής – Σχήμα 3) [20].

Αν δεν ληφθεί υπόψη η εκτιμώμενη επιπλέον παραγωγή ξυλείας αποκλειστικά για ενεργειακούς σκοπούς, οι σημαντικότερες πηγές βιομάζας της χώρας είναι τα ξυλώδη αγροτικά υπολείμματα (κλαδέματα ελιάς, αμπέλων και οπωροφόρων δέντρων) και το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, τα οποία αποτελούν το 31 και το 29 % του ολικού δυναμικού, αντίστοιχα και θα μπορούσαν από μόνα τους να διπλασιάσουν την εγχώρια παραγωγή βιοενέργειας. Από τις υπόλοιπες κατηγορίες δυναμικού, τα αγρωστώδη αγροτικά υπολείμματα αντιστοιχούν στο 12 % του συνολικού εφικτού δυναμικού, ενώ υψηλές τιμές εμφανίζουν το χρησιμοποιημένο ξύλο (4,5 %) και το μη ανακυκλούμενο χαρτί (6 %). Σε αντίθεση με την ΕΕ-27, το δυναμικό δασικής βιομάζας (πρωτογενή και δευτερογενή υπολείμματα) εμφανίζεται να υπολείπεται σε συνεισφορά (μόλις το 5 % του συνολικού δυναμικού, στην Ελλάδα, έναντι 26 % στην Ευρώπη). Αν εξαιρεθούν οι δυνατότητες επιπρόσθετης ενεργειακής υλοτομίας, τότε το δυναμικό από υφιστάμενες πηγές βιομάζας ανέρχεται σε 2,79 Mtoe και εμφανίζεται σχεδόν τριπλάσιο της ακαθάριστης κατανάλωσης βιομάζας στη χώρα, το 2010.

Για το 2020, το έργο Biomass Futures προβλέπει σημαντική αύξηση των πρωτογενών και των δευτερογενών δασικών υπολειμμάτων (+112 % τα πρωτογενή υπολείμματα, +33 % τα δευτερογενή) και των αγρωστωδών υπολειμμάτων (+29 %), ενώ ελάττωση αναμένεται να εμφανίσει το δυναμικό του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων (-24 %). Συνολικά, αν εξαιρεθεί το δυναμικό επιπρόσθετης υλοτομίας και οι ενεργειακές καλλιέργειες, το δυναμικό των υφιστάμενων πηγών βιομάζας αναμένεται να αυξηθεί οριακά από 2,79 Mtoe σε 2,81 Mtoe, και να συνεχίσει να επαρκεί για την κάλυψη των τότε απαιτήσεων της χώρας σε βιοενέργεια, οι οποίες σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης αναμένεται να αυξηθεί σε 1,85 Mtoe. Παρά το γεγονός αυτό, η ερευνητική σύμπραξη για το έργο Biomass Futures εκτιμά, για το 2020, ένα επιπλέον δυναμικό 2,91 Mtoe λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες, το οποίο αντιστοιχεί περίπου 50 % του εκτιμώμενου, για το 2020, δυναμικού βιομάζας στη χώρα [1].

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας ορίζεται σε μονάδες βάρους ή όγκου, και υπολογίζεται με βάση την περιεχόμενη επί % υγρασία του υλικού κ.β., και το φαινόμενο ειδικό βάρος. Η εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας γίνεται εφικτή γνωρίζοντας ότι, ότι το δυναμικό της βιομάζας διαιρείται στις εξής παρακάτω κατηγορίες:

- Θεωρητικό δυναμικό βιομάζας: το οποίο αποτελεί το μέγιστο ποσό της βιομάζας που μπορεί να παραχθεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας: το οποίο αποτελεί το ποσοστό του θεωρητικού δυναμικού που μπορεί να αποληφθεί με βάση τοπικούς (π.χ. μορφολογία εδάφους) και άλλους (π.χ. ανταγωνιστικές χρήσεις) περιορισμούς.
- Τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό βιομάζας: το οποίο είναι το ποσοστό του διαθέσιμου δυναμικού, που μπορεί να αξιοποιηθεί με τα υφιστάμενα τεχνικά μέσα.
- Οικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό βιομάζας: το οποίο είναι το ποσοστό του τεχνικά εκμεταλλεύσιμου δυναμικού, που είναι και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο.

Η εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας είναι μια δυσχερής διαδικασία γιατί εξαρτάται από πολλούς και ετερόκλητους παράγοντες. Ενδεικτικά ορισμένοι παρουσιάζονται παρακάτω:

- εξάρτηση από βιολογικούς, τεχνοοικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες, και απρόβλεπτες φυσικές μεταβολές
- δυσκολία ακριβούς εκτίμησης και καταγραφής των στοιχείων της πρώτης ύλης (ποσότητα, διαθεσιμότητα), λόγω ποικιλομορφίας των γεωργικών καλλιεργειών και πολυκερματισμού του κλήρου, αδυναμίας παροχής επαρκούς και διαρκούς πληροφόρησης από τους αρμόδιους φορείς, έλλειψης ικανών εργαλείων επεξεργασίας, πολυδιάσπασης των υπηρεσιών, πολλαπλών χρήσεων της και την εξάρτηση από τις διάφορες βιομηχανίες/βιοτεχνίες του δευτερογενούς τομέα και έλλειψης συγκεκριμένης μεθοδολογίας και προτύπων για τον υπολογισμό των ποσοτήτων πρώτης ύλης.
- μεγάλες αποκλίσεις στοιχείων που οφείλονται στις διαφορετικές παραδοχές της κάθε μελέτης, σχετικά με τους δείκτες καρπού/υπόλειμμα, την ποιότητα και καταλληλότητα της γεωργικής γης, τις αποδόσεις (3 t/ha- 5.5 t/ha), τις καλλιεργητικές πρακτικές (~20% απώλειες στη συγκομιδή, ~10% κατά τη μεταφορά και αποθήκευση, κλπ), τη διαθεσιμότητα βιομάζας και τις εναλλακτικές αγορές [23].

### 3.2 Ο γεωργικός τομέας στην Ελλάδα

Η συνεισφορά της γεωργίας στο ΑΕΠ της χώρας φτάνει το 6% και ο συγκεκριμένος τομέας απασχολεί το 20% του πληθυσμού, με την οικογενειακή απασχόληση να καλύπτει το 85,5% της συνολικής απασχόλησης στο γεωργικό τομέα. Ωστόσο, παρατηρείται μείωση της απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα (από 30% το 1981 σε 20% το 2000). Γενικά χαρακτηριστικά των απασχολούμενων στον αγροτικό τομέα είναι η χαμηλή τεχνική κατάρτιση των αγροτών (το 62% είναι απόφοιτοι δημοτικού ενώ το 32% δεν έχει καμία εκπαίδευση) και η δυσκολία στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών λόγω ηλικιακής σύνθεσης του αγροτικού πληθυσμού (το 60% είναι άνω των 45 ετών).

Οι αγροτικές εργασίες λαμβάνουν χώρα στο 69% της συνολικής έκτασης της χώρας (συμπεριλαμβανομένων των βοσκοτόπων) και κατανάλωση νερού που αγγίζει το 85% της συνολικής κατανάλωσης νερού στη χώρα. Παρότι οι επιδοτήσεις είναι αυξημένες, παρατηρείται πολυκερματισμός των αγροτεμαχίων και μικρό μέγεθος κλήρου (~4.3 εκτάρια έναντι 18.2 του αντίστοιχου Κοινοτικού μέσου όρου) [23].

### 3.3 Πηγές βιομάζας

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται κάποιες βασικές πηγές βιομάζας [23].



Γεωργικά/δασικά υπολείμματα



Υπολείμματα γεωργικών/ δασικών βιομηχανιών

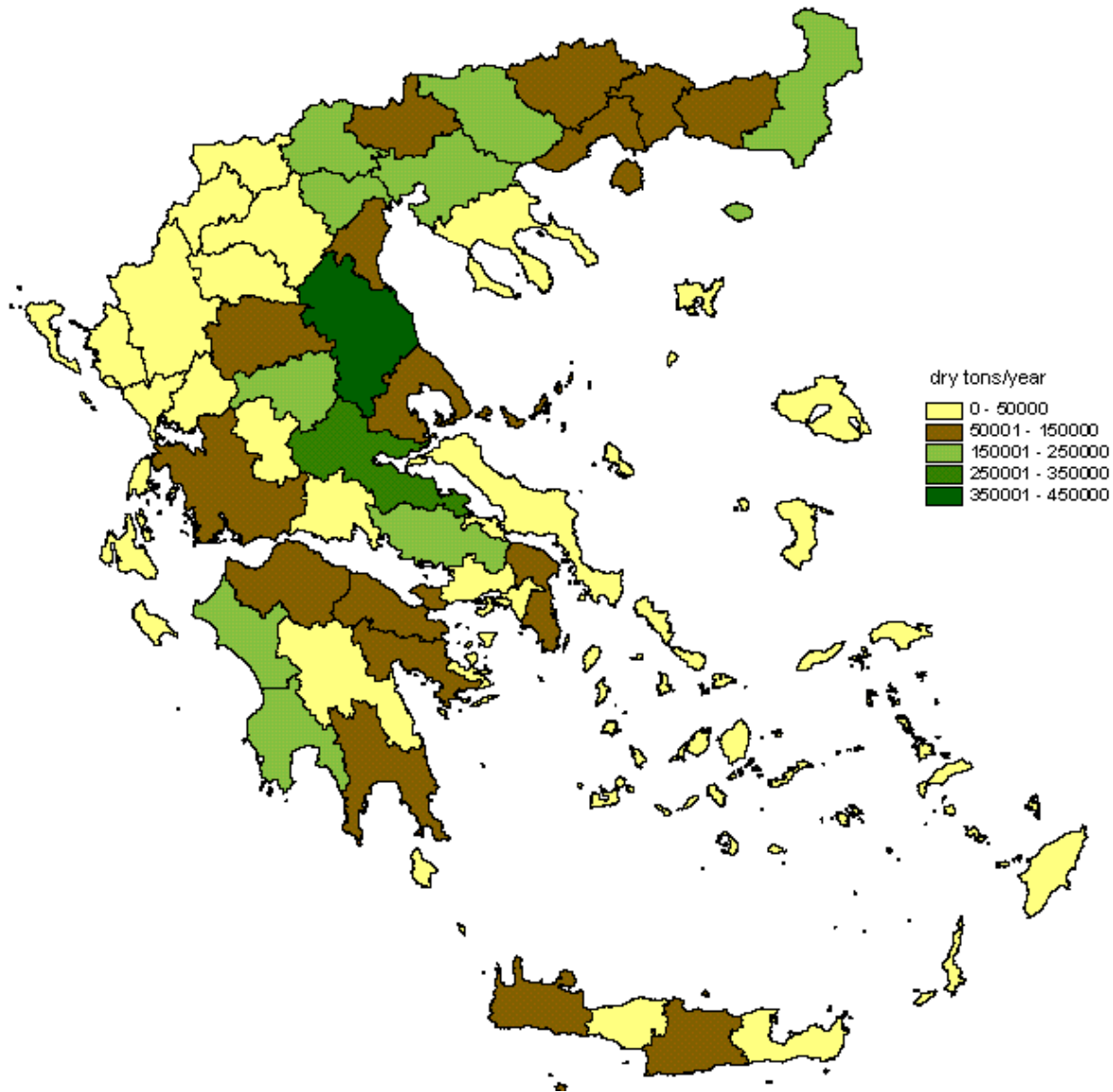


Ζωικά/αστικά λύματα



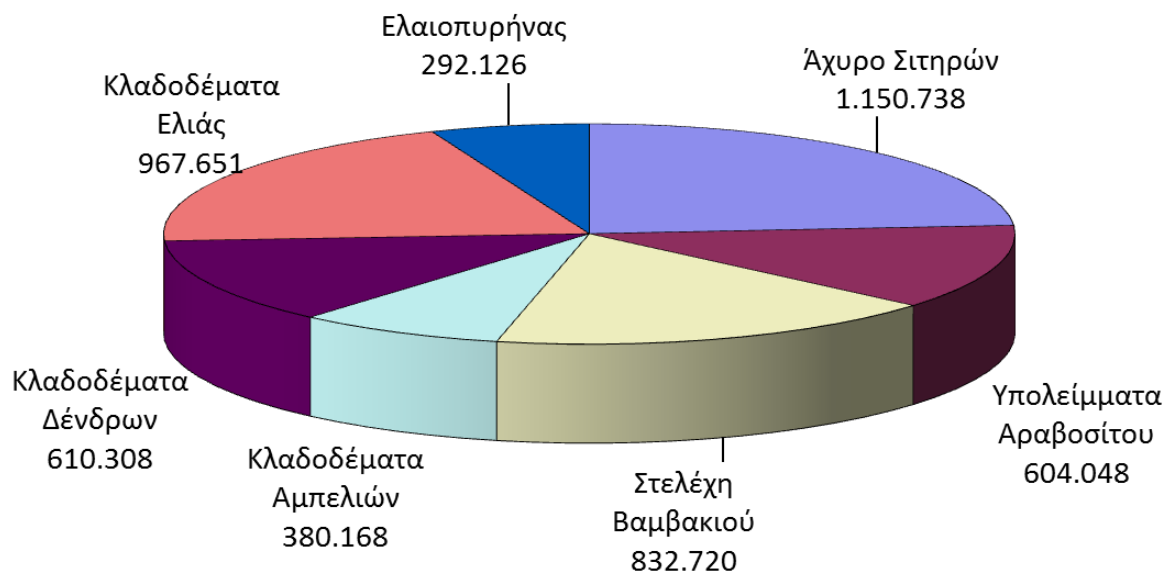
Ενεργειακές καλλιέργειες

Ο Χάρτης 1 και το Σχήμα 5, παρουσιάζουν το τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων, ενώ οι Χάρτες 2 έως 8, παρουσιάζουν το τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό άχυρου, κλαδοδεμάτων ελιάς, στελεχών βαμβακιού, κλαδοδεμάτων δενδρωδών καλλιιεργειών, υπολειμμάτων αραβοσίτου, ελαιοπυρήνα, κτηνοτροφικών αποβλήτων. Οι τελευταίοι τρεις χάρτες (Χάρτες 9 έως 11), παρουσιάζουν τη γεωγραφική κατανομή ενεργειακών φυτών, συγκεκριμένα ο Χάρτης 9 την γεωγραφική κατανομή του συνόλου των ενεργειακών φυτών της χώρας και οι Χάρτες 10 και 11 την γεωγραφική κατανομή του ηλίανθου και της αγριαγκινάρας αντίστοιχα [23].



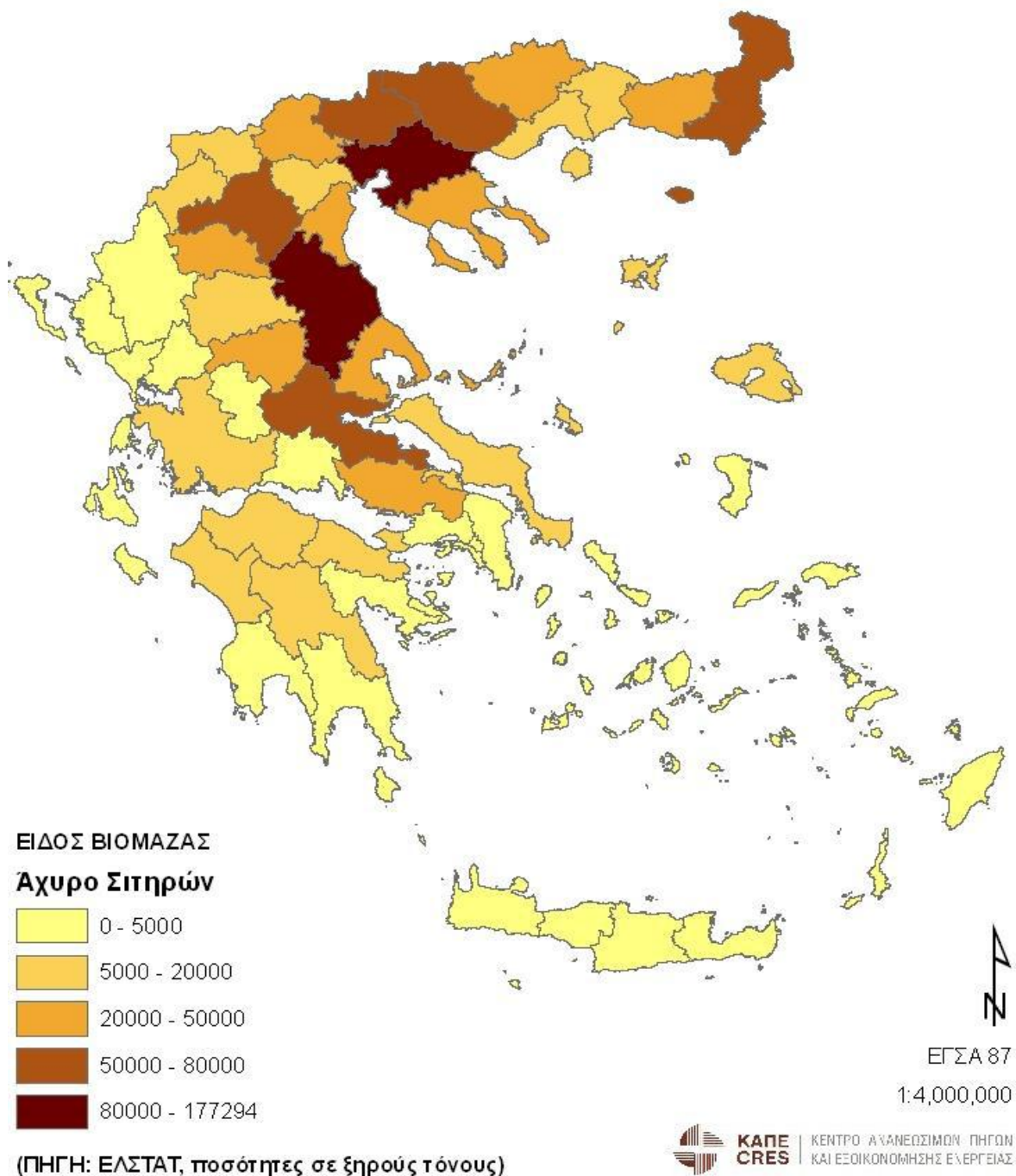
Χάρτης 1: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (2009)

- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~4.9 MT ξηρής ουσίας/έτος
- Ενεργειακό δυναμικό: ~99 PJ/έτος (~ 27.7 TWh)



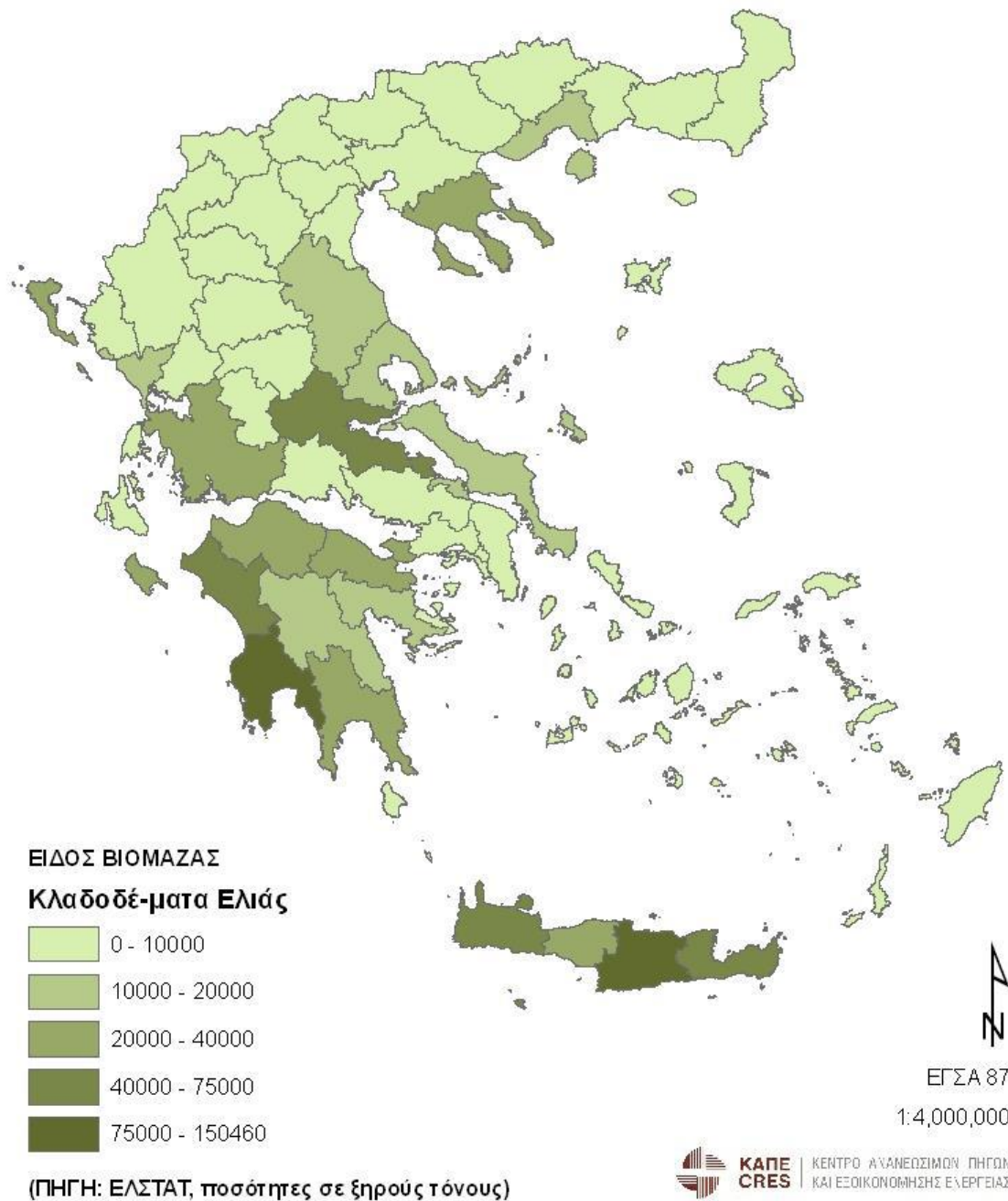
Σχήμα 5: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (τόνοι ξηρής ουσίας) (2009)





Χάρτης 2: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό άχυρου (2009)

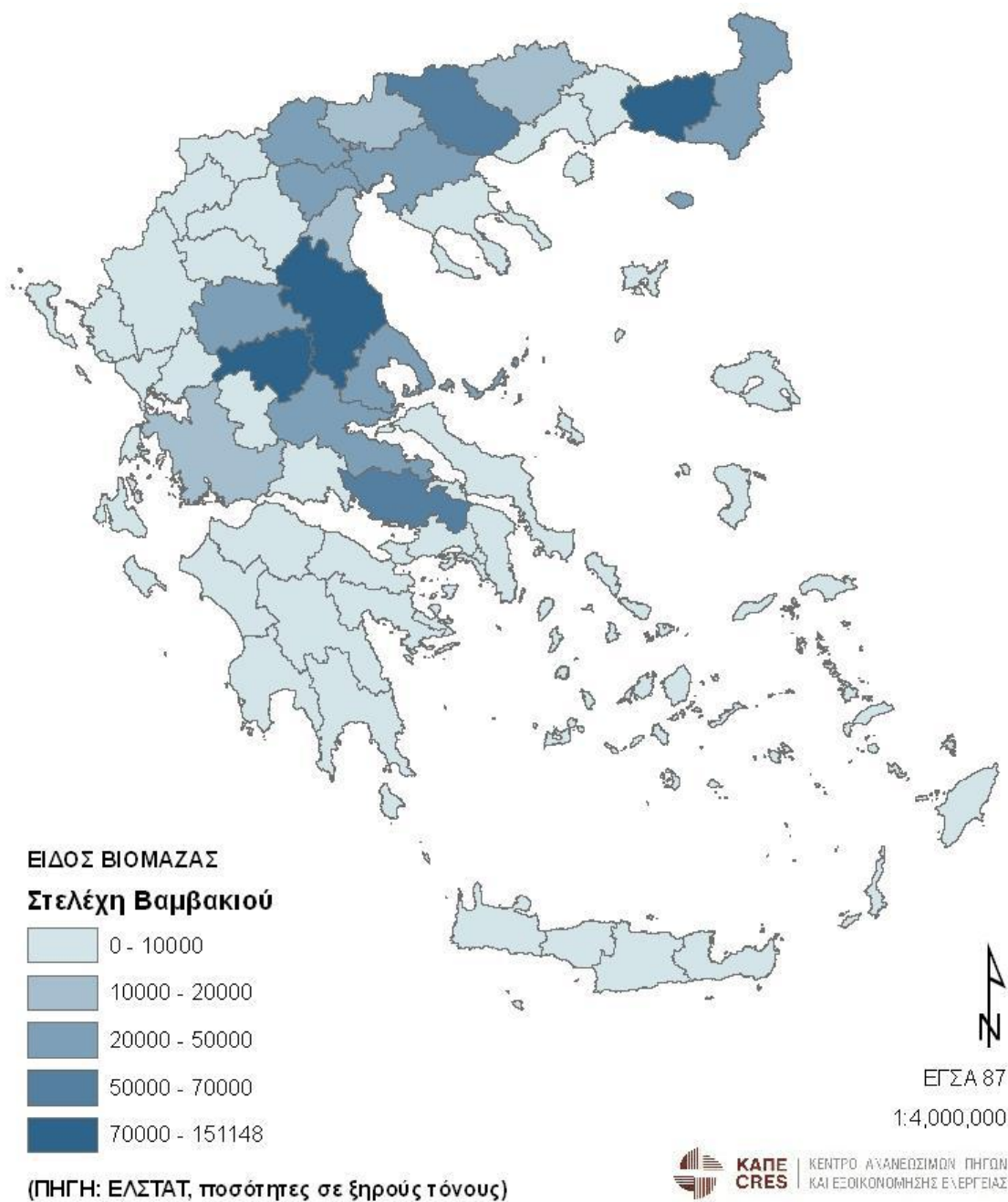
- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~1.150.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος
- Κύριοι Νομοί: Λάρισας, Θεσ/νίκης, Έβρου, Φθιώτιδας, Σερρών, Κοζάνης, Κιλκίς



Χάρτης 3: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό κλαδοδεμάτων ελιάς (2009)

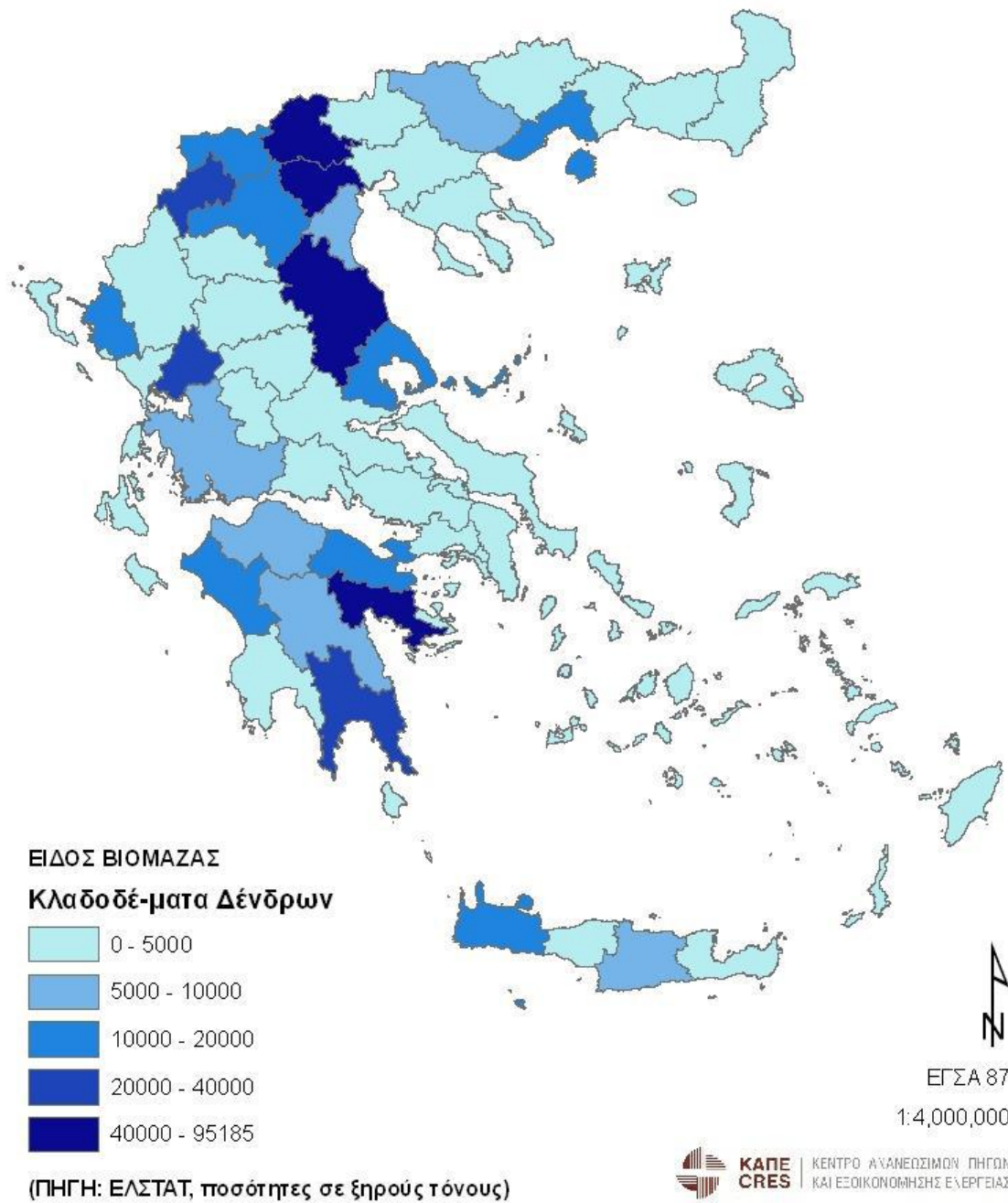
- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~970.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος
- Κύριοι Νομοί: Μεσσηνίας, Ηρακλείου, Χανίων, Ηλείας, Φθιώτιδας, Λασιθίου, Χαλκιδικής, Αχαΐα





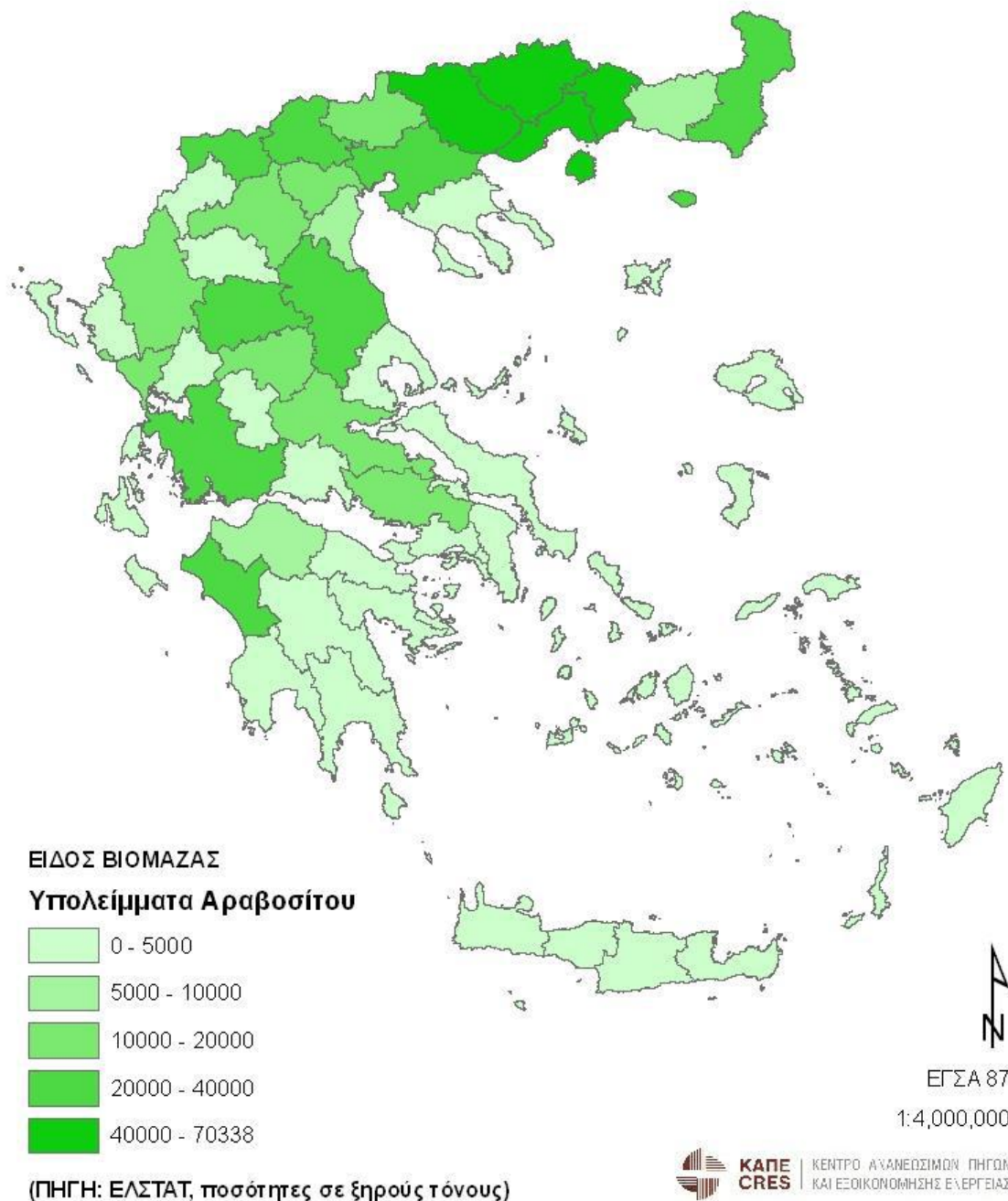
Χάρτης 4: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό στελεχών βαμβακιού (2009)

- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~830.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος
- Κύριοι Νομοί: Λάρισα, Καρδίτσα, Ροδόπη, Βοιωτία, Σερρών



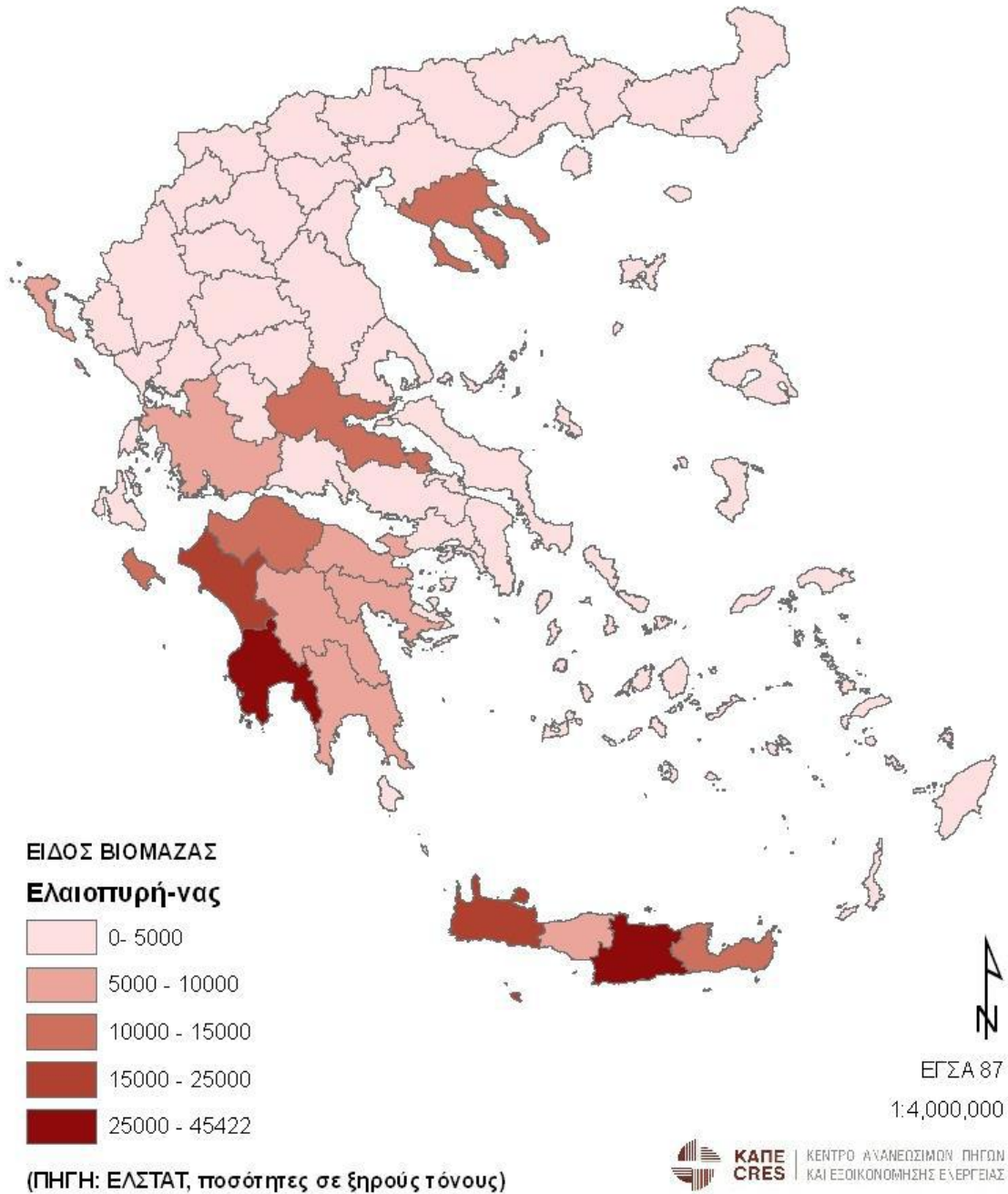
Χάρτης 5: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό κλαδοδεμάτων δενδρωδών καλλιιεργειών (2009)

- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~610.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος
- Κύριοι Νομοί: Πέλλας, Ημαθίας, Αργολίδας, Λάρισας, Άρτας, Λακωνίας, Καστοριάς



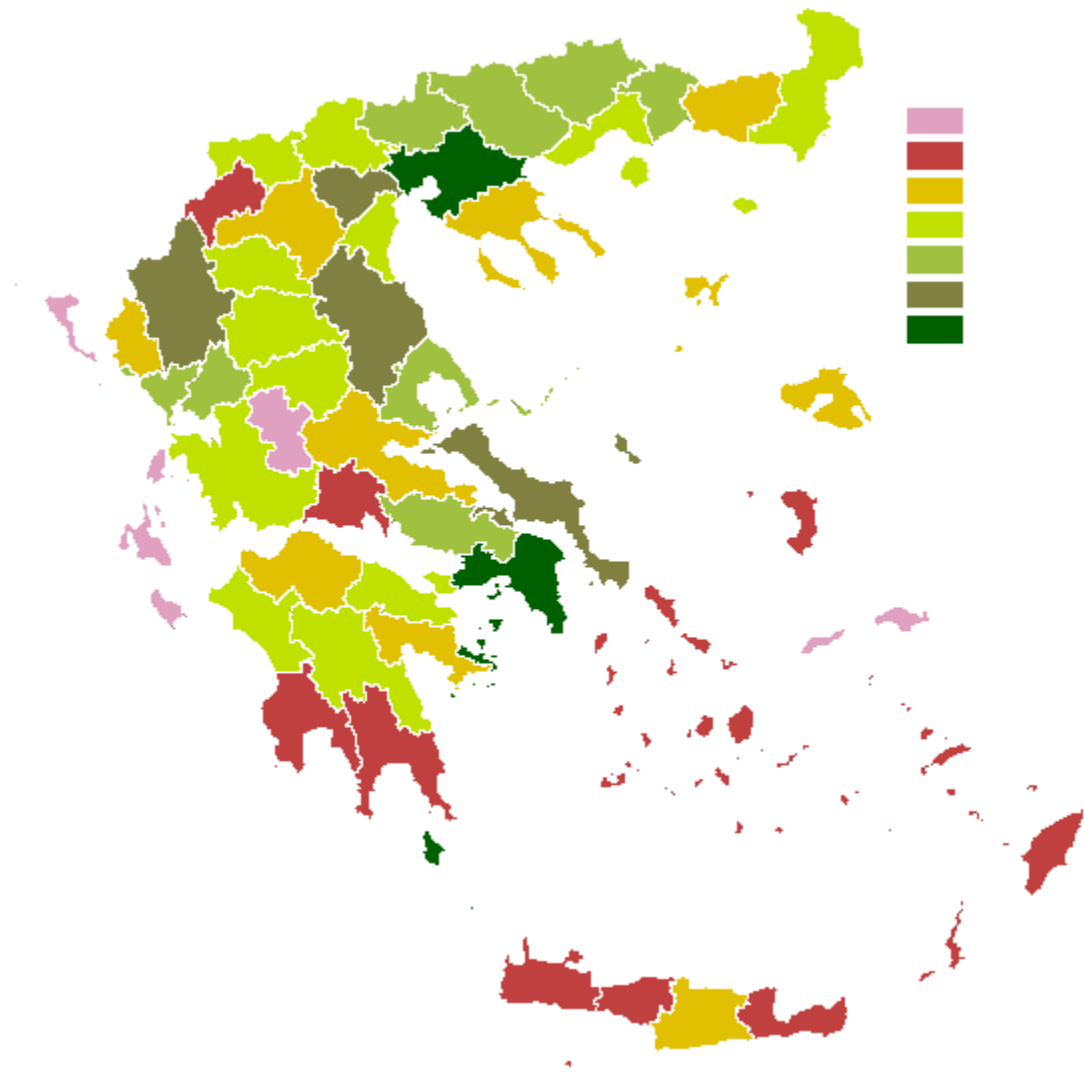
Χάρτης 6: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό υπολειμμάτων αραβοσίτου (2009)

- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~604.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος
- Κύριοι Νομοί: Σερρών, Καβάλας, Ξάνθης, Δράμας, Ηλείας, Αιτωλοακαρνανίας, Λάρισας, Τρικάλων, Πέλλας, Φλώρινας, Θεσ/νίκης, Έβρου



Χάρτης 7: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό ελαιοπυρήνα (2009)

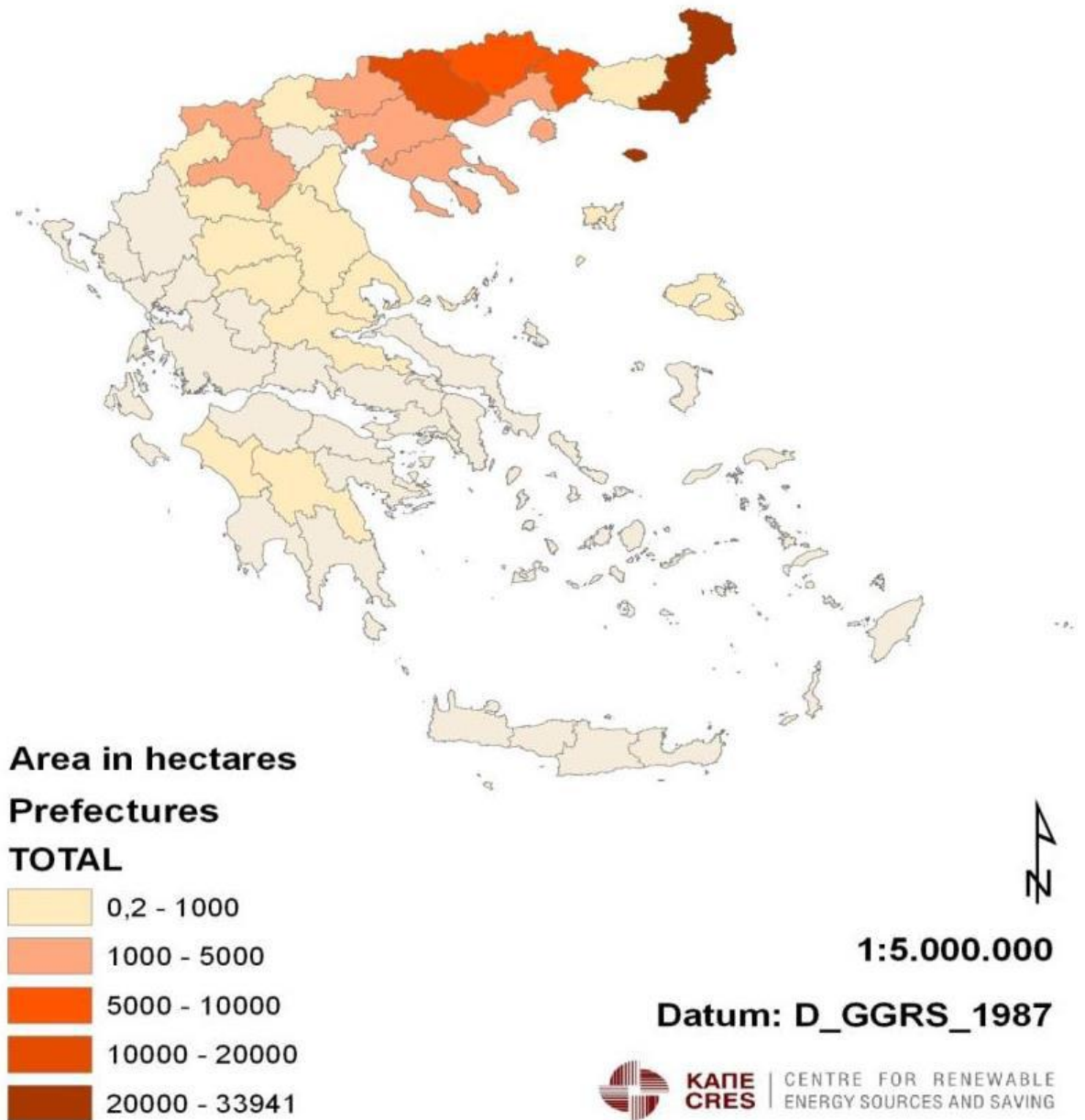
- Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό : ~290.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος
- Κύριοι Νομοί: Μεσσηνίας, Ηρακλείου, Χανίων, Ηλείας, Φθιώτιδας, Λασιθίου, Χαλκιδικής, Αχαΐας



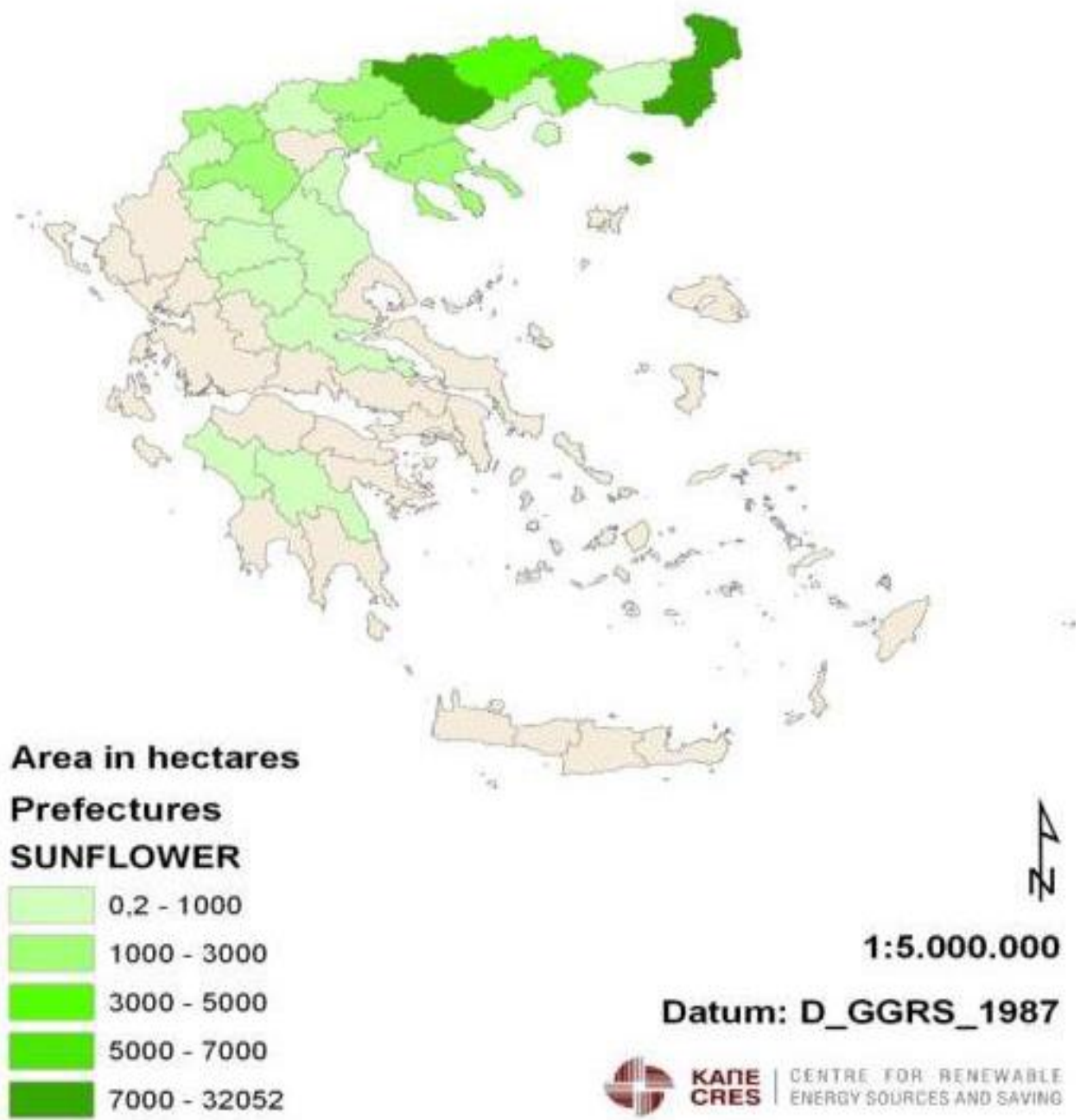
Χάρτης 8: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των κτηνοτροφικών αποβλήτων

- 17 εκ. τόνοι/έτος κτηνοτροφικών αποβλήτων (βοοειδή, χοίροι)
- 350 MW
- Κτηνοτροφικά απόβλητα κυρίως στη Β. Ελλάδα (Θεσσαλονίκη, Πέλλα)
- Τα χοιροτροφεία κατανέμονται ισάριθμα σε όλη την Ελλάδα
- Τα πτηνοτροφεία δραστηριοποιούνται κυρίως σε 3 νομούς

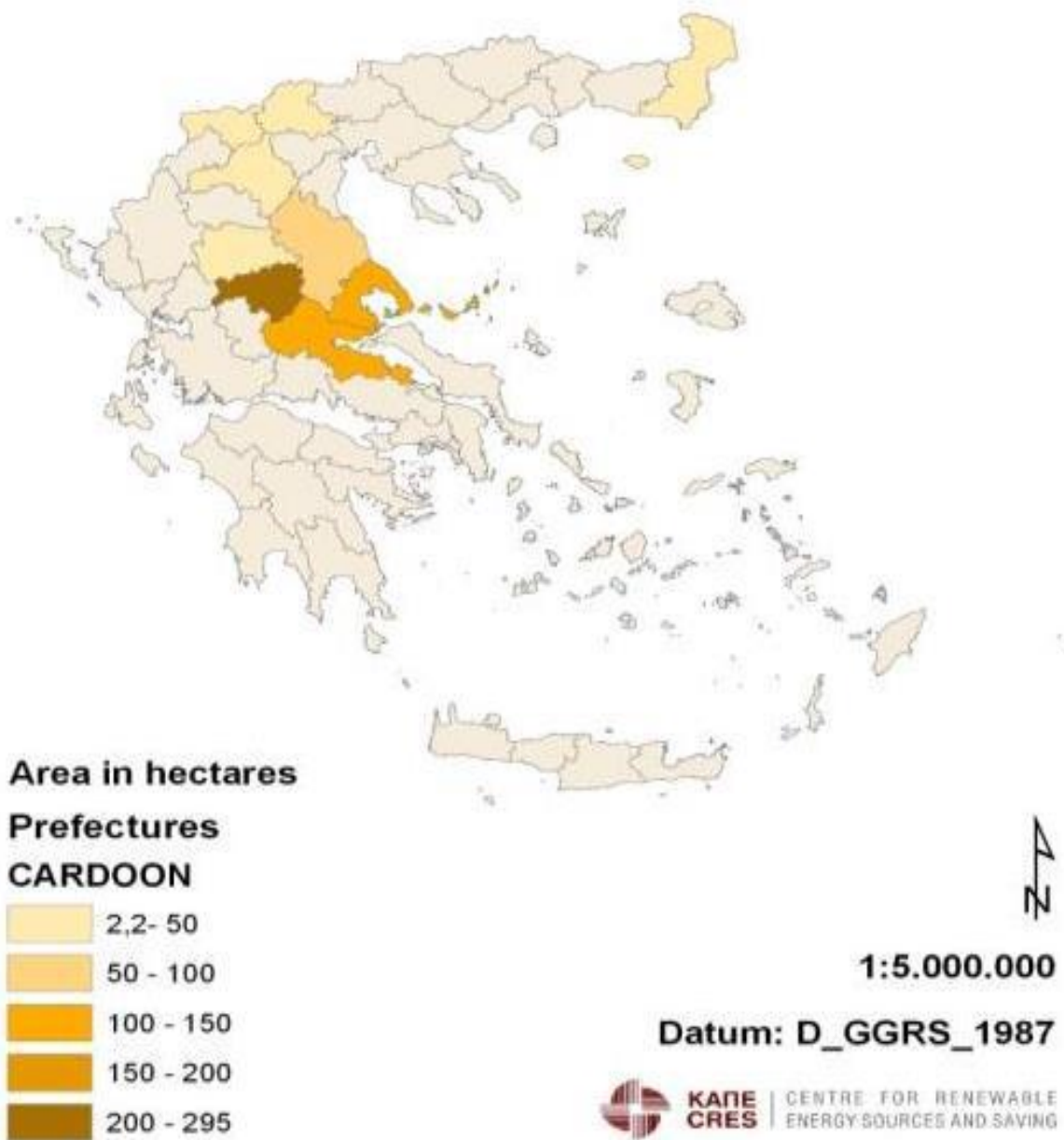




Χάρτης 9: Γεωγραφική κατανομή του συνόλου των ενεργειακών φυτών στην Ελλάδα (2011)



Χάρτης 10: Γεωγραφική κατανομή των καλλιεργειών ηλίανθου (2011)



Χάρτης 11: Γεωγραφική κατανομή των καλλιεργειών ηλίανθου (2011)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας

### 4.1 Μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

Όπως φάνηκε από τα παραπάνω, ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε μία μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών, τύπων και μορφών. Σε γενικές γραμμές η πρωτογενής βιομάζα αποτελείται από ένα οργανικό μέρος (το οποίο συχνά αναφέρεται ως ξηρό και ελεύθερο τέφρας), ένα ανόργανο μέρος (το οποίο μετά την καύση της δημιουργεί την τέφρα, δηλαδή τα οξείδια των μετάλλων που περιέχονται στην πρωτογενή βιομάζα) και την υγρασία. Το ξηρό και ελεύθερο τέφρας μέρος της βιομάζας αποτελείται κυρίως από άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο και σε πολύ μικρότερα ποσοστά άζωτο και θείο και η σύσταση του κυμαίνεται μέσα σε σχετικά στενά όρια (Πίνακας 3). Σε αντίθεση με τη σχετικά σταθερή σύσταση του οργανικού μέρους της βιομάζας, ανεξάρτητα από τον τύπο και την προέλευση της, η περιεκτικότητα σε τέφρα και υγρασία της φυσικής βιομάζας εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις και είναι οι διακυμάνσεις αυτές (και κυρίως της υγρασίας) που καθορίζουν και τους πιο ενδεδειγμένους τρόπους ενεργειακής αξιοποίησης της κάθε βιομαζικής πρώτης ύλης.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το πανόραμα των μεθόδων και των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή αξιοποίηση του συνόλου των πρώτων υλών βιομάζας του Πίνακα 1 [21]. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας μπορεί να αποσκοπεί στην κάλυψη και των τριών τύπων ενεργειακών αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών, δηλαδή τόσο στην παραγωγή θερμότητας, όσο και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και καυσίμων μεταφορών<sup>3</sup>.

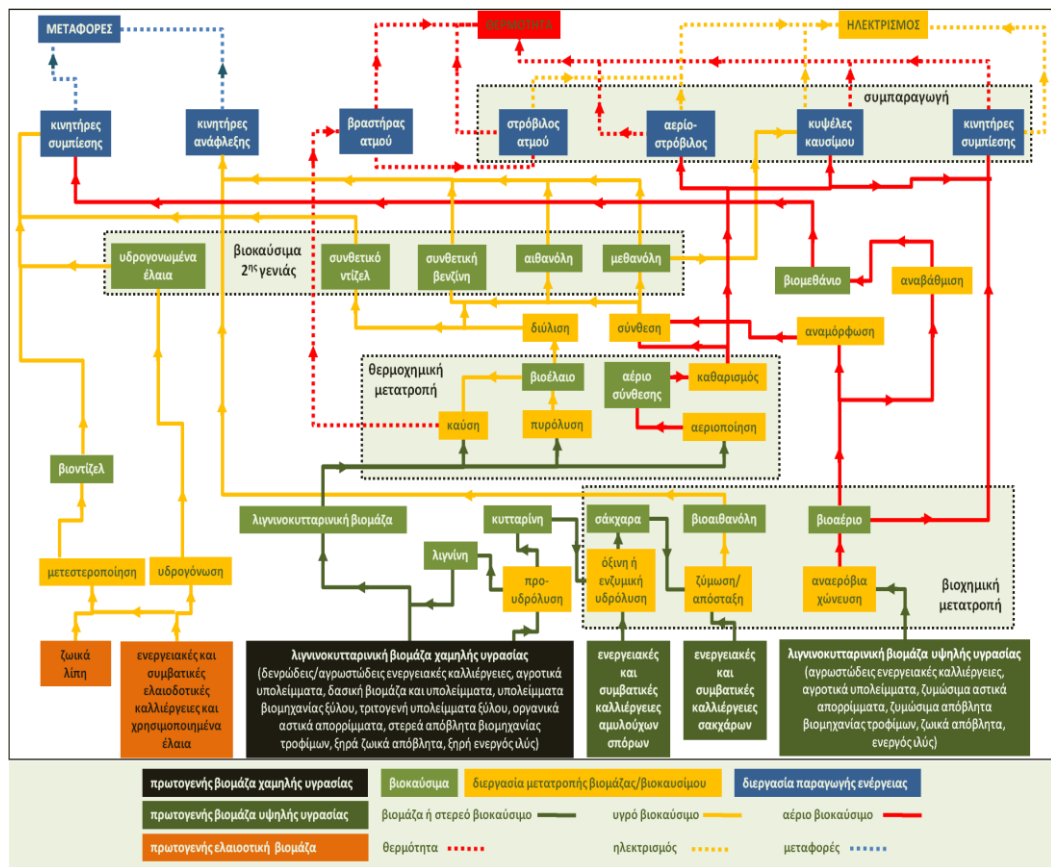
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6 η μετατροπή της βιομάζας σε βιοενέργεια (θερμότητα, μεταφορές ή ηλεκτρική ενέργεια) περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα επιλογών, διεργασιών, τεχνολογιών και τελικών χρήσεων, οι οποίες καθορίζονται κυρίως από τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης και τις απαιτήσεις της τελικής ενεργειακής ζήτησης, αλλά και άλλους παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή τα οικονομικά της κάθε επιλογής.

Με βάση κυρίως την υγρασία της πρωτογενούς βιομάζας καθορίζεται και η διαδικασία ή το μονοπάτι ενεργειακής αξιοποίησης της. Έτσι, για τις πρώτες ύλες με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (φρέσκα αγροτικά υπολείμματα και αγρωστώδεις ενεργειακές καλλιέργειες, φρέσκα ζωικά απόβλητα και ακατέργαστη ενεργό ιλύ) προτιμώνται οι “υγρές” βιοχημικές διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης προς βιοαέριο αλλά και της ζύμωσης προς βιοαιθανόλη, οι οποίες συμβαίνουν σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος).

Αντίθετα για βιομάζες χαμηλής υγρασίας (της τάξης του 10 % και στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω του 20 %) προτιμάται η ομάδα των θερμοχημικών διεργασιών μετατροπής, η οποία περιλαμβάνει σε πρώτο στάδιο, την καύση της βιομάζας σε περίσσεια αέρα, την αεριοποίησή της σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου (ή τη χρήση και άλλων μέσων αεριοποίησης όπως ο ατμός ή το διοξείδιο του άνθρακα) ή τέλος την πυρόλυση (την θερμική αποδόμηση σε υψηλή θερμοκρασία) απουσία οξυγόνου ή άλλων οξειδωτικών μέσων.

<sup>3</sup> Το 48 % της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης της ΕΕ-27, σήμερα και το 33 % της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης της Ελλάδας, αφορούν στην οικιακή και βιομηχανική θερμότητα. Τα καύσιμα μεταφορών αντιστοιχούν στο 32 % της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης της ΕΕ και το 43 % της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης της Ελλάδας, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το υπόλοιπο 20% στην ΕΕ-27 και το 24 % στην Ελλάδα. Η δυνατότητα της βιομάζας να συνεισφέρει και στις τρεις αυτές μορφές ενεργειακών αναγκών και ιδιαίτερα στην παραγωγή υγρών καυσίμων για μεταφορές, είναι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της έναντι των υπολοίπων ΑΠΕ.

Σε κάθε περίπτωση η επιλογή του θερμοχημικού ή του βιοχημικού δρόμου ενεργειακής αξιοποίησης της πρωτογενούς βιομάζας ή της μετατροπής της σε δευτερογενή βιοκαύσιμα εξαρτάται από το ποσοστό του ενεργειακού περιεχομένου του οργανικού της μέρους που θα πρέπει να καταναλωθεί για την ξήρανση της. Έτσι όταν η αρχική υγρασία της πρώτης ύλης είναι τόσο υψηλή ώστε η θερμότητα που απαιτείται για την ξήρανση της βιομάζας να είναι συγκρίσιμη ή ακόμη και μεγαλύτερη από τη θερμογόνο δύναμη του ξηρού υλικού, τότε ο θερμοχημικός δρόμος συνήθως αποκλείεται. Εκτός της υγρασίας, καθοριστικό ρόλο για την επιλογή μεταξύ της θερμοχημικής ή της βιοχημικής (ήπιας) οδού παίζει και το ποσοστό της λιγνίνης στο οργανικό μέρος, αλλά και η αναλογία οργανικού και ανόργανου μέρους της ξηρής βιομάζας. Έτσι, επειδή η λιγνίνη μπορεί να αποδομηθεί βιοχημικά πολύ δύσκολα και σε μικρή έκταση, για τις βιομάζες με υψηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη (δασική βιομάζα, δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες και υπολείμματα ή απορρίμματα ξύλου) προτιμώνται οι θερμοχημικές επιλογές (εξαιρέση αποτελούν τα ζωικά απόβλητα και η ενεργός ιλύς, λόγω της πρωτογενώς πολύ υψηλής υγρασίας αλλά και για το λόγο ότι περιέχουν θρεπτικά συστατικά που διευκολύνουν τις βιοχημικές διεργασίες χώνευσης). Αντίθετα, για πρώτες ύλες με υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα, προτιμώνται οι βιοχημικές διεργασίες, προκειμένου να αποφευχθεί η έκλυση υψηλών ποσοτήτων τέφρας με τη μορφή ιπτάμενων στερεών (ή οι απαιτούμενες ακριβές τεχνολογίες αντιρρύπανσης). Εκτός από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες τεχνολογιών, η μηχανική εξαγωγή ελαίων και η μετεστεροποίηση των τελευταίων (αλλά και των ζωικών λιπών) προς βιοντίζελ ή υδρογόνωση τους, αποτελούν ένα τρίτο μονοπάτι ενεργειακής αξιοποίησης αυτής της ειδικής κατηγορίας βιομαζικών πρώτων υλών [1].



Σχήμα 6: Τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας [21]

#### 4.1.1 Θερμοχημική μετατροπή

Όσον αφορά στη θερμοχημική κατεύθυνση της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, αυτή, όπως αναφέρθηκε, αφορά σε τρεις κυρίως επιλογές, την καύση με περίσσεια αέρα, την αεριοποίηση σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου ή/και την παράλληλη χρήση ατμού και την πυρόλυση της βιομάζας, σε μέσες ή υψηλές θερμοκρασίες και απουσία οξυγόνου ή ατμού (πέραν του οξυγόνου και της υγρασίας που η ίδια η πρώτη ύλη περιέχει). Δύο άλλες επιλογές θερμοχημικής αξιοποίησης, είναι η υγροποίηση (liquefaction) και η υδροθερμική αναβάθμιση (hydrothermal upgrading – HTU) και βρίσκονται μάλλον σε πειραματικό στάδιο και χωρίς άμεσες προοπτικές πρακτικής εφαρμογής [24].

Η απευθείας καύση βιομάζας είναι εφικτή για πρώτες ύλες με υγρασία χαμηλότερη από 50 % και η αρχική θερμότητα που παράγεται, εκτός από άμεσες εφαρμογές, οικιακής, συνοικιακής, βιομηχανικής ή άλλης θέρμανσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή μηχανικού ή ηλεκτρικού έργου. Εκτός από τους καυστήρες βιομάζας (οι οποίοι σε βιομηχανική κλίμακα μπορούν να αναπτύξουν θερμοκρασίες 800 – 1000 °C), η αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας συνήθως περιλαμβάνει κλειστά κυκλώματα ζεστού νερού ή λέβητες ατμού, καθώς και ατμοστροβίλους και ηλεκτρογεννήτριες για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ισχύος.

Η δυναμικότητα των εφαρμογών καύσης κυμαίνεται από την πολύ μικρή κλίμακα της οικιακής θέρμανσης (οικιακές θερμάστρες) έως και ατμοηλεκτρικούς σταθμούς ισχύος αρκετών εκατοντάδων MWe. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εφαρμογές σύγκαυσης βιομάζας με ορυκτούς άνθρακες και λιγνίτες, σε ήδη εγκατεστημένες μονάδες. Η απόδοση ηλεκτροπαραγωγής των συνδυασμένων μονάδων καύσης/ατμοστροβίλων κυμαίνονται από 20 % για μονάδες λίγων εκατοντάδων kWe έως 40 % σε μονάδες άνω των 100 MWe ή σε μονάδες σύγκαυσης βιομάζας αντίστοιχου μεγέθους [24].

Αεριοποίηση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε καύσιμο αέριο μίγμα υδρογόνου μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα και ελαφρών υδρογονανθράκων (το οποίο συχνά ονομάζεται παραγόμενο αέριο ή αέριο σύνθεσης), κατά τη θέρμανση της στους 600 – 1300 °C σε συνθήκες μερικής έλλειψης οξυγόνου (της τάξης του 20 – 30 % του οξυγόνου που στοιχειομετρικά απαιτείται για την πλήρη καύση της τροφοδοτούμενης βιομάζας). Ως μέσο αεριοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αέρας (οπότε και το παραγόμενο αέριο περιέχει και σημαντικές ποσότητες αζώτου, που αραιώνουν τα καύσιμα συστατικά του) ή καθαρό οξυγόνο καθώς και ατμός. Η παρουσία του ατμού στο μέσο αεριοποίησης αυξάνει την περιεκτικότητα του παραγόμενου αερίου σύνθεσης σε υδρογόνο καθώς και την ενεργειακή του πυκνότητα, καθιστά όμως τη διεργασία ενδόθερμη. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης περιέχει χαμηλές συγκεντρώσεις οργανικών μακρομορίων (πίσσες) τα οποία τείνουν να συμπυκνώνονται κατά την ψύξη τους, ενώ παρασύρει και αιωρούμενα στερεά (τέφρα) και αιθάλη. Οπότε πριν από την οποιαδήποτε χρήση του απαιτείται σχολαστικός και συχνά τεχνικά δύσκολος καθαρισμός, οι προδιαγραφές του οποίου καθορίζονται από τις μετέπειτα εφαρμογές του παραγόμενου αερίου. Η ενεργειακή πυκνότητα του παραγόμενου αερίου μπορεί να κυμαίνεται από 4 – 6 MJ/Nm<sup>3</sup>, όταν για την αεριοποίηση χρησιμοποιείται αέρας και να φθάνει ακόμα και τα 20 MJ/Nm<sup>3</sup>, όταν για την αεριοποίηση χρησιμοποιείται καθαρό οξυγόνο και υδρατμός.

Το αέριο αυτό, μετά τον καθαρισμό του μπορεί να τροφοδοτηθεί σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (σε μονάδες μικρής δυναμικότητας λίγων έως λίγων εκατοντάδων kW<sub>e</sub>) ή σε αεριοστροβίλους (σε μονάδες μέσης δυναμικότητας λίγων εκατοντάδων kW<sub>e</sub> έως λίγων MW<sub>e</sub>) ή ακόμη και σε συνδυασμένους κύκλους αέριο/ατμο-στροβίλων (σε μονάδες μεγάλης δυναμικότητας έως και 60 MW<sub>e</sub>) και να οδηγήσει στην συμπαραγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ισχύος με ηλεκτρικές αποδόσεις της τάξης του 20 % σε μικρές μονάδες έως ακόμη και 50 % σε συνδυασμένες μονάδες (Biomass Gasification / Combined Cycle – BIG/CC) πολλών MW<sub>e</sub>. Εκτός της απευθείας ενεργειακής αξιοποίησης σε κινητήρες ή αεριοστροβίλους, το παραγόμενο αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χημικές συνθέσεις και στο πλαίσιο αυτό και για την παραγωγή συνθετικών βιοκαυσίμων 2<sup>ης</sup> γενιάς [24].

Η πυρόλυση αφορά στη θέρμανση της βιομάζας στους 250 – 800 °C απουσία οξειδωτικού (αέρα, οξυγόνου ή ατμού, πέραν του οξυγόνου και της υγρασίας που η ίδια η βιομάζα περιέχει) και η μετατροπή σε στερεά (ξύλάνθρακα), υγρά (βιοέλαιο ή αλλιώς βιοαργό) και αέρια προϊόντα. Η αναλογία μεταξύ των στερεών, υγρών και αερίων προϊόντων της διεργασίας καθορίζεται από τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής της βιομάζας στη θερμοκρασία αυτή. Έτσι, σε χαμηλές θερμοκρασίες και για μεγάλους χρόνους παραμονής μεγιστοποιείται η παραγωγή στερεών, ενώ για υψηλές θερμοκρασίες και επαρκείς χρόνους παραμονής μεγιστοποιείται η παραγωγή αερίων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον και προοπτικές παρουσιάζει η λεγόμενη “ραγδαία πυρόλυση” (flash pyrolysis) η οποία για θερμοκρασίες στην περιοχή των 500 – 550 °C και χρόνους παραμονής της τάξης του δευτερολέπτου ή των λίγων δευτερολέπτων επιτυγχάνει μετατροπές της τάξης του 70 – 80 % της στερεής βιομάζας σε ένα υγρό μίγμα βαρέων υδρογονανθράκων καθώς και αλειφατικών, αρωματικών και πολυκυκλικών οξυγονομένων ενώσεων (κυρίως κετονών, φαινολών και οργανικών οξέων) που ονομάζεται βιοέλαιο ή βιοαργό και διαθέτει σε υγρή μορφή παραπλήσιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό της αρχικής βιομάζας. Παρά τα προβλήματα σχετικά με την σταθερότητα, την οξύτητα, τη διαβρωτικότητα, τα ανόργανα και την περιεχόμενη υγρασία του βιοελαίου, αυτό μπορεί να τροφοδοτηθεί σε κινητήρες εσωτερικής καύσης και στροβίλους για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ισχύος, ενώ η αναβάθμιση του (μέσω διύλισης, υδρογόνωσης και άλλων διεργασιών προς συνθετικό ντίζελ και συνθετική βενζίνη) αποτελεί ένα από τα πιο ελπιδοφόρα και ενεργά ερευνητικά πεδία στον τομέα της βιομάζας, στο πλαίσιο της ιδέας του βιοδιωλιστηρίου [24].

#### 4.1.2 Βιοχημική μετατροπή

Η βιοχημική κατεύθυνση της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας περιλαμβάνει κυρίως την χώνευση απουσία οξυγόνου (αναερόβια χώνευση) για την παραγωγή μιγμάτων μεθανίου και διοξειδίου, γνωστά ως βιοαέριο καθώς και τη ζύμωση προς μίγματα αιθανόλης και νερού, τα οποία μπορούν να διαχωριστούν με απόσταξη προς βιοαιθανόλη (σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται και οι βιοχημικές διεργασίες αναερόβιας υδρογονογένεσης καθώς και οι μικροβιακές κυψέλες καυσίμου). Η αναερόβια χώνευση αφορά στη μετατροπή ενός κλάσματος του οργανικού μέρους της βιομάζας (της τάξης του 50 % κ.β. των ολικών στερεών βιομάζας) σε βιοαέριο (μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα με αναλογία από 50/50 έως ακόμα και 80/20, καθώς και μικρών ποσοτήτων άλλων αερίων όπως οι υδρατμοί, το υδρόθειο ή η αμμωνία) από αναερόβιους μικροοργανισμούς, απουσία οξυγόνου και σε ήπιες θερμοκρασίες 35 – 40 °C (μεσόφιλη χώνευση) ή 60 – 70 °C (θερμόφιλη χώνευση).

Η διεργασία επιβάλλει την αραίωση των ολικών στερεών βιομάζας σε νερό (συνήθως 2 – 15 % κ.β. ολικά στερεά και σπανιότερα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις 20 – 25 % κ.β.) και για τον λόγο αυτό είναι περισσότερο κατάλληλη για πρώτες ύλες υψηλής υγρασίας (ζωικά απόβλητα, ενεργός ύλος, οργανικό κλάσμα αστικών και βιομηχανικών απορριμμάτων εκτός του ξύλου, χλωρή πράσινη ύλη ή μίγματα τους). Ο σταθερός άνθρακας (κυρίως της λιγνίνης) δεν μετατρέπεται από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς και γι' αυτό η διεργασία δεν ενδείκνυται για ξυλώδεις βιομάζες. Το ενεργειακό περιεχόμενο του παραγόμενου βιοαερίου αντιστοιχεί στο 20 – 40 % της ΚΘΔ της βιομάζας που τροφοδοτείται στη διεργασία και για το λόγο αυτό, ο βιοχημικός τρόπος κατεργασίας της βιομάζας παρουσιάζει γενικά χαμηλότερη απόδοση από τον θερμοχημικό. Παρόλα αυτά, η διεργασία αποτελεί τη μόνη λύση για πρώτες ύλες (κυρίως απόβλητα) με υψηλή υγρασία, ενώ είναι και η πλέον τεχνολογικά και οικονομικά ώριμη οδός ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας. Το βιοαέριο, αφού καθαριστεί, μπορεί να τροφοδοτηθεί σε κινητήρες συμπίεσης για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής/θερμικής ισχύος, με ηλεκτρικές αποδόσεις από 20 % για μονάδες μικρότερες των 100 MWe έως και πάνω από 30 %, για μονάδες μεγαλύτερες του 1 MWe. Εναλλακτικά, το μεθάνιο του βιοαερίου μπορεί να διαχωριστεί από το διοξείδιο και με σύσταση παραπλήσια του φυσικού αερίου, το βιομέθριο που προκύπτει μπορεί είτε να διοχετευθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου είτε να αποτελέσει καύσιμο οχημάτων. Τέλος, το βιοαέριο μπορεί να αναμορφωθεί με ατμό (το διοξείδιο που περιέχει αποτελεί και αυτό παράγοντα αναμόρφωσης του μεθανίου) και το αέριο σύνθεσης, που με τον τρόπο αυτό προκύπτει, να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή συνθετικών βιοκαυσίμων 2<sup>ης</sup> γενιάς [24].

Η ζύμωση για την παραγωγή μιγμάτων αιθανόλης/νερού και η συνακόλουθη απόσταξη των μιγμάτων αυτών προς καύσιμη βιοαιθανόλη, εφαρμόζεται σήμερα σε μεγάλη έκταση στις Η.Π.Α., την Βραζιλία αλλά και την Ευρώπη με πρώτες ύλες τα σάκχαρα συγκεκριμένων φυτών (του ζαχαροκάλαμου ή των ζαχαρότευτλων) ή το άμυλο των σπόρων κυρίως των δημητριακών (αραβόσιτος, σιτάρι κ.α.). Όταν η πρώτη ύλη περιέχει άμυλο, τότε αρχικά αυτό μετατρέπεται με υδρόλυση σε σάκχαρα (στάδιο της διεργασίας που παραλείπεται αν η πρώτη ύλη περιέχει απευθείας σάκχαρα) και στη συνέχεια τα σάκχαρα ζυμώνονται προς αιθανόλη. Ένας μέρος του υπολείμματος της διεργασίας καίγεται προκειμένου να παρέχει την απαιτούμενη θερμότητα για τις διαδοχικές αποστάξεις των μιγμάτων αιθανόλης/νερού προς βιοαιθανόλη, ενώ τυχόν περίσσεια του υπολείμματος μπορεί να υποβληθεί σε οποιαδήποτε θερμοχημική διεργασία ή να διατεθεί για ζωοτροφή. Η πράσινη ύλη των φυτών αποτελείται επίσης από σάκχαρα (κυτταρίνη κλπ), η μετατροπή τους όμως σε αιθανόλη είναι πιο δύσκολη και απαιτεί την ενζυμική υδρόλυση των μακροαλυσίδων τους, προκειμένου να προκύψουν σάκχαρα δεκτικά σε ζύμωση. Η βιοαιθανόλη από λιγνινοκυτταρινικές πρώτες ύλες (σε πιλοτικό στάδιο σήμερα) θεωρείται βιοκαύσιμο 2<sup>ης</sup> γενιάς [24].

#### 4.1.3 Άλλες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας

Όπως αναφέρθηκε, ως μία τρίτη ομάδα τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας μπορεί να θεωρηθεί η εξαγωγή (με σύνθλιψη) των φυτικών ελαίων από φυτικούς ελαιούχους σπόρους (κυρίως ελαιοκράμβης και ηλίανθου αλλά και άλλων όπως των σπόρων βαμβακιού) και η μετατροπή των φυτικών ελαίων σε καύσιμα μεταφορών συγκεκριμένων προδιαγραφών. Η κύρια διεργασία μετατροπής των φυτικών ελαίων σε καύσιμα μεταφορών σήμερα είναι η μετεστεροποίηση τους σε μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων (το γνωστό βιοντίζελ), διεργασία που μπορεί να εφαρμοστεί και σε χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια αλλά και σε ζωικά λίπη, και κύριο στόχο έχει την ελάττωση του ιξώδους αλλά και της θερμοκρασίας πήξης της αρχικής πρώτης ύλης.

Μία δεύτερη εναλλακτική, αν και σε πειραματικό μέχρι σήμερα στάδιο, είναι και η υδρογόνωση των φυτικών ελαίων προς υδρογονωμένα έλαια. Εκτός των παραπάνω, στο Σχήμα 6 περιλαμβάνονται και οι εναλλακτικές της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας σε κυψέλες καυσίμου( πειραματικό στάδιο σήμερα), οι οποίες αφορούν είτε στην τροφοδοσία αερίων βιοκαυσίμων (αέριο σύνθεσης από αεριοποίηση ή βιοαέριο από αναερόβια χώνευση σε κυψέλες καυσίμου στερών οξειδίων (Solid Oxide Fuel Cells – SOFCs), τηγμένων αλάτων (Molten Carbonate Fuel Cells – MCFCs) ή ακόμα και πρωτονιακών αγωγών (Proton Exchange Membranes Fuel Cells – PEMFCs), μετά από σχολαστικό καθαρισμό του υδρογόνου που μπορεί να παραχθεί από βιομάζα, ή ακόμα και κυψελών καυσίμου μεθανόλης (Direct Methanol Fuel Cells – DMFCs) για τη συμπαραγωγή από βιο-μεθανόλη.

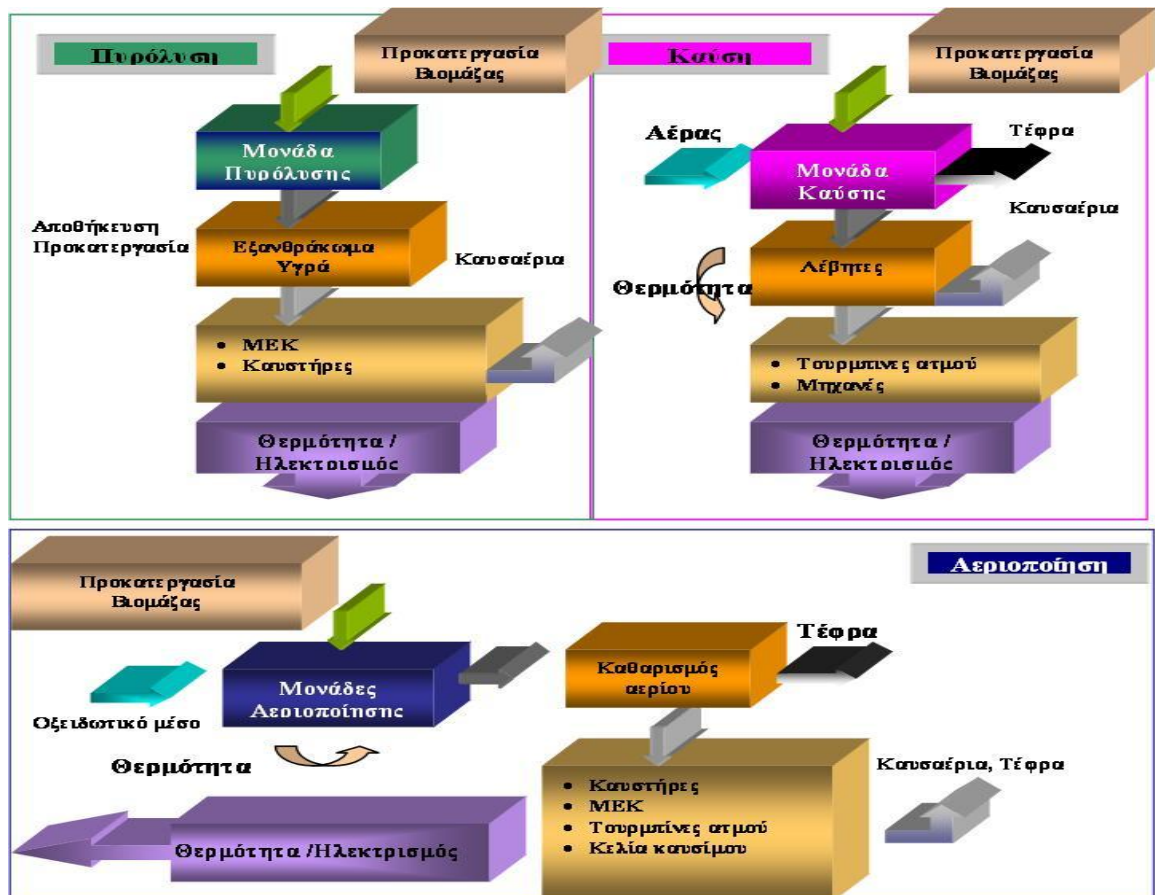
Τέλος, στο Σχήμα 6 περιλαμβάνονται και τα βασικά επιμέρους μονοπάτια παραγωγής βιοκαυσίμων 2<sup>ης</sup> γενιάς. Πρόκειται για υγρά βιοκαύσιμα για οχήματα και παρέχουν μία εναλλακτική με τις σημαντικότερες προοπτικές, όσον αφορά το “πρασίνισμα” της ενέργειας για μεταφορές. Τα μονοπάτια αυτά ξεκινούν από λιγνινοκυτταρινική βιομάζα (κυρίως χαμηλής υγρασίας) και διέρχονται κυρίως μέσω των διεργασιών της πυρόλυσης, της αεριοποίησης, αλλά και της αναερόβιας χώνευσης και της ζύμωσης. Το γεγονός ότι αφορούν στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων από το τεράστιο δυναμικό και τις υψηλές στρεμματικές αποδόσεις της λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας, τα αντιδιαστέλει με τα υγρά βιοκαύσιμα 1<sup>ης</sup> γενιάς (βιοντίζελ και βιοαιθανόλη), τα οποία παράγονται από πρώτες ύλες μικρής στρεμματικής απόδοσης (φυτικά έλαια, άμυλο ή σάκχαρα) και ως εκ τούτου η μαζική τους παραγωγή προϋποθέτει τη διάθεση μεγάλων εκτάσεων καλλιεργήσιμων εδαφών, με προφανείς συνέπειες όσον αφορά στην πλάστιγγα του διλλήματος χρήσης γης για ενέργεια ή διατροφή.

Βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς μπορούν να παραχθούν από τη διύλιση του βιοελαίου της ραγδαίας πυρόλυσης ή μέσω μια ποικιλίας μονοπατιών χημικής τους σύνθεσης από αέριο σύνθεσης. Το αέριο σύνθεσης μπορεί να παραχθεί απευθείας από την αεριοποίηση ξηρής λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας ή από την αναμόρφωση του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση υγρής λιγνινοκυτταρινικής βιομάζας. Η απευθείας καταλυτική υδρογόνωση του μονοξειδίου ή του διοξειδίου, του αερίου σύνθεσης, οδηγεί στην παραγωγή υγρής βιο-μεθανόλης ή μέσω της σύνθεσης Fischer-Tropsch σε συνθετικό ντίζελ και συνθετική βενζίνη. Μία ιδιαίτερη περίπτωση βιοκαυσίμων 2<sup>ης</sup> γενιάς είναι και η βιοαιθανόλη από λιγνινοκυτταρινικές πρώτες ύλες η οποία σε πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την υδρόλυση για το διαχωρισμό της κυτταρίνης από τη λιγνίνη της στερεής βιομάζας, και την περαιτέρω υδρόλυση της πρώτης προς ζυμώσιμα σάκχαρα μικρότερου μοριακού βάρους [1].

## 4.2 Θερμοχημικές μέθοδοι μετατροπής βιομάζας

Πριν από κάθε απόφαση ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, εκτιμάται η διαθεσιμότητα της καθώς και παράμετροι όπως αποθήκευση και μεταφοράς της στην περιοχή που πρόκειται να αξιοποιηθεί. Ακολουθεί ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της βιομάζας, μέσω εργαστηριακών αναλύσεων. Τα στοιχεία που συλλέγονται συμβάλλουν στην διερεύνηση της βιωσιμότητας της ενεργειακής αξιοποίησής της και βοηθούν στην αξιολόγηση των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν [25]. Ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας βιομάζας >50% κ.β. αποτελούν αποτρεπτικό παράγοντα για αξιοποίηση με θερμοχημική μετατροπή γιατί επιβαρύνει το ισοζύγιο ενέργειας της διεργασίας. Υψηλή περιεχόμενη υγρασία απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας κατά το πρώτο στάδιο της αεριοποίησης.

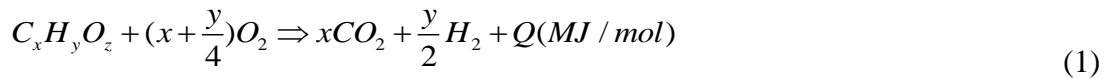
Είδη βιομάζας με υψηλό περιεχόμενο υγρασίας θα πρέπει να αξιοποιηθούν με βιοχημικές διεργασίες. Άλλα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν και την μέθοδο ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας με αεριοποίηση είναι το ποσοστό του πτητικού προς μη πτητικό άνθρακα ( $C/C_f$ ) της βιομάζας, ο λόγος C/N και η θερμογόνος δύναμη ( $LHV_b$ ) [26]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση λοιπόν καλούμαστε να επιλέξουμε κάποια από τις θερμοχημικές μεθόδους αξιοποίησης λόγω των χαρακτηριστικών του άχυρου( χαμηλή υγρασία, πολύ κάτω του 50%) που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη. Αρχικά θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι μέθοδοι θερμοχημικής επεξεργασίας (καύση, αεριοποίηση και πυρόλυση), στη συνέχεια θα γίνει μια σύγκριση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, ώστε τέλος να γίνουν εμφανείς οι λόγοι με βάση τους οποίους επιλέγουμε την αεριοποίηση.



Σχήμα 7:Θερμοχημικές διεργασίες αξιοποίησης βιομάζας και προϊόντα [29]

### i) Καύση

Η καύση αποτελεί την παλαιότερη και πιο διαδεδομένη μέθοδο παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και συνεισφέρει ακόμα και σήμερα σχεδόν κατά 85% στις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας[26],[27],[28]. Χαρακτηρίζεται από την εξώθερμη χημική αντίδραση της πρώτης ύλης με περίσσεια οξειδωτικού μέσου (οξυγόνο, αέρα) με αποτέλεσμα την παραγωγή σημαντικού ποσού ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και με κύρια αέρια προϊόντα το  $CO_2$  και  $H_2O$  αλλά και τέφρα όπως φαίνεται παραστατικά στην Αντίδραση 1. Η βιομάζα αποτελεί καύσιμο με αντιπροσωπευτικό μοριακό τύπος ( $C_xH_yO_z$ )



Ο μηχανισμός καύσης περιλαμβάνει μια σειρά αντιδράσεων οξείδωσης και συμπεριλαμβάνει τα στάδια: ξήρανσης, απελευθέρωσης και πλήρους καύσης των πτητικών βιομάζας και τελικά καύσης του υπολειμματικού εξανθρακώματος βιομάζας.

Όπως είναι γνωστό, η καύση των καυσίμων με σημαντικό περιεχόμενο S έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, λόγω κυρίως της θετικής συνεισφοράς στην ατμοσφαιρική ρύπανση με την απελευθέρωση αέριων ρύπων, όπως το CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> κτλ στερεών αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα περισσότερα συστήματα καύσης επιτυγχάνουν χαμηλές αποδόσεις (~ 15%) για μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας, με τις μεγαλύτερες να φθάνουν το 35% [30].

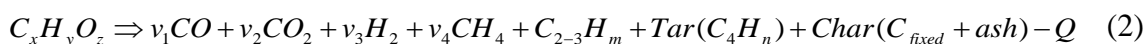
Η σύνθετη καύση βιομάζας με ορυκτά καύσιμα, σε ποσοστά 10% κ.β. έως 35% κ.β. [30], συμβάλει στην μείωση κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, στην εξοικονόμηση ενέργειας και φυσικών πόρων, στην συνεισφορά μείωση έκλυσης εκπομπών CO<sub>2</sub> (κύριο μειονέκτημα) ενώ παράλληλα διασφαλίζει την ετήσια παραγωγή /τροφοδοσία βιομάζας συμβάλλοντας στην γεωργική ανάπτυξη (συμβολοιακή γεωργία).

Αναβαθμισμένες τεχνολογίες καύσης διασφαλίζουν αποδόσεις άνω του 40% και μεταξύ αυτών κατατάσσεται η τεχνολογία ρευστοστερεάς κλίνης.

Τέτοιου είδους σύστημα μπορούν να διαχειριστούν βιομάζες περιεχόμενης υγρασίας ως και 60% κ.β. με την χρήση κεραμικών αεριοστροβίλων αν παράγουν ενέργεια της κλίμακας 100 - 500 kW [30].

## ii) Πυρόλυση

Η πυρόλυση της βιομάζας λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες 300°C < T < 600°C (Αντίδραση 2) σε αδρανή ατμόσφαιρα και αποτελεί ενδόθερμη διεργασία [31]. Αρχικά λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση της υγρασίας (T < 300°C), ενώ πάνω από τη θερμοκρασία των 300°C, πραγματοποιείται η θερμική αποικοδόμηση της λιγνινοκυτταρινικής δομής της βιομάζας.



Κύριο προϊόν της πυρόλυσης αποτελεί το βιοέλαιο, ενώ από την πυρόλυση των μοριακών δεσμών βιομάζας παράγεται επίσης αέριο πυρόλυσης που αποτελείται κυρίως από CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και ελαφρούς πτητικούς υδρογονάνθρακες (C<sub>2</sub>H<sub>m</sub>). Παράγεται επίσης ένα στερεό υπόλειμμα και ονομάζεται εξανθράκωμα πυρόλυσης (pyrolytic char). Το εξανθράκωμα αποτελείται από τον μόνιμο άνθρακα (fixed carbon) και την τέφρα (ash) της βιομάζας. Παράλληλα παράγεται και πίσσα (tar). Οι αποδόσεις των υγρών, αερίου και εξανθρακώματος στην πυρόλυση βιομάζας κυμαίνεται στα επίπεδα ~60%κ.β., 20%κ.β., 20% κ.β., αντίστοιχα [32]. Η περιεκτικότητα της πίσσας εξαρτάται από τον ρυθμό θέρμανσης της διεργασίας πυρόλυσης και κυμαίνεται από 10-17%κ.β. για χαμηλούς ρυθμούς και σε 18-25%κ.β. για υψηλούς ρυθμούς θέρμανσης [33]. Οι λειτουργικοί παράμετροι της διεργασίας καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό το κύριο προϊόν της πυρόλυσης, όπως φαίνεται από τα στοιχεία του Πίνακα 11.



Πίνακας 11: Ταξινόμηση μεθόδων πυρόλυσης [34]

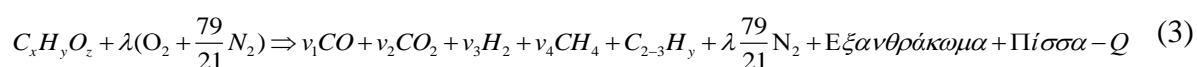
	Χρόνος	Ρυθμός θέρμανσης	Θερμοκρασία	Προϊόντα
<b>Αργή</b>	Ώρες	Πολύ χαμηλός	400°C	Εξανθράκωμα
<b>Συμβατική</b>	300-1800sec	Χαμηλός	600°C	Υγρά Αέρια Εξανθράκωμα
<b>Ταχεία</b> <b>Ταχεία</b>	0,5-5 sec	Υψηλός	650°C	Υγρά
	< 1 sec		<650°C	Υγρά
	< 1 sec		>650°C	Χημικά Αέριο σύνθεσης
<b>Ακαριαία</b>	< 0,5 sec	Πολύ υψηλός	1000°C	Χημικά Αέριο σύνθεσης

### iii) Αεριοποίηση

Ιστορικά η αεριοποίηση της βιομάζας συνδέεται με τις περιόδους παγκοσμίων πολέμων και ενεργειακής κρίσης και χωρίζεται σε τρεις περιόδους: του έτους 1930, του διαστήματος 1930-1950 και από το 1950 έως και σήμερα. Η περίοδος 1930 είχε να κάνει με την εμπειρική εφαρμογή της αεριοποίησης της βιομάζας, ενώ το 1930-1950 συνδέεται με την ενεργειακή κρίση και τους παγκόσμιους πολέμους όπου η επιστήμη οδηγείται από την εμπειρική εφαρμογή στην κατανόηση των βασικών διαδικασιών της αεριοποίησης βιομάζας.

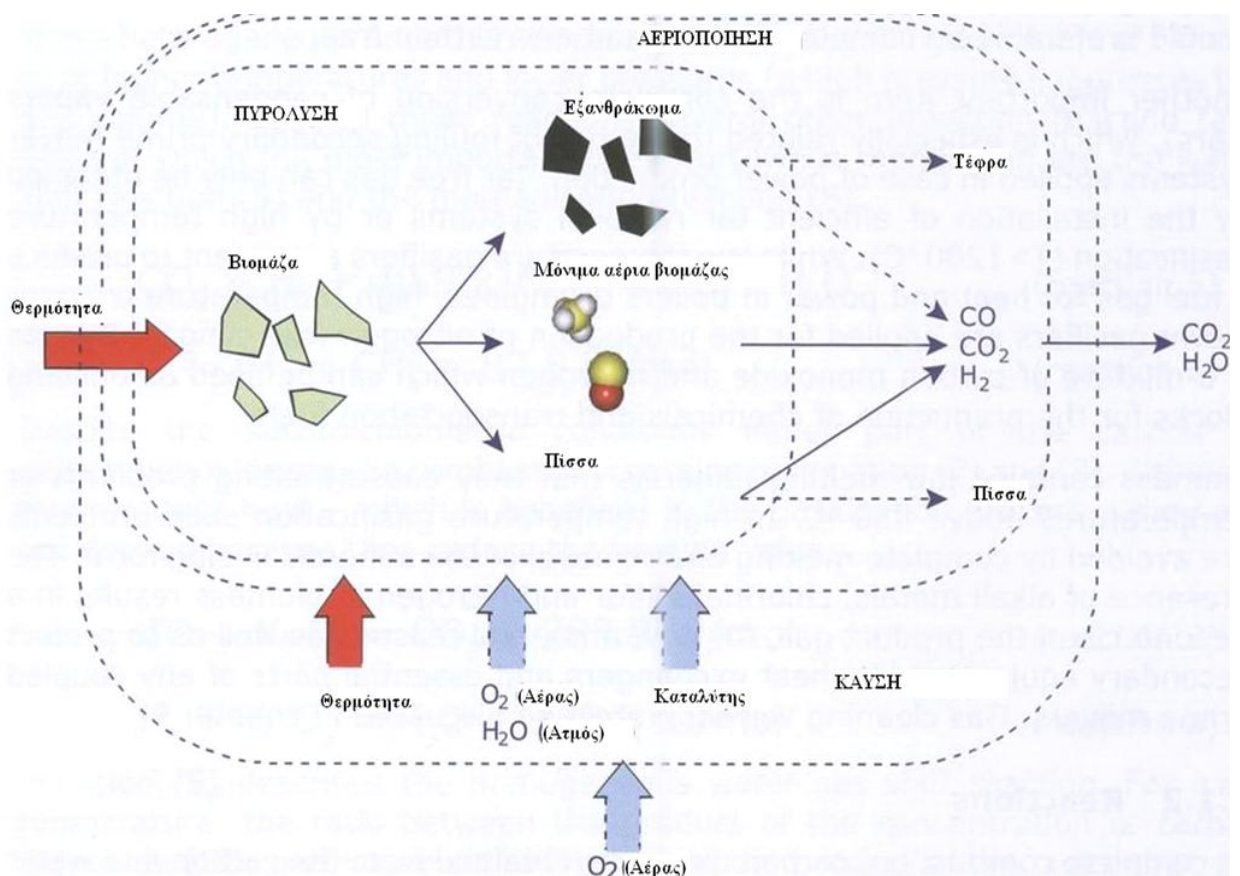
Από το έτος 1950 και έπειτα, και ιδιαίτερα το 1970 το ενδιαφέρον στράφηκε εκ νέου στην αεριοποίηση της βιομάζας λόγω της πετρελαϊκής κρίσης και από το 1990 και έπειτα η άγουσα δύναμη αξιοποίησης της βιομάζας μέσω της αεριοποίησης αποτελεί ενδιαφέρον για την παραγωγής ενέργειας και υλικών διασφαλίζοντας περιβαλλοντική προστασία και αειφόρο ανάπτυξη [35].

Η αεριοποίηση βιομάζας λαμβάνει χώρα σε υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την πυρόλυση ( $750 < T < 1200^\circ\text{C}$ ) και αποτελεί στο σύνολο της μια πολύπλοκη, ενδόθερμη διεργασία [36], [10], [25], [37], [38]. Πραγματοποιείται σε περιβάλλον ελεγχόμενων οξειδωτικών συνθηκών (υποστοιχειομετρικές ποσότητες οξειδωτικού μέσου όπως π.χ. αέρα), παράγοντας παράλληλα ποσότητες πίσσας και εξανθρακώματος. Η αεριοποίηση ενώ συμβαίνει στην πραγματικότητα από ένα σύνολο πολύπλοκων αντιδράσεων, θα μπορούσε για πρακτικούς λόγους να αποδοθεί από την Αντίδραση 3:



Τα επιμέρους στάδια της αεριοποίησης της βιομάζας αφορούν αρχικά στην ξήρανση και στην πυρόλυση με την απελευθέρωση των πτητικών και της παραγωγής του εξανθρακώματος πυρόλυσης. Αυτό το στάδιο ονομάζεται πυρολυτικό στάδιο της αεριοποίησης και συμβαίνουν πρωτογενείς αντιδράσεις αεριοποίησης. Σε δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η θερμική διάσπαση και η αναμόρφωση των συμπυκνώσιμων υδρογονανθράκων προς ένα μίγμα ελαφρύτερων αέριων, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται η αεριοποίηση του εξανθρακώματος πυρολυτικής προέλευσης (Σχήμα 7) [37].

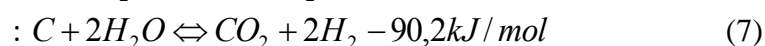
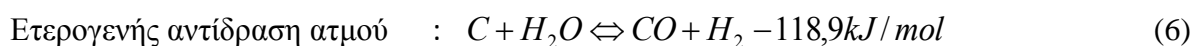
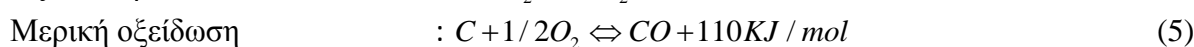
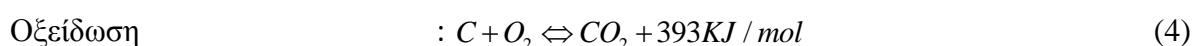
Η απαιτούμενη θερμότητα για την ολοκλήρωση της αεριοποίησης μπορεί να προέρχεται από την ίδια τη διεργασία και τα στάδια εξώθερμων αντιδράσεων οξείδωσης (αυτόθερμη διεργασία) ή να παρέχεται εξωτερικά (αλλόθερμη διεργασία). Σκοπός της αεριοποίησης είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής ενός αερίου υψηλής θερμογόνου δύναμης με στόχο την αξιοποίησή του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή την υψηλή συγκέντρωση  $H_2$ , με σκοπό την αξιοποίηση του αερίου αεριοποίησης είτε για παραγωγή ενέργειας ή από τη χημική βιομηχανία για υλικά και βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς. Η απόδοση αεριοποίησης σε αέριο προϊόν ανέρχεται σε ~80%κ.β. ενώ σε εξανθράξωμα ~20%κ.β. [32] και εξαρτάται από τις συνθήκες της διεργασίας.



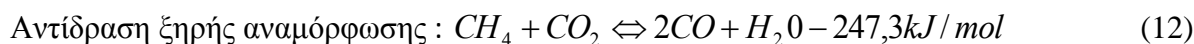
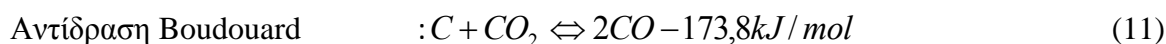
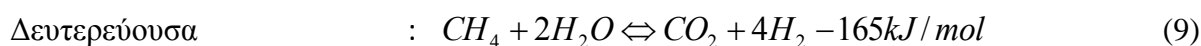
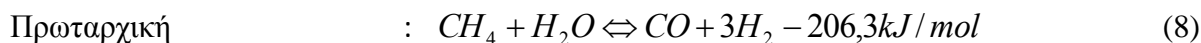
Σχήμα 8: Σχηματική παράσταση διεργασίας αεριοποίησης βιομάζας [37]

Η αεριοποίηση μπορεί να θεωρηθεί πλήρης όταν όλος ο περιεχόμενος άνθρακας της βιομάζας μεταφερθεί στην αέρια φάση και για την επίτευξη του στόχου αυτού χρησιμοποιούνται διαφορετικά μέσα αεριοποίησης (αέρας, οξυγόνο, ατμός ή ειδικά μίγματα) [10]. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέσο αεριοποίησης είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, λόγω χαμηλού κόστους και διαθεσιμότητας. Το παραγόμενο αέριο τότε έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη (4-6 MJ/Nm<sup>3</sup>) [24]. Η χρήση οξυγόνου ή ατμού αυξάνει τη θερμογόνο δύναμη του αερίου αεριοποίησης (10-20 MJ/Nm<sup>3</sup>), λόγω της αποφυγής αραίωσης του παραγόμενου αερίου από το αδρανές άζωτο του αέρα αλλά και της προώθησης των αντιδράσεων αναμόρφωσης του CH<sub>4</sub>, υδρογονανθράκων και πίσσας.

Οι κυριότερες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την αεριοποίηση της βιομάζας φαίνονται παρακάτω [37]:



Αντιδράσεις αναμόρφωσης μεθανίου



Τα βασικά συστατικά του αερίου αεριοποίησης είναι το CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> και μικρές ποσότητες C<sub>2</sub>H<sub>x</sub>. Η συγκέντρωσή τους στο αέριο αεριοποίησης εξαρτάται τόσο από την κινητική των χημικών αντιδράσεων, όσο και από τον επαρκή χρόνο παραμονής του αερίου και εξανθρακώματος στις συνθήκες αεριοποίησης. Επιπροσθέτως, παράγοντες όπως τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της βιομάζας (υγρασία, τέφρα, αναλογία C/N κ.α.), τύπος αντιδραστήρα αεριοποίησης (σταθερής κλίνης, ρευστοστερεάς κλίνης), λειτουργικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία (T), ποσότητα οξειδωτικού μέσου (λόγος αέρα λ για μέσο αεριοποίησης τον αέρα), ρυθμός θέρμανσης (dT/dt) κ.α. επηρεάζουν την απόδοση και τη σύσταση των προϊόντων της αεριοποίησης.

Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες της αεριοποίησης βιομάζας βρίσκονται ήδη στο στάδιο εφαρμογής τους σε βιομηχανική κλίμακα είναι ακριβές σε σχέση με τις μονάδες καύσης ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν περισσότερο οικονομικά παρά τεχνικά εμπόδια για την είσοδο τους στην αγορά. Η διεξοδος για την εμπορική τους εξάπλωση φαίνεται να εξαρτάται από την ικανότητα τους να ενσωματωθούν σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [38] και προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας [39]. Οι μονάδες αεριοποίησης μικρής κλίμακας, από την άλλη, βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο με ελάχιστα παραδείγματα εμπορικής εφαρμογής τους [29].

### 4.3 Σύγκριση θερμοχημικών μεθόδων μετατροπής βιομάζας

Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε από τα παραπάνω η καθοριστική παράμετρος που ευνοεί μία διαδικασία έναντι μιας άλλης είναι η παροχή αέρα προς την πρώτη ύλη βιομάζας. Όταν το οξυγόνο είναι σε περίσσεια σε σύγκριση με τον εφοδιασμό της βιομάζας, τότε πλήρης καύση λαμβάνει χώρα. Όταν η ποσότητα της παροχής οξυγόνου δεν είναι επαρκής (μικρότερη από την απαιτούμενη στοιχειομετρική καύση), τότε λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση. Τέλος, η πυρόλυση είναι μια διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα με την απόλυτη απουσία οξυγόνου. Έτσι, η αεριοποίηση μπορεί, ουσιαστικά, να χαρακτηριστεί ως η ενδιάμεση εναλλακτική λύση μεταξύ καύσης και πυρόλυσης, μεταξύ της υπερεπαρκούς παροχής οξυγόνου για τη βιομάζα και της απόλυτης απουσίας του από τη διαδικασία [40].

#### 4.3.1 Αεριοποίηση έναντι καύσης

Κατά τη διάρκεια της καύσης, λόγω του υψηλής παροχής οξυγόνου, το σύνολο του άνθρακα της βιομάζας μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, το υδρογόνο σε νερό και το θείο σε διοξείδιο του θείου. Αυτό σημαίνει ότι τα καυσαέρια που προκύπτουν από την καύση της βιομάζας είναι ουσιαστικά ένα μείγμα διοξειδίου του άνθρακα, νερού, οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου. Καμία από αυτές τις ουσίες δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως καύσιμο, έτσι ο μόνος τρόπος για την παραγωγή ενέργειας μέσω της καύσης είναι μέσω της παραγωγής ατμού και της χρήσης του σε ατμοστρόβιλο (ή μέσω της πιο αποτελεσματικής εναλλακτικής λύσης του Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC), ο οποίος διαφέρει από τους υπόλοιπους θερμοδυναμικούς Κύκλους Rankine γιατί δεν χρησιμοποιεί νερό ως κινούμενο ρευστό, αλλά κάποια άλλη κατάλληλη οργανική ουσία [41]).

Στην αεριοποίηση, το αέριο που παράγεται από τη διεργασία (αέριο σύνθεσης-syngas), είναι ένα μείγμα το οποίο περιέχει, μεταξύ άλλων, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο και άλλους υδρογονάνθρακες· ουσίες οι οποίες είναι και εύφλεκτες και καύσιμες. Ως αποτέλεσμα, το αέριο σύνθεσης μπορεί να τροφοδοτηθεί σε αεριομηχανές ή τουρμπίνες, φυσικά αφού έχει πρώτα καθαριστεί από τυχόν προσμείξεις. Η τυπική ηλεκτρική απόδοση των συστημάτων ατμοστρόβιλου κυμαίνεται μεταξύ 15-25%, ενώ οι κινητήρες αερίου σύνθεσης και οι αεροστρόβιλοι μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση του συστήματος (μεταξύ 30-40%). Εφόσον οι κινητήρες αερίου επιτυγχάνουν υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση από ότι οι τουρμπίνες ατμού, η αεριοποίηση φαίνεται να είναι πιο ελκυστική από την καύση όσον αφορά την αποδοτική παραγωγή ενέργειας.

Εκτός από το καύσιμο αέριο σύνθεσης, η αεριοποίηση είναι μια διαδικασία που παράγει ταυτόχρονα και διάφορα άλλα υποπροϊόντα, όπως το εξανθράκωμα (char). Ενώ οι εγκαταστάσεις καύσης στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας εξανθρακώματος που παράγεται έτσι ώστε να επιτύχουν υψηλότερες αποδόσεις ενέργειας, σε μονάδες αεριοποίησης, το εξανθράκωμα θεωρείται ως εμπορεύσιμο προϊόν (ως πρόσθετη ύλη για τα εργοστάσια τσιμέντου ή ως εδαφοβελτιωτικό). Ο τύπος αεριοποιητή και οι υπάρχουσες συνθήκες λειτουργίας επηρεάζουν σημαντικά την ποσότητα εξανθρακώματος που παράγεται, συνεπώς είναι πρόκληση η επιλογή του βέλτιστου τύπου αεριοποιητή, έτσι ώστε να συνδυαστεί η αποδοτική παραγωγή ενέργειας με την ταυτόχρονη παραγωγή υψηλής ποιότητας εξανθρακώματος. Αυτή είναι μια μη υπάρχουσα πρόκληση για τις συμβατικές μονάδες καύσης βιομάζας.

Τα καυσαέρια από την καύση της βιομάζας μπορούν να αξιοποιηθούν μόνο σε τουρμπίνες ατμού με θερμική αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους. Το αέριο σύνθεσης όχι μόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κινητήρες αερίου, αλλά επίσης και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή είτε άλλων καυσίμων (όπως αιθανόλη, μεθανόλη, βιοντίζελ κλπ.) ή άλλων εμπορικών χημικών ουσιών (όπως το οξικό οξύ, αμμωνία, κλπ.)

Μια πτυχή αυτής της σύγκρισης που ευνοεί σίγουρα τις διαδικασίες καύσης, έχει να κάνει με την ωριμότητα της τεχνολογίας και τη σχέση κόστους-απόδοσης, ειδικά για έργα μικρότερης κλίμακας. Ακόμα κι αν αρκετά μεγάβα μονάδων αεριοποίησης βιομάζας έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν με επιτυχία τα τελευταία 20 χρόνια, εξακολουθεί να θεωρείται ως μια αναδυόμενη τεχνολογία, σε σύγκριση, τουλάχιστον, με την καύση βιομάζας, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την παραγωγή ενέργειας για τουλάχιστον ενάμιση αιώνα [40].

### 4.3.2 Αεριοποίηση έναντι πυρόλυσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αεριοποίηση πραγματοποιείται όταν η ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται στη καύσιμη βιομάζα είναι μικρότερη από την απαιτούμενη για την εκπλήρωση πλήρους καύσης. Άρα, επί της ουσίας, η αεριοποίηση βιομάζας είναι η μερική οξειδωση της. Όταν, όμως, γίνεται αναφορά στην πυρόλυση, είναι απαραίτητο να διατηρηθούν συνθήκες άνευ οξυγόνου κατά την διάρκεια της θερμικής μετατροπής της βιομάζας.

Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, η βιομάζα θερμαίνεται μέχρι να υγροποιηθεί και τα πτητικά αέρια που περιέχει να εξέλθουν από τη στερεή μάζα. Τα πτητικά αέρια στη συνέχεια συμπυκνώνονται ώστε να παραχθεί τελικά ένα υγρό βιοκαύσιμο, που ονομάζεται βιοέλαιο (το βιοέλαιο δεν πρέπει να συγχέεται με το βιοντίζελ). Ίσως η πιο πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση της πυρόλυσης της βιομάζας, είναι γρήγορη πυρόλυση βιομάζας (biomass fast pyrolysis). Αυτή λαμβάνει χώρα σε ένα μέσο εύρος θερμοκρασίας (450-500°C) με εξαιρετικά μικρό χρόνο παραμονής της βιομάζας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα (περίπου 2-3 δευτερόλεπτα). Οι συνθήκες υπό τις οποίες η γρήγορη πυρόλυση λαμβάνει χώρα έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικρής ποσότητας εξανθρακώματος και μικρής περιεκτικότητας του βιο-ελαίου σε νερό· χαρακτηριστικά που του προσδίδουν αυξημένη ενεργειακή αξία.

Τόσο η αεριοποίηση όσο και η πυρόλυση είναι κατάλληλες για την παραγωγή καυσίμων, από την πρώτη λαμβάνουμε αέριο καύσιμο και από τη δεύτερη υγρό καύσιμο. Ακόμα κι αν το αέριο σύνθεσης και το βιοέλαιο έχουν ορισμένες ομοιότητες (π.χ. δυνατότητα για χρήση σε κινητήρες και στροβίλους, μεταφορά μέσω του δικτύου σωληνώσεων, δυνατότητα χρήσης ως πρώτη ύλη για την παραγωγή άλλων καυσίμων ή χημικών ουσιών), έχουν μια σημαντική διαφορά η οποία συνδέεται με την ωριμότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Αν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αεριοποίηση θεωρείται αναδυόμενη και λιγότερο ώριμη τεχνολογικά διαδικασία ως προς την καύση, τότε η πυρόλυση θα πρέπει να θεωρείται ότι εξακολουθεί να είναι στο στάδιο της πειραματικής εφαρμογής της. Υπάρχουν σημαντικά θέματα που πρέπει να συζητηθούν σε σχέση με την πυρόλυση. Πιθανώς η μεγαλύτερη ανησυχία είναι η ποιότητα των βιοελαίου που παράγεται, το οποίο θεωρείται διαβρωτικό και η σταθερή ποιότητα του που θα τροφοδοτεί τους κινητήρες πρέπει να ρυθμιστεί. Για τον ίδιο λόγο, η αποθήκευση και μεταφορά του βιο-ελαίου είναι ακόμα προβληματική. Αυτά είναι ζητήματα και προκλήσεις που δεν επηρεάζουν τα έργα αεριοποίησης βιομάζας [40].

Στον ακόλουθο πίνακα, η προαναφερθείσα σύγκριση των τριών κύριων διαδικασιών θερμο-χημικής μετατροπής της βιομάζας συνοψίζεται:

Πίνακας 12: Σύγκριση αεριοποίησης, καύσης και πυρόλυσης [40]

Διεργασία μετατροπής	Παροχή οξυγόνου	Θερμοκρασιακό εύρος (°C)	Κύρια Προϊόντα
Αεριοποίηση	Λιγότερη από την απαιτούμενη στοιχειομετρική	800-1200	Θερμότητα, Αέριο σύνθεσης, Εξανθράκωμα
Καύση	Σε περίσσεια	800-1200	Θερμότητα
Πυρόλυση	Πλήρης απουσίας	300-600	Θερμότητα, Βιο-έλαιο, Εξανθράκωμα

Συνεπώς από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει ότι θα χρησιμοποιηθεί η αεριοποίηση στην παρούσα εφαρμογή, γιατί αποτελεί νέα τεχνολογία πολύ φιλικότερη από την καύση προς το περιβάλλον, θα τροφοδοτήσει συνδυασμένο κύκλο παραγωγής ενέργειας οπότε είναι απαραίτητη η παραγωγή καυσίμου, σε αντίθεση με την καύση που μπορεί να τροφοδοτήσει με τα καυσαέρια της μόνο κύκλο Brayton.

Σε σχέση με την πυρόλυση, η αεριοποίηση αποτελεί σαφώς πιο ώριμη τεχνολογία και το καύσιμο αέριο που παράγεται από αυτή είναι υψηλής ποιότητας και δεν παρουσιάζει διαβρωτικό χαρακτήρα σε αντίθεση με το βιοέλαιο της πυρόλυσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Τεχνολογίες αεριοποίησης

### 5.1 Υπάρχουσες τεχνολογίες αεριοποίησης

Η βιομάζα αξιοποιείται ενεργειακά μέσω τεχνολογιών που μελετήθηκαν, αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν στο παρελθόν για την αξιοποίηση συμβατικών καυσίμων όπως είναι ο άνθρακας. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας δοκιμάζεται σε βιομηχανική κλίμακα και σε συνδυασμό με την συντροφοδοσία με άνθρακα και απορρίμματα ενώ τα συστήματα αεριοποίησης μικρής κλίμακας βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της έρευνας και επίδειξης [42]. Η εφαρμογή επιτυχημένων παραδειγμάτων (best practices) μπορεί να συμβάλει στην λύση κάλυψης ενεργειακών αναγκών σε τοπικό, περιφερειακό επίπεδο (ορεινές και νησιωτικές περιοχές) με βάση τη διαθέσιμη βιομάζα.

Παράμετρο επιλογής κατάλληλης τεχνολογίας αεριοποίησης βιομάζας, αποτελεί η απόδοση συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Σύζευξη αεριοποίησης με τεχνολογίες αιχμής, όπως είναι τα κελία καυσίμου, ή ακόμα και η ανάπτυξη άλλου τύπου προηγμένων υβριδικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και άλλες μορφές Α.Π.Ε, θα οδηγήσουν πιθανόν και σε ακόμα υψηλότερες ενεργειακές αποδόσεις.

Οι τεχνολογίες αεριοποίησης χαρακτηρίζονται από τον τύπο του αεριοποιητή. Μια γενική κατηγοριοποίηση βασίζεται στην ρευστοποίηση ή όχι της κλίνης. Έτσι οι τεχνολογίες αεριοποίησης χωρίζονται σε σταθερής (fixed bed) και ρευστοστερεάς κλίνης (fluidized bed). Στον Πίνακα 13 δίνονται περιληπτικά τα χαρακτηριστικά αεριοποιητών σταθερής και ρευστοστερεάς κλίνης οι οποίοι λειτουργούν σήμερα είτε για ερευνητικούς ή εμπορικούς σκοπούς [29].

Πίνακας 13: Σύγκριση αεριοποιητών σταθερής και ρευστοστερεάς κλίνης [36]

Τύποι αεριοποιητών	Χαρακτηριστικά	
Σταθερής κλίνης καθοδικής ροής (FixedBed, Downdraft)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απλοί, αξιόπιστοι</li> <li>• Θερμά αέρια αφήνουν τον αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 900-1000°C</li> <li>• Χαμηλή ενεργειακή απόδοση</li> <li>• Μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων στο αέριο απ' ότι στον ανοδικής ροής.</li> <li>• Ομοιομορφία τροφοδοσίας μορφή και με μικρή ποσότητα λεπτόκκοκων σωματιδίων (5mm)</li> <li>• Χαμηλό ποσό πίσσας και υψηλή μετατροπή άνθρακα.</li> <li>• Περιορισμένη δυνατότητα κλιμάκωσης μεγέθους</li> <li>• Μέγιστο ανεκτό ποσοστό υγρασίας :35%</li> </ul>	BTG&KARA, Fluidyne, Johanssen
Σταθερής κλίνης ανοδικής ροής (Fixedbed Updraft)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απλή, αξιόπιστη τεχνολογία</li> <li>• Καύσιμα σε ομοιόμορφη μορφή και με μικρή ποσότητα λεπτόκκοκων σωματιδίων (5 mm)</li> <li>• Υψηλό ποσό πίσσας</li> <li>• Περιορισμένη δυνατότητα κλιμάκωσης μεγέθους</li> <li>• Υψηλή θερμική απόδοση και μετατροπή άνθρακα</li> <li>• Ανεπιθύμητα υψηλά ποσοστά λεπτόκκοκων σωματιδίων τροφοδοσίας</li> <li>• Χαμηλή θερμοκρασία εξόδου αερίου αεριοποίησης.</li> </ul>	Wellman, Volund, Bioneer
Διασταρούμενης ροής (Cross Flow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η τροφοδοσία κινείται προς τα κάτω ενώ ο αέρας εισάγεται από το πλάι</li> <li>• Θερμοκρασία εξόδου αερίου 800-900°C</li> <li>• Χαμηλή ενεργειακή απόδοση</li> <li>• Υψηλό ποσοστό πίσσας</li> </ul>	
Αναβράζουσας κλίνης (BFB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλός θερμοκρασιακός έλεγχος και υψηλοί ρυθμοί αντίδρασης</li> <li>• Υψηλά ποσοστά σωματιδίων στο παραγόμενο αέριο και μέτρια παρουσία πίσσας.</li> <li>• Καλή δυνατότητα κλιμάκωσης μεγέθους για ξηρή τροφοδοσία ~ 10-15 τον/ώρα.</li> <li>• Εύκολος χειρισμός έναρξης και σταματήματος</li> <li>• Ανεκτικότητα σε τροφοδοσίες με διάφορα μεγέθη.</li> <li>• Καλός θερμοκρασιακός έλεγχος</li> <li>• Μπορεί να προστεθεί καταλύτης στην κλίνη</li> <li>• Υπάρχει κάποια απώλεια άνθρακα στην τέφρα</li> </ul>	EPI, Carbona, Dinamec
Ανακύκλωσης (CFB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος και χαμηλή δυναμικότητα</li> <li>• Δυσκολία στην καταλυτική διεργασία.</li> </ul>	TU V, TPS, Lurgi, Foster Wheeler
Δίδυμης κλίνης (Twin bed)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύπλοκη τεχνολογία</li> <li>• Υψηλό κόστος και δυσκολία κλιμάκωσης μεγέθους</li> <li>• Ο αεριοποιητής είναι συνήθως CFB, ενώ ο καυστήρας εξανθρακώματος BFB ή CFB</li> <li>• Υψηλά ποσοστά πίσσας στο αέριο</li> <li>• Πιθανότητα προσθήκη καταλύτη στην κλίνη</li> <li>• Πολυπλοκότητα που απαιτεί δυναμικότητα &gt;10 t/h για βιωσιμότητα</li> </ul>	Ferco, Vermont USA



<b>Άλλα είδη</b>	<p>Κινούμενης κλίνης (Moving bed)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μηχανική μεταφορά στερεού</li> <li>• Διεργασίες χαμηλής θερμοκρασίας Περιστροφικού κλιβάνου (Rotary kiln)</li> <li>• Καλή επαφή στερεού αερίου</li> <li>• Τέτοιος σχεδιασμός ώστε να αποφεύγεται ο συμπαρασυρμός του στερεού Πολυβάθμιοι αντιδραστήρες (Multi stage)</li> <li>• Με διαχωρισμό πυρόλυσης και αεριοποίησης για βελτιωμένες διεργασίες ελέγχου και καλύτερη ποιότητα</li> <li>• Κυκλωνικοί αντιδραστήρες και αντιδραστήρες πυρήνα (Cyclonic and vortex reactors)</li> <li>• Υψηλές ταχύτητες σωματιδίων και υψηλούς ρυθμούς αντίδρασης</li> </ul>	<p>Thermoselect</p> <p>Compact Power</p>
------------------	---	--

Οι τεχνολογίες αεριοποίησης κατηγοριοποιούνται επίσης και με βάση την κατεύθυνση ροής του οξειδωτικού μέσου της αεριοποίησης (αέρα, ατμό ή μίγμα τους) και έτσι χωρίζονται σε τρεις άλλες υποκατηγορίες που είναι:

- Ανοδικής ροής (Up draft): Για ανοδική κίνηση μέσου αεριοποίησης στην κλίνη
- Καθοδικής ροής (Down draft): Για καθοδική κίνηση μέσου αεριοποίησης στην κλίνη
- Συμπαρασυρμού (Entrained flow): Για ανοδική κίνηση και παράσυρση σωματιδίων στην έξοδο αεριοποιητή

Κατηγοριοποιούνται επίσης με βάση την κατεύθυνση ροής της τροφοδοσίας σε σχέση με την κατεύθυνση του μέσου αεριοποίησης:

- Ομορροής (Co-current) : Για ίδια κατεύθυνση ροής π.χ. βιομάζας - αέρα
- Αντιρροής (Counter-current): Για αντίθετη κατεύθυνση ροής π.χ. βιομάζας - αέρα
- Διασταρούμενης ροής (Cross-current): Για διασταυρούμενη κατεύθυνση ροής π.χ. βιομάζας – αέρα

Από την παραπάνω σύγκριση φαίνεται πως η τεχνολογία ρευστοστερεών κλινών είναι περισσότερο κατάλληλη σε σχέση με την τεχνολογία σταθεράς κλίνης για την διεργασία της αεριοποίησης βιομάζας εξαιτίας:

- α) της ευελιξίας επιλογής τροφοδοσίας, καθώς οι ρευστοστερεές κλίνες επιτρέπουν την διαχείριση βιομάζας χαμηλής πυκνότητας και λεπτής κοκκομετρίας
- β) των υψηλών ρυθμών θέρμανσης που καθορίζονται από την ανάμιξη του υλικού κλίνης με την βιομάζα και την θερμοχημική μετατροπή της σε περιβάλλον ισοθερμοκρασιακών συνθηκών
- γ) την υψηλή μετατροπή άνθρακα σε μικρό χρόνο παραμονής κ.α.

Τέλος οι αεριοποιητές ρευστοστερεάς κλίνης (APK) διακρίνονται σε πρώτης γενιάς που είναι οι αεριοποιητές αναβράζουσας κλίνης (BFB-bubbling fluidized bed) και δεύτερης γενιάς που είναι οι αεριοποιητές με ανακυκλοφορία (CFB-circulating fluidized bed). Στον Πίνακα 14 παρουσιάζεται η σύγκριση των δύο αυτών τεχνολογιών ρευστοστερεών κλινών [29].

Πίνακας 14: Σύγκριση αεριοποιητών ρευστοστερεάς κλίνης BFB και CFB [43]

Τεχνολογία κλίνης	Αναβράζουσα (FBB)	Ανακύκλωσης (CFB)
Ώρες λειτουργίας	< 5.000 ώρες /έτος	
Κατασκευή	Λιγότερο σύνθετη τεχνολογία χωρίς κινούμενα μέρη	Σύνθετη τεχνολογία Μεγάλα ύψη
Τεχνικά χαρακτηριστικά	Καλή θερμοκρασιακή διανομή	
		Απουσία θερμών σημείων Πολύ καλή μεταφορά θερμότητας
	Προβλήματα συνδυασμού χαμηλών σημείων τήξεως τέφρας και απαιτήσεις σε υψηλή θερμοκρασία	
	Δυσκολότερη λειτουργία σε σχέση με της σταθερές κλίνες	
	Καλή επαφή στερεού - αερίου και καλή ανάμιξη	
Χρόνος παραμονής	Στερεών: sec ή min Αερίων: sec	
Δρ	Υψηλότερη σε σχέση με σταθερές κλίνες	
Εμπειρία	Εμπορικές εφαρμογές, ασφάλεια, αξιοπιστία και σταθερότητα	
Εφαρμογή μεγάλης κλίμακας	Υψηλοί ρυθμοί αντίδρασης, χαμηλός χρόνος παραμονής στερεών, υψηλή ειδική δυναμικότητα, σταμάτημα λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα, σχετικά εύκολη κλιμάκωση μεγέθους	
	Περιορίζεται η δυναμικότητα από τον καταιονισμό σωματιδίων σε υψηλές ταχύτητες	
Έναρξη – λήξης λειτουργίας	Έναρξη – λήξη πραγματοποιείται εύκολα	
Εύρος φορτίου	Το εύρος turndown περιορίζεται από την ταχύτητα ρευστοαιώρησης Μπορεί να λειτουργήσει μερικό φορτίο (50-10%)	
Αλλαγή φορτίου	Γρήγορη εναλλαγή διαφορετικών φορτίων, χαμηλό περιεχόμενο καυσίμου στην κλίνη	
Απαίτηση χώρου	Μικρότερη απαίτηση χώρου	
Πρώτη ύλη	Ανεκτικότητα σε διακυμάνσεις ποιότητας της τροφοδοσίας Ανεκτικότητα στις διακυμάνσεις μεγέθους σωματιδίων (από 0,02 – 50 mm) Ανεκτικότητα στο περιεχόμενο λεπτόκοκκων σωματιδίων	
Προϊόντα	Χαμηλή περιεκτικότητα σε πίσσα, φαινόλες Σταθερή σύνθεση παραγόμενου αερίου λόγω των ομοιόμορφων συνθηκών στην κλίνη Θερμοκρασία εξόδου αερίου περίπου όμοια με της κλίνης	
Παραπροϊόντων	Απώλεια άνθρακα στην τέφρα εξαιτίας της ανομοιομορφίας στην σύνθεση των στερεών της κλίνης	
Καθαρισμός αερίου	Παραγόμενο αέριο με υψηλό ποσοστό σκόνης	
Προσθήκη καταλύτη	Δυσκολία στην προσθήκη καταλύτη εντός της κλίνης	
Απόδοση άνθρακα	Υψηλή	
Εσωτερικό φορτίο	Υψηλή ενεργειακή απαίτηση για τους ανεμιστήρες (αέρας ρευστοποίησης )	
Εκπομπές αερίων	Πιθανότητα προκαταρκτικού καθαρισμού αερίου	

Οι κυριότερες δυσκολίες εισόδου των αεριοποιητών δεύτερης γενιάς στην αγορά σε σχέση με τους αεριοποιητές αναβράζουσας κλίνης επικεντρώνονται στην σταθερότητα της τροφοδοσίας στην έντονη παράσυρση σωματιδίων εκτός συστήματος και στις δυσκολίες καθαρισμού του αερίου αεριοποίησης από την πίσσα και σωματίδια, [29].

## 5.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά αεριοποιητών ρευστοστερεάς κλίνης

Το μέσο αεριοποίησης έχει διττό ρόλο, αφενός συμβάλει στην ρευστοποίηση της κλίνης και αφετέρου στην επίτευξη υποστοιχειομετρικής αναλογίας για τον έλεγχο της αεριοποίησης ( $\lambda < 1$ ) και αποφυγή της καύσης ( $\lambda > 1$ ). Γι αυτόν τον λόγο η επιλογή της κατάλληλης στοιχειομετρίας αέρα και το μέσο αεριοποίησης που χρησιμοποιείται προσδιορίζουν την θερμοκρασία κλίνης και την απόδοση.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανασκόπηση των διαθέσιμων στοιχείων για την λειτουργία και κατασκευή επιδεικτικών και πιλοτικών μονάδων αεριοποιητών ρευστοστερεάς κλίνης συνοψίζονται παρακάτω:

- Η απόδοση αεριοποιητή κυμαίνεται μεταξύ 35-85%.
- Συνήθως η επιφανειακή ταχύτητα λειτουργίας των αεριοποιητών είναι διπλάσια της ελάχιστης ταχύτητας ρευστοποίησης. Η τελευταία υπολογίζεται με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της κλίνης (πορώδες, κοκκομετρία, πυκνότητα κ.α.) και όχι της τροφοδοτούμενης βιομάζας, η πρακτική αυτή προσεγγίζει πολλά είδη τροφοδοτούμενης βιομάζας
- Η θερμοκρασία κλίνης κυμαίνεται στους 600 με 960°C, ενώ οι περισσότερες πιλοτικές μονάδες αεριοποίησης λειτουργούν συνήθως σε θερμοκρασία περίπου 800 °C
- Ο λόγος αέρα προς βιομάζα ( $\lambda$ ) κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των τιμών 0,2 και 0,4
- Η χρήση ατμού αντί του αέρα ως μέσου αεριοποίησης οδηγεί στην παραγωγή αερίου αεριοποίησης υψηλότερης θερμογόνου δύναμης και με υψηλότερο ποσοστό  $H_2$
- Η θερμογόνος δύναμη του αερίου αεριοποίησης εξαρτάται από το είδος του μέσου αεριοποίησης (αέρας, ατμός, οξυγόνο κ.α.) με μέσες τιμές θερμογόνου δύναμης:

α) 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup> όταν η αεριοποίηση γίνεται με αέρα

β) 6-7 MJ/Nm<sup>3</sup> όταν χρησιμοποιείται μίγμα ατμού και αέρα

- Η διάμετρος αεριοποιητών κυμαίνεται από 50 έως 1.000 mm
- Το ύψος κλίνης κυμαίνεται από 100 έως 1000 mm
- Το ύψος αεριοποιητή κυμαίνεται από 1.500 έως 6.000 mm
- Η σταθεροποίηση τροφοδοσίας βιομάζας παίζει σημαντικό ρόλο δεδομένου ότι οι διακυμάνσεις τροφοδοσίας επηρεάζουν την ποιότητα αερίου και την θερμοκρασία της κλίνης
- Η υγρασία βιομάζας που χρησιμοποιείται στην αεριοποίηση είναι συνήθως χαμηλότερη από 20% κ.β.

Στον Πίνακα 15 δίνεται συνοπτικά η ταξινόμηση των μεθόδων αεριοποίησης στερεών καυσίμων, καθώς και πληροφορίες που αφορούν στην ποιότητα αερίου αεριοποίησης ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία.

Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας σε βιομηχανική κλίμακα είναι η αεριοποίηση ρευστοστερεάς κλίνης συζευγμένη με τυπικούς λέβητες, γιατί δεν απαιτεί σοβαρές μετατροπές στους τυπικούς λέβητες, ούτε και ιδιαίτερος καθαρισμός του αερίου αεριοποίησης από σωματίδια και πίσσα. Σε βελτιστοποιημένη εκμετάλλευση, το αέριο αεριοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν τροφοδοσία για χημικές συνθέσεις καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ΜΕΚ, αεροστρόβιλους ή ακόμα και κυψέλες καυσίμου [29].

Πίνακας 15: Ταξινόμηση μεθόδων αεριοποίησης [29]

Τεχνολογία Αεριοποίησης	Σύσταση αερίου αεριοποίησης (%κ.ο., ξ.β.)					Θερμογόνος Δύναμη (MJ/Nm <sup>3</sup> )	Ποιότητα αερίου αεριοποίησης σε:	
	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	HHV	Πίσσα	Σωματίδια
Ρευστοστερεά κλίνη	14	9	20	7	50	5,4	Μέτρια	Φτωχή
Ανοδικού Ρεύματος	24	11	9	3	53	5,5	Φτωχή	Καλή
Καθοδικού ρεύματος	21	17	13	1	48	5,7	Καλή	Μέτρια
Καθοδικού ρεύματος	48	32	15	2	3	10,4	Καλή	Καλή
Δίδυμη κλίνη	48	31	0	21	0	17,4	Μέτρια	Φτωχή
Πυρόλυση	20	40	18	21	1	13,4	Φτωχή	Καλή

Λόγω των παραπάνω στοιχείων, ο τύπος αεριοποιητή που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εφαρμογή είναι ο αεριοποιητής ρευστοστερεάς ανακυκλούμενης κλίνης, ο οποίος παρά το υψηλό κόστος του (είναι οικονομικά αποτελεσματικός σε δυναμικότητα πάνω από 15 τόνων ξηρής βιομάζας/ώρα), επιτυγχάνει ικανοποιητικό έλεγχο θερμοκρασίας, υψηλούς ρυθμούς απόδοσης, είναι ιδιαίτερα αποδοτικός, όσον αφορά στη μετατροπή στερεών αλλά και στην ανάκτηση του θερμικού περιεχομένου του στερεού υπολείμματος και της πίσσας που επικάθεται στο πληρωτικό υλικό. Επίσης έχουμε τη δυνατότητα αυτής της επιλογής καθώς η περιοχή εγκατάστασης διαθέτει το απαραίτητο δυναμικό βιομάζας για να εξασφαλίσει τη σωστή λειτουργία της συγκεκριμένης συσκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Λειτουργία της παρούσας μονάδας

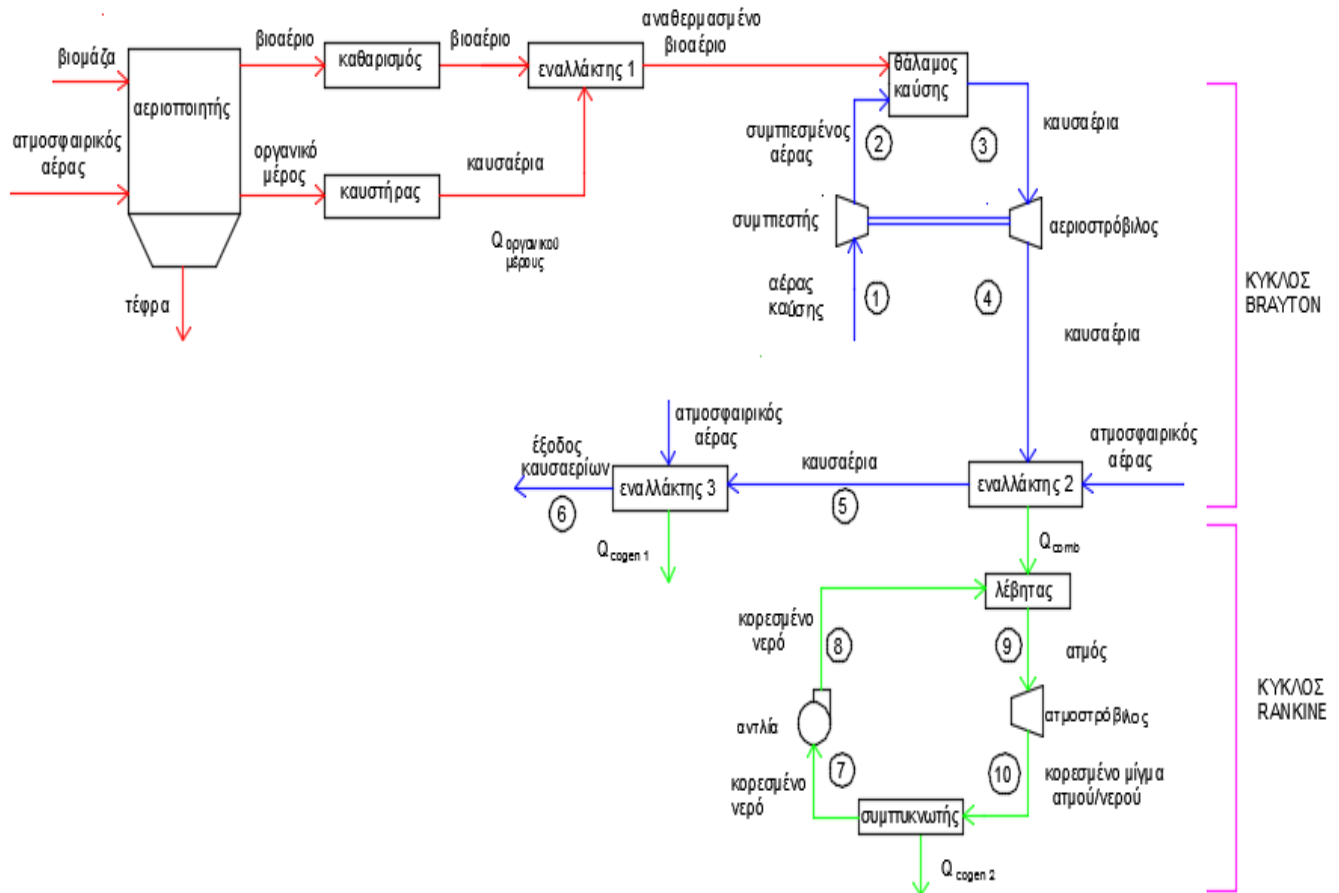
Οι όλο και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες, οι διακυμάνσεις των τιμών και της διαθεσιμότητας των ορυκτών καυσίμων, η ενεργειακή εξάρτηση από πολιτικά ασταθείς περιοχές του πλανήτη, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της υγείας είναι μόνο κάποια από τα προβλήματα που έχει δημιουργήσει η αλόγιστη και χρόνια χρήση των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, η ανάγκη επίλυσης ή περιορισμού αυτών των προβλημάτων, οδήγησε στην αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Με βάση την υφιστάμενη κατάσταση, επιλέχθηκε σαν θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μελέτη μιας μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας με χρήση ΑΠΕ ως πρώτη ύλη.

Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθούν αναλυτικοί υπολογισμοί που αφορούν στη λειτουργία της εξεταζόμενης μονάδας, ξεκινώντας από το θερμοδυναμικό κομμάτι και συνεχίζοντας στο οικονομικό. Επίσης κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί και παραμετρική ανάλυση με σκοπό να γίνει πιο κατανοητή η λειτουργία της μονάδας και να αποφασίσουμε, με βάση τα αριθμητικά αποτελέσματα αν είναι σκόπιμη ή όχι μια τέτοια επένδυση. Αρχικά θα πρέπει να παρουσιάσουμε το βασικό σενάριο που ακολουθούμε και που αποτελεί τη βάση όλων των υπολογισμών.

Η μονάδα αεριοποίησης και συμπαραγωγής ενέργειας βρίσκεται στην περιοχή της Θεσσαλίας και τροφοδοτείται από μια περιοχή γύρω από αυτή, με μέση ακτίνα 44,8 km. Η Θεσσαλία επιλέχθηκε γιατί η αγροτική παραγωγή της μπορεί να καλύψει τις ανάγκες τροφοδοσίας της μονάδας. Επίσης επιλέγουμε ως πρώτη ύλη το άχυρο σιταριού, το οποίο βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στην περιοχή και χρησιμοποιείται σε πολύ μικρό ποσοστό ως ζωοτροφή. Ουσιαστικά αποτελεί αγροτικό υπόλειμμα και έχει αρκετά χαμηλή τιμή, επίσης είναι εύκολη η αποθήκευση του και δεν χρειάζεται να υποστεί κάποια επεξεργασία ξήρανσης. Αυτά τα χαρακτηριστικά λοιπόν σε συνδυασμό με την χημική του σύσταση, καθιστούν το άχυρο πολύ συμφέρουσα επιλογή. Όσον αφορά στην χρήση της αεριοποίησης ως μέθοδο ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, αποτελεί ιδανική επιλογή γιατί η διαθέσιμη πρώτη ύλη έχει χαμηλή υγρασία. Σε σύγκριση με την καύση, αποτελεί πολύ πιο αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο, ενώ σε σύγκριση με την πυρόλυση αποτελεί πολύ πιο ώριμη και δοκιμασμένη τεχνολογία. Μετά την αεριοποίηση το παραγόμενο βιοαέριο περνά από σύστημα καθαρισμού και στη συνέχεια εισέρχεται σε εναλλάκτη για αναθέρμανση μαζί με τα καυσαέρια της καύσης του οργανικού μέρους του υπολείμματος της αεριοποίησης. Μετά την αναθέρμανση οδηγείται σε συνδυασμένο κύκλο Brayton-Rankine για συμπαραγωγή ενέργειας.

Παρακάτω πραγματοποιούνται αναλυτικά οι υπολογισμοί σε κάθε θερμοδυναμικό στάδιο από το οποίο διέρχεται το βιοαέριο. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα οικονομικά στοιχεία που βοηθούν μαζί με την παραμετρική ανάλυση, να εκτιμήσουμε τη βιωσιμότητα της μονάδας. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου θα είμαστε σε θέση να αποφασίσουμε αν η υπό μελέτη μονάδα αποτελεί βιώσιμη και κερδοφόρα επένδυση.

## 6.1 Θερμοδυναμική ανάλυση



Σχήμα 9: Διάγραμμα ροής της μονάδας

Τα τρία κομβικά σημεία, που καθορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τη συνολική λειτουργία και απόδοση είναι η αεριοποίηση, η είσοδος στον κύκλο Brayton και τέλος η είσοδος στον κύκλο Rankine. Αναλυτικά έχουμε τα εξής στάδια:







Από την τελευταία εξίσωση, με αντικατάσταση από την πρώτη:

$$W = 0,06 \cdot (156,8 + 149,36 + X) \rightarrow W = 18,4 + 0,06 \cdot X \text{ mol}$$

αντικαθιστώντας στην 2η εξίσωση:

$$X + 2 \cdot (18,4 + 0,06 \cdot X) = 158,8 \rightarrow 1,12 \cdot X = 122,9 \rightarrow X = 109 \text{ mol}$$

$$\text{και: } W = 18,4 + 0,06 \cdot 109,7 = 25 \text{ mol}$$

Αφαιρώντας την 1η από την 3η:

$$Z - W = 80,64 \rightarrow Z = 105,6 \text{ mol}$$

Λύνοντας την 1η:

$$Y + 105,6 + 25 = 149,36 \rightarrow Y = 19 \text{ mol}$$

Οπότε το παραγόμενο αέριο αποτελείται από:

$$\begin{array}{r} 156,8 \text{ mol N}_2 \\ 109 \text{ mol H}_2 \\ 19 \text{ mol CO} \\ 105,6 \text{ mol CO}_2 \\ 25 \text{ mol CH}_4 \end{array}$$

ή 416,61 mol συνολικά

Το θερμικό περιεχόμενό (κατώτερη θερμογόνο δύναμη) του παραγόμενου αερίου, της τροφοδοτούμενης, στον αεριοποιητή, βιομάζας, είναι:

$$\begin{aligned} n_{H_2} \cdot \Delta H_{καύσης_{H_2}} &= 109 \text{ mol H}_2 \cdot 241,8 \text{ kJ/mol} &&= 26356,2 \text{ kJ} \quad (1) \\ n_{CO} \cdot \Delta H_{καύσης_{CO}} &= 19 \text{ mol H}_2 \cdot (393,5 - 110,5) \text{ kJ/mol} &&= 5377 \text{ kJ} \\ n_{CH_4} \cdot \Delta H_{καύσης_{CH_4}} &= 25 \text{ mol H}_2 \cdot (393,5 + 2 \cdot 241,8 - 74,5) \text{ kJ/mol} &&= \underline{20065 \text{ kJ}} \\ &&&51993 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(όπου 74,5 kJ/mol η ενθαλπία σχηματισμού του μεθανίου).

Ο όγκος, σε κανονικές συνθήκες, του αερίου που παράγεται από 1 kg βιομάζας, είναι:

$$416,61 \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ lt/mol} = 9320,64 \text{ lt} = 9,3 \text{ m}^3$$

Οπότε η ενεργειακή πυκνότητα του παραγόμενου αερίου, είναι:

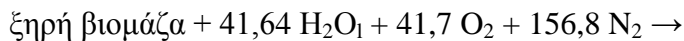
$$51993 \text{ kJ} / 9,3 \text{ m}^3 = 5566 \text{ kJ} / \text{m}^3 = 5,57 \text{ MJ} / \text{m}^3$$

## B. Το ενεργειακό ισοζύγιο του αεριοποιητή είναι:

$$\begin{array}{cccccc} \text{αισθητή θερμότητα} & \text{θερμότητα που} & \text{θερμότητα} & \text{λανθάνουσα} & \text{αισθ. θερμότητα} & (2) \\ \text{που εισέρχεται} & + \text{παράγεται από} & + \text{από την καύση} & - \text{θερμότητα} & = \text{που εξέρχεται με} \\ \text{με τα αντιδρώντα} & \text{την αντίδραση του} & \text{υπολείμματος} & \text{εισερχόμενης} & \text{το παραγ. αέριο} \\ & & & \text{υγρασίας} & \end{array}$$

Θεωρώντας ότι τόσο η βιομάζα όσο και το μέσο αεριοποίησης (αέρας) εισέρχονται στον αεριοποιητή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η αισθητή θερμότητα που εισέρχεται με τα αντιδρώντα είναι μηδέν.

Η θερμότητα που παράγεται από την αντίδραση:



στη βάση του 1 sec ή την τροφοδοσία 5 kg βιομάζας, είναι:

θερμότητα αντίδρασης =

$$19 \cdot \Delta H_{\text{CO}} + 105,6 \cdot \Delta H_{\text{CO}_2} + 25 \cdot \Delta H_{\text{CH}_4} - \Delta H_{\text{βιομ. άζας}} - 41,64 \cdot \Delta H_{\text{H}_2\text{O}(l)} \quad (3)$$

Για τον υπολογισμό του  $\Delta H_{\text{βιομάζας}}$  υπολογίζεται η ΑΘΔ:

$$\text{ΑΘΔ} = 33.890,4 \cdot 0,494 + 144.180,6 \cdot (0,061 - 0,436/8) = 17679 \text{ kJ/kg ξηρής βιομάζας} \quad (4)$$

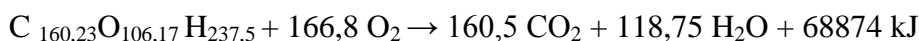
οπότε για τροφοδοσία 5 kg/s είναι:

$$\text{ΑΘΔ}_{\text{βιομάζας}} = 17679 \text{ kJ/kg ξηρής βιομάζας} \cdot 3,9 \text{ kg/s ξηρής βιομάζας} = 68874 \text{ kJ}$$

η κατά mol σύσταση της (στα 3,9 kg ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας):

$$\begin{array}{l} 1924 \text{ gr C ή } 160,23 \text{ mol C} \\ 1698 \text{ gr O ή } 106,17 \text{ mol O} \\ 237,5 \text{ gr H ή } 237,5 \text{ mol H} \end{array}$$

Από την αντίδραση πλήρους καύσης 3,9 kg ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας:



οπότε:

$$\Delta H_{\text{βιομάζας}} = 160,23 \cdot 393,5 + 118,75 \cdot 285,8 - 68874 = 27866,5 \text{ kJ} \quad (5)$$

Στη βάση 1 sec, στον αεριοποιητή τροφοδοτούνται 3,9 kg ξηρής και ελεύθερης τέφρας βιομάζας και από την (3) προκύπτει:

$$\text{θερμότητα αντίδρασης} = 19 \cdot 110,5 + 105,6 \cdot 393,5 + 25 \cdot 74,5 - 27866,5 - 41,64 \cdot 241,8 = 7544 \text{ kJ} \quad (6)$$

δηλαδή η αντίδραση της αεριοποίησης, στην περίπτωση αυτή είναι εξώθερμη.

Η θερμότητα που παράγεται από την καύση του υπολείμματος είναι ίση με την κατώτερη θερμογόνο δύναμη του:

$$A\Theta\Delta_{\text{υπολείμματος}} = 0,145 \cdot (33.890,4 \cdot 0,9 + 144.180,6 \cdot (0,01 - 0,09/8)) = 4396,6 \text{ kJ/kg} \quad (7)$$

Υδρατμός που παράγεται από την καύση 0,145 kg υπολείμματος:

1 kg υπολείμματος περιέχουν 10 gr ατομικού υδρογόνου ή 5 mol H<sub>2</sub>, που κατά την καύση τους δίνουν 5 mol υδρατμού, κατ' αντιστοιχία τα 0,145 kg υπολείμματος δίνουν 0,725 mol υδρατμού, η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης του οποίου είναι:

$$0,72 \text{ mol υδρατμού} \cdot 40,7 \text{ kJ/mol} = 29,3 \text{ kJ} \quad (8)$$

Οπότε η ΚΘΔ του υπολείμματος, είναι:

$$4396,6 - 29,3 = 4367,1 \text{ kJ} \quad (9)$$

Η λανθάνουσα θερμότητα της εισερχόμενης υγρασίας, στη βάση 1 sec είναι:

$$41,64 \text{ mol H}_2\text{O} \cdot 40,7 \text{ kJ/mol} = 1695 \text{ kJ} \quad (10)$$

Έτσι, το ισοζύγιο ενέργειας του αεριοποιητή, στη βάση ενός sec, γίνεται ( $C_{p_{CH_4}} = 0,022 + 4,81 \cdot 10^{-5} \cdot T$ ):

$$\begin{aligned} &\text{αισθ. θερμότητα} \\ &\text{που εξέρχεται με} = 0,00 + 7544 + 4367,1 - 1695 = 10217,4 \text{ kJ} \leftrightarrow \quad (11) \\ &\text{το παραγ. αέριο} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \leftrightarrow &105,5 \cdot [0,043 \cdot (T - 298)] + 19,1 \cdot [0,028 \cdot (T - 298)] + 109,7 \cdot [0,028 \cdot (T - 298)] + \\ &+ 156,8 \cdot [0,027 \cdot (T - 298)] + 25 \cdot [0,022 \cdot (T - 298)] = 9940,9 \text{ kJ} \leftrightarrow \\ \leftrightarrow &T = 1091 \text{ K} \text{ ή } 817,9 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Γ. Η ενεργειακή απόδοση της αεριοποίησης ορίζεται ως:

$$\text{απόδοση} = (\text{ΚΘ}\Delta_{\text{αερίου}}) / (\text{ΚΘ}\Delta_{\text{βιομάζας που τροφοδοτείται στον αεριοποιητή}}) \quad (12)$$

Η ΑΘΔ του ξηρού και ελεύθερου τέφρας μέρους της τροφοδοτούμενης βιομάζας είναι: 68948 kJ και η ΚΘΔ της τροφοδοτούμενης βιομάζας είναι:

$$68874 - (237,5/2 + 41,64) \cdot 40,7 = 62381,7 \text{ kJ/kg} \quad (13)$$

και απόδοση αεριοποίησης =  $51693 / 62381,7 \approx 83\%$

## Δ. Υπολογισμοί στον καυστήρα

Στον καυστήρα εισέρχεται το οργανικό μέρος του υπολείμματος της αεριοποίησης με σκοπό την καύση.

Όπως αναφέρθηκε και πριν η σύσταση του οργανικού μέρους είναι:

$$\text{C: } 0,9 \cdot 145 = 130,53 \text{ gr C ή } 10,9 \text{ mol C}$$

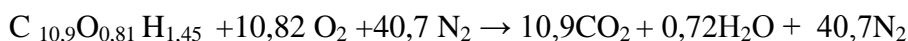
$$\text{O: } 0,09 \cdot 145 = 13,1 \text{ gr O ή } 0,81 \text{ mol O}$$

$$\text{H: } 0,01 \cdot 145 = 1,45 \text{ gr H ή } 1,45 \text{ mol H}$$

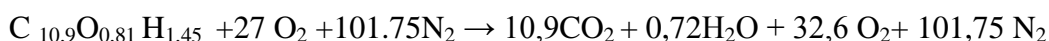
Στην βάση του 1 sec η  $A\Theta\Delta_{\text{οργ.μέρους}}$  είναι:

$$A\Theta\Delta_{\text{οργ.μέρους}} = 0,145 \cdot [33.890,4 \cdot 0,9 + 144.180,6 \cdot (0,01 - 0,09/8)] = 4396,6 \text{ KJ}$$

Η αντίδραση πλήρους καύσης με στοιχειομετρική ποσότητα αέρα:



με περίσσεια αέρα  $n=2,5$  έχουμε 27 mol  $\text{O}_2$  και 102,4 mol  $\text{N}_2$  και η αντίδραση είναι η εξής:



οπότε η σύσταση των καυσαερίων είναι:

10,9 mol $\text{CO}_2$	ή	0,25 kg $\text{CO}_2$
0,72 mol $\text{H}_2\text{O}$	ή	0,040 kg $\text{H}_2\text{O}$
16,23 mol $\text{O}_2$	ή	0,507 kg $\text{O}_2$
101,75 mol $\text{N}_2$	ή	3,66 kg $\text{N}_2$

ή 129,6 mol καυσαερίων ή 3,86 kg

Η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών από την καύση με περίσσεια αέρα είναι:

$$0,72 \text{ mol} \cdot 40,7 \text{ KJ/mol} = 29,3 \text{ KJ}$$

$$\text{Η } \Delta H_{\text{οργ.μέρους}} \text{ είναι ίση με: } 10,9 \cdot 393,5 + 0,72 \cdot 285,5 - 4396,6 = 84,4 \text{ KJ}$$

$$\text{οπότε η θερμότητα της αντίδρασης είναι: } 10,9 \cdot 393,5 + 0,72 \cdot 285,8 - 29,3 - 84,4 = 4368,2 \text{ KJ}$$

γνωρίζοντας τη θερμότητα της αντίδρασης μπορούμε να υπολογίσουμε την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον καυστήρα ως εξής:

$$\text{αισθ. θερμότητα καυσαερίων} = 4368,2 \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow 10,9 \cdot [0,043 \cdot (T - 1091)] + 16,23 \cdot [0,035 \cdot (T - 1091)] + 0,72 \cdot [0,034 \cdot (T - 1091)] + 101,75 \cdot [0,027 \cdot (T - 1091)] = 4368,2 \text{ kJ} \leftrightarrow T = 2238,4 \text{ K ή } 1965,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

## Ε. Υπολογισμοί στον εναλλάκτη 1

Στον εναλλάκτη 1 εισέρχονται τα καυσαέρια από τον καυστήρα με  $m_{\text{καυσαερίων}} = 3,86 \text{ kg/s}$  και θερμοκρασία  $T = 2238,4 \text{ K}$  ή  $1965,3 \text{ }^\circ\text{C}$  και το βιοαέριο με  $m_{\text{βιοαερίου}} = 10,17 \text{ kg/s}$  και θερμοκρασία  $T = 1091 \text{ K}$  ή  $817,9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Η απαγόμενη από τα καυσαέρια θερμότητα είναι:  $0,6 \cdot 4368,2 = 2621 \text{ KJ}$

Για να υπολογίσουμε τις θερμοκρασίες εξόδου των εισερχόμενων ρευμάτων χρησιμοποιούμε τις παρακάτω:

$$\dot{Q} = m_{\text{βιοαερίου}} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow 2621 = 10,17 \cdot 4,71 \cdot (T_{c,out1} - 1091) \quad (14)$$

$$\rightarrow T_{c,out1} = 1826,4 \text{ K} \text{ ή } 1553,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{με } \Delta T = T_{c,out1} - T_{c,in1} \quad (15)$$

$$\dot{Q} = m_{\text{καυσαερίων}} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow 2621 = 1,65 \cdot 4,71 \cdot (T_{h,out1} - 2238,41)$$

$$\rightarrow T_{h,out1} = 1450 \text{ K} \text{ ή } 1176,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{με } \Delta T = T_{h,in1} - T_{h,out1} \quad (16)$$

Για την επιφάνεια εναλλαγής χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T_{lm}} \quad (17)$$

$$\text{με } \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = 761,6 \text{ }^\circ\text{C} \quad (18)$$

$$\Delta T_1 = T_{h,in1} - T_{c,out1} = 788,4 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και} \quad (19)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out1} - T_{c,in1} = 735,4 \text{ }^\circ\text{C} \quad (20)$$

$$\text{άρα: } A = 98,3 \text{ m}^2$$

Παρακάτω δίνεται αναλυτικά η περιγραφή, ο σκοπός χρήσης και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των συσκευών, καθώς επίσης αναλύονται και τα ρεύματα στην είσοδο και την έξοδο καθεμίας από τις παραπάνω συσκευές.

## Αεριοποιητής

Περιγραφή: Ο αεριοποιητής είναι η συσκευή μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η αεριοποίηση. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται αεριοποιητής ρευστοστερεάς ανακυκλούμενη κλίνης με έκταση καύσης που φτάνει το 90%. Παρά το υψηλό κόστος του (είναι οικονομικά αποτελεσματικός σε δυναμικότητα πάνω από 15 τόνων ξηρής βιομάζας/ώρα), επιτυγχάνει ικανοποιητικό έλεγχο θερμοκρασίας, υψηλούς ρυθμούς απόδοσης, είναι ιδιαίτερα αποδοτικός, όσον αφορά στη μετατροπή στερεών αλλά και στην ανάκτηση του θερμικού περιεχομένου του στερεού υπολείμματος και της πίσσας που επικάθεται στο πληρωτικό υλικό, μέσω της καύσης του σε παρακείμενο καυστήρα.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκε τροφοδοσία περίπου 5 kg/s, γιατί εξασφαλίζει την σωστή και αδιάκοπη λειτουργία του αεριοποιητή, και η περιοχή τροφοδοσίας μπορεί να ανταποκριθεί άνετα σε αυτές τις απαιτήσεις με βάση το δυναμικό της σε άχυρο σιταριού.

Στον αεριοποιητή εισέρχεται η τροφοδοτούμενη βιομάζα και το ρεύμα αέρα σε κανονικές συνθήκες (ΚΣ: T=298,15 K, P=1Atm), που αποτελεί το μέσο αεριοποίησης, σε ποσοστό πάντα μικρότερο της αναγκαίας στοιχειομετρικής ποσότητας.

Από τον αεριοποιητή εξέρχεται το παραγόμενο βιοαέριο, αλλά και το υπόλειμμα που αποτελεί ποσοστό 10% της αρχικά τροφοδοτούμενης βιομάζας. Το υπόλειμμα αποτελείται από την τέφρα (μη αξιοποιήσιμη) και το οργανικό μέρος, από την καύση του οποίου παράγεται θερμότητα και γι' αυτό οδηγείται σε καυστήρα.

Συγκεκριμένα τα ρεύματα εισόδου και εξόδου της συσκευής είναι :

- είσοδος αεριοποιητή:
  - ✓ βιομάζας ( $m_{\text{βιομ. άζας}} \approx 5 \text{ kg/s}$ )
  - ✓ αέρας ( $m_{\text{αέρα}} = 3,74 \text{ kg/s}$  και σε ΚΣ: T=298,15 K, P=1Atm)
- έξοδος αεριοποιητή:
  - ✓ παραγόμενο βιοαέριο ( $m_{\text{βιοαέρ. ίου}} = 10,17 \text{ kg/s}$  και T= 10191 K)
  - ✓ υπόλειμμα της αεριοποίησης (ανόργανη τέφρα, οργανικό μέρος:  $m_{\text{οργ. μέρους}} = 0,145 \text{ kg/s}$  και T= 10191 K)

## Σύστημα καθαρισμού

Περιγραφή: Το πρώτο στάδιο σε όλες τις διατάξεις καθαρισμού αερίου σύνθεσης είναι η απομάκρυνση των BTX (βενζόλιο, τολουόλιο και ξυλόλια) και των βαρύτερων υδρογονανθράκων, της πίσσας. Μετά την απομάκρυνση της πίσσας οι υπόλοιπες προσμίξεις αφαιρούνται με συμβατικό υγρό καθαρισμό σε χαμηλή θερμοκρασία. Στη συνέχεια απομακρύνεται η αμμωνία με έκπλυση με νερό μαζί με τα αλογόνα και το  $H_2S$  αφαιρείται με προσρόφηση. Στο τελικό στάδιο, το αέριο διέρχεται μέσω φίλτρων  $ZnO$  και ενεργού άνθρακα, τα οποία απομακρύνουν το  $H_2S$  και τις εναπομείνουσες προσμίξεις. Θεωρούμε ότι το βιοαέριο εξέρχεται από το σύστημα καθαρισμού χωρίς να έχει υποστεί απώλειες στην παροχή ή τη θερμοκρασία [46].

## Καυστήρας

Περιγραφή: Ο καυστήρας είναι η συσκευή μέσα στην οποία πραγματοποιείται η καύση του οργανικού μέρους του υπολείμματος της αεριοποίησης. Στον καυστήρα εισέρχονται αέρας σε περίσσεια και κανονικές συνθήκες (ΚΣ:  $T=298,15\text{ K}$ ,  $P=1\text{ Atm}$ ) και το οργανικό μέρος (στις συνθήκες και την ποσότητα που έχει στην έξοδο του αεριοποιητή).

Η καύση που πραγματοποιείται είναι πλήρης και η περίσσεια αέρα φτάνει το  $n=2,5$ . Κατά την καύση απελευθερώνεται θερμότητα η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την αναθέρμανση του βιοαερίου (πριν την είσοδο του στον κύκλο Brayton).

Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος καυστήρα:
  - ✓ οργανικό μέρος υπολείμματος ( $m_{οργ. μέρους} = 0,145\text{ kg/s}$   $T=1091\text{ K}$ )
  - ✓ περίσσεια αέρα ( $n=2,5$  και  $T=298,15\text{ K}$ )
- έξοδος καυστήρα:
  - ✓ καυσαέρια ( $m_{καυσαερ. ίων} = 3,86\text{ kg/s}$  και  $T=2238,4\text{ K}$ )

## Εναλλάκτης 1

Περιγραφή: Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες χωρίς να επιτρέπει την ανάμιξή τους. Στο συγκεκριμένο στάδιο τα ρευστά ανάμεσα στα οποία εναλλάσσεται θερμότητα είναι δύο αέρια: το βιοαέριο και τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον καυστήρα. Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τον εναλλάκτη 1 είναι:

- είσοδος εναλλάκτη 1:
  - ✓ καυσαέρια ( $m_{\text{καυσαερ. ιων}} = 3,86 \text{ kg/s}$  και  $T=2238,4\text{K}$ )
  - ✓ βιοαέριο ( $m_{\text{βιοαερ. ιον}} = 10,17 \text{ kg/s}$  και  $T= 1091 \text{ K}$ )
- έξοδος εναλλάκτη 1:
  - ✓ καυσαέρια ( $m_{\text{καυσαερ. ιων}} = 3,86 \text{ kg/s}$  και  $T= 1826,4 \text{ K}$ ) [47]
  - ✓ βιοαέριο ( $m_{\text{βιοαερ. ιον}} = 10,17 \text{ kg/s}$  και  $T= 1450 \text{ K}$ ) [47]

Τα αποτελέσματα αεριοποίησης είναι:

Παραγωγή βιοαερίου με ΚΘΔ ίση περίπου με 51693 KJ και απόδοση αεριοποίησης περίπου 83%

### Δεύτερο στάδιο (μπλε διαδρομή διαγράμματος, κύκλος Brayton):

Η μπλε διαδρομή του διαγράμματος ροής της εγκατάστασης αποτελεί από τον κύκλο Brayton, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ισχύος από αεριοστρόβιλους, και δύο διαδοχικούς εναλλάκτες (εναλλάκτης 2 και 3) που βοηθούν στη μετάβαση στον κύκλο Rankine. Ο κύκλος Brayton αποτελείται από τον συμπίεστή, τον θάλαμο καύσης και τον αεριοστρόβιλο, με τους συμπίεστή και αεριοστρόβιλο να έχουν κοινό άξονα. Ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται ο αέρας. Συγκεκριμένα εδώ η διαδρομή περιλαμβάνει και τους εναλλάκτες 2 και 3.

Ο κύκλος Brayton ξεκινά από τον συμπίεστή, στον οποίο εισέρχεται αέρας, του οποίου η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνονται. Ο υψηλής πίεσης αέρας προχωρά στο θάλαμο καύσης, όπου το καύσιμο (εδώ βιοαέριο) καίγεται σε σταθερή πίεση. Τα απαέρια της καύσης εισέρχονται στον αεριοστρόβιλο και εκτονώνονται στην ατμοσφαιρική πίεση, παράγοντας ισχύ [48].

Με το τέλος του κύκλου Brayton, τα απαέρια που εξέρχονται από τον αεριοστρόβιλο, εισέρχονται διαδοχικά στους εναλλάκτες 2 και 3, για να συνεχιστεί η διεργασία στον κύκλο Rankine (μόνο το ρεύμα από τον εναλλάκτη 2 συνεχίζει στον κύκλο Rankine).

Για το δεύτερο κομμάτι των υπολογισμών (μπλε γραμμή στο διάγραμμα ροής) θα πρέπει να αναφερθεί λαμβάνουμε ως δεδομένα τα εξής:

Το βιοαέριο που εισέρχεται στον αεριοστρόβιλο έχει $m_{\text{βιοαερ. ιον}} = 10,17 \text{ kg/s}$ και $T= 1091\text{K}$
Ο αεριοστρόβιλος του κύκλου λειτουργεί με ελάχιστη θερμοκρασία καυσαερίων στους $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ και έχει απόδοση 85%
Ο συμπίεστής του κύκλου λειτουργεί σε πίεση 10 Atm και έχει απόδοση 80%
Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων στην έξοδο του αεριοστρόβιλου είναι $650^\circ\text{C}$
Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται είναι αερίου-αερίου με $U=35 \text{ W/m}^2\text{C}^*$
Τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον αεριοστρόβιλο προσομοιάζονται με αέρα
Ο αέρας που εισέρχεται στους εναλλάκτες είναι σε κανονικές συνθήκες ( $K\Sigma:T=298,15 \text{ K}$ , $P=1\text{Atm}$ ) και έχει παροχή $80 \text{ kg/s}$



## ΣΤ. Υπολογισμοί στον κύκλο Brayton

Το ισοζύγιο ενέργειας του θαλάμου καύσης είναι:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{αισθητή θερμότητα} & & \text{αισθητή θερμότητα} & & \text{θερμότητα που} & & \text{αισθητή} \\ \text{αερίου} & + & \text{αέρα} & + & \text{παράγεται από την} & = & \text{θερμότητα} \\ \text{αεριοποίησης} & & \text{καύσης} & & \text{καύση του αερίου} & & \text{απαερίων} \end{array} \quad (21)$$

Η ειδική αισθητή θερμότητα του αέρα καύσης υπολογίζεται από τα δεδομένα του αεριοστρόβιλου.

$$\text{Κατάσταση 1: } T_1 = 298,15 \text{ K} \Rightarrow h_1 = 298,3 \text{ kJ/kg}, Pr_1 = 1,36$$

$$\text{Κατάσταση 2: } Pr_2 = 10 \cdot 1,36 = 13,6 \Rightarrow h_2 = 576,4 \text{ kJ/kg}$$

Οπότε το ιδανικό ειδικό έργο που καταναλώνεται στο συμπιεστή, είναι:

$$w_{c,ideal} = h_2 - h_1 = 576,0 \text{ kJ/kg} - 298,2 \text{ kJ/kg} = 278,1 \text{ kJ/kg} \quad (22)$$

ενώ λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση του συμπιεστή:

$$w_c = w_{c,ideal} / 0,80 = 347,6 \text{ kJ/kg} \quad (23)$$

Η μη ιδανική λειτουργία του συμπιεστή (απόδοση 80 %) αυξάνει τη θερμοκρασία και την ειδική ενθαλπία στην Κατάσταση 2:

$$w_c = h_{2,real} - h_1 \Rightarrow h_{2,real} = 298,3 + 347,6 = 645,9 \text{ kJ/kg}$$

Έχοντας θεωρήσει ως θερμοκρασία αναφοράς τους 25 °C (298,15 K) για τον υπολογισμό της αισθητής θερμότητας του αερίου αεριοποίησης, η ειδική (ανά μονάδα μάζας) αισθητή θερμότητα του αέρα καύσης είναι:

$$\begin{array}{ccc} \text{ειδική αισθητή} & \text{ειδική ενθαλπία} & \text{ειδική ενθαλπία} \\ \text{θερμότητα} & = & \text{του αέρα που} \\ \text{αέρα καύσης} & & \text{εισέρχεται στον} \\ & & \text{καυστήρα} \end{array} - \text{ του αέρα στους } 25 \text{ }^\circ\text{C} = 645,9 - 298,3 = 347,6 \text{ kJ/kg}$$

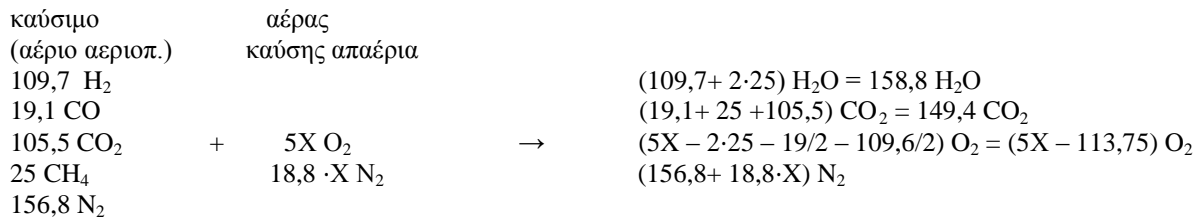
Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω τιμή είναι ανά kg αέρα καύσης στον αεριοστρόβιλο και όχι ανά kg βιομάζας που τροφοδοτείται στον αεριοποιητή. Έτσι, αν ανά kg βιομάζας στον αεριοποιητή τροφοδοτούνται X mol O<sub>2</sub> και 79/21·X = 3,76·X mol N<sub>2</sub> δηλαδή 4,76·X mol αέρα ή 4,76·X·0,029 kg αέρα (όπου 0,029 kg = 29 gr το μοριακό βάρος του αέρα, οπότε 0,79·28 + 0,21·32 = 29 gr/mol), τότε η αισθητή θερμότητα του αέρα καύσης είναι:

$$\text{αισθητή θερμότητα αέρα καύσης} = (4,76 \cdot X \cdot 0,029) \cdot 347,6 = 47,75 \cdot X \text{ kJ/kg βιομάζας}$$

όμως η παροχή είναι 5 kg/s οπότε η αισθητή θερμότητα αέρα καύσης είναι:

$$5 \cdot 47,75 \cdot X = 238,8 \cdot X \text{ kJ}$$

Η αισθητή θερμότητα του αερίου αεριοποίησης είναι  $10217,4 + 2620,9 = 12838,3$  kJ  
 Έστω ότι η καύση πραγματοποιείται με την παροχή  $X$  mol  $O_2$  και  $79/21 \cdot X = 3,76 \cdot X$  mol  $N_2$ ,  
 έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η απαραίτητη περίσσεια αέρα, προκειμένου ο αεριοστρόβιλος να  
 λειτουργεί στους  $1553,3$  °C. Έτσι η αντίδραση που συμβαίνει στον θάλαμο καύσης είναι:



και η θερμότητα που παράγεται από την καύση του αερίου είναι 51693 kJ.

Οπότε, η αισθητή θερμότητα που περιέχεται στα απαέρια, ανά 5 kg τροφοδοτούμενης βιομάζας είναι:

$$12838,3 + 51693 + 238,8 \cdot X =$$

$$149,4 \cdot [0,043 \cdot (T - 298,15)] + [(156,8 + 18,8 \cdot X) \cdot 0,027 \cdot (T - 298,15)] +$$

$$+ (5X - 113,75) \cdot [0,035 \cdot (T - 298,15)] + 158,8 \cdot [0,034 \cdot (T - 298,15)]$$

και θεωρώντας έχοντας καυσαέρια που εξέρχονται από τον εναλλάκτη 1 σε θερμοκρασία  $1553,3$  °C:

$$X = 60,82 \text{ mol}$$

Έτσι, η συνολική ποσότητα των απαερίων που τροφοδοτούνται στον στρόβιλο του κύκλου Brayton, είναι:

$$158,8 \text{ mol } H_2O$$

$$149,4 \text{ mol } CO_2$$

$$190,35 \text{ mol } O_2$$

$$1300,4 \text{ mol } N_2$$

ή 1800 mol συνολικά τα οποία προσομοιάζονται με 1800 mol αέρα  
 ή  $1800/29 = 62,35$  kg αέρα

Έτσι, η συνολική ποσότητα των απαερίων που τροφοδοτούνται στον στρόβιλο του κύκλου Brayton, είναι:

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται στο στρόβιλο υπολογίζεται ως εξής:

Κατάσταση 1:  $T_1 = 298,15$  K  
 $H_1 = 298,3$  kJ/kg ·  $62,35$  kg =  $18602,2$  kJ  
 $Pr_1 = 1,36$

Κατάσταση 2:  $Pr_2 = 10 \cdot 1,36 = 13,6$   
 $H_2 = 576,4$  kJ/kg ·  $62,35$  kg =  $35940$  kJ

Κατάσταση 3:  $T_3 = 1773,15 \text{ K}$

$$H_3 = 1.858,2 \text{ kJ/kg} \cdot 62,35 \text{ kg} = 122847 \text{ kJ}$$

$$Pr_3 = 1230$$

Κατάσταση 4:  $Pr_4 = (1/10) \cdot 1230 = 123$

$$H_4 = 1093,6 \text{ kJ/kg} \cdot 62,35 \text{ kg} = 73209,3 \text{ kJ}$$

Οπότε το ιδανικό έργο που καταναλώνεται στο συμπιεστή και παράγεται στο στρόβιλο, είναι:

$$W_{c,ideal} = H_2 - H_1 = 17337,6 \text{ kJ και (24)}$$

$$W_{t,ideal} = H_3 - H_4 = 49638 \text{ kJ (25)}$$

ενώ λαμβάνοντας υπόψη τις αποδόσεις του συμπιεστή και του στρόβιλου:

$$W_c = W_{c,ideal} / 0,80 = 21672 \text{ kJ και (26)}$$

$$W_t = 0,85 \cdot W_{t,ideal} = 42192,4 \text{ kJ (27)}$$

Η μη ιδανική λειτουργία του στρόβιλου (απόδοση 85 %) αυξάνει τη θερμοκρασία (και την ενθαλπία) εξόδου των απαερίων (Κατάσταση 4):

$$W_t = H_3 - H_{4,real} \leftrightarrow H_{4,real} = 80655 \text{ kJ}$$

Το ενθαλπικό (θερμικό) περιεχόμενο του αέρα που εξέρχεται από τον εναλλάκτη είναι:

$$H_5 = 964,7 \text{ kJ/kg} \cdot 62,35 \text{ kg} = 59793 \text{ kJ}$$

όπου 964,7 kJ/kg η ειδική ενθαλπία του αέρα στους 650 °C. Οπότε:

$$Q_{comb,ideal} = H_{4,real} - H_5 = 20862 \text{ kJ}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η απόδοση του εναλλάκτη 2 είναι 60% τότε:

$$Q_{comb,real} = 12517,3 = H_{4,real} - H_{5,real} \rightarrow H_{5,real} = 68138 \text{ kJ}$$

Έτσι, ανά 1 sec έχουμε:

$$\text{ηλεκτρική παραγωγή: } P_{el} = W_{t,real} - W_{c,real} = 20,5 \text{ MW (28)}$$

$$\text{η θερμική παραγωγή είναι: } P_{th} = Q_{cogen1} = 26 \text{ MW (29)}$$

$$\text{η ηλεκτρική απόδοση της συνδυασμένης διεργασίας είναι: } \eta_{el} = P_{el} / K\Theta\Delta_{βιομάζας} \approx 32,9\% (30)$$

$$\text{η θερμική απόδοση της συνδυασμένης διεργασίας είναι: } \eta_{th} = P_{th} / K\Theta\Delta_{βιομάζας} \approx 41,9\% (31)$$

και η απόδοση συμπαραγωγής της συνδυασμένης διεργασίας είναι:

$$\eta_{cogeneration} = \eta_{el} + \eta_{th} = 74,8\% (32)$$

## Z. Υπολογισμοί στον εναλλάκτη 2

Στον εναλλάκτη 2 εισέρχονται τα καυσαέρια από τον αεριοστρόβιλο με  $m_{\text{καυσαερίων}} = 62,35 \text{ kg/s}$  και  $T = 923 \text{ K}$  και αέρας σε ΚΣ με  $m_{\text{αέρα}} = 80 \text{ kg/s}$ , με σκοπό να μεταδοθεί η θερμότητα των καυσαερίων στον αέρα.

Η απαγόμενη από τα καυσαέρια θερμότητα είναι:  $0,6 \cdot 20862 = 12517,3 \text{ KJ}$

Για να υπολογίσουμε τις θερμοκρασίες εξόδου των εισερχόμενων ρευμάτων χρησιμοποιούμε τις παρακάτω:

$$\dot{Q} = m_{\text{αέρα}} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow 12517,3 = 80 \cdot 0,72 \cdot (T_{c,out1} - 298,15) \rightarrow T_{c,out1} = 516 \text{ K ή } 243^\circ\text{C}$$

$$\text{με } \Delta T = T_{c,out1} - T_{c,in1}$$

$$T_{h,out1} = 923,15 \text{ K ή } 650^\circ\text{C}$$

Για την επιφάνεια εναλλαγής χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T_{lm}}$$

$$\text{με } \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = 566,3 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Delta T_1 = T_{h,in1} - T_{c,out1} = 511,3^\circ\text{C} \text{ και } \Delta T_2 = T_{h,out1} - T_{c,in1} = 566^\circ\text{C}$$

$$\text{άρα: } A = 631,6 \text{ m}^2$$

## H. Υπολογισμοί στον εναλλάκτη 3

Στον εναλλάκτη 3 εισέρχονται τα καυσαέρια από τον εναλλάκτη 2 με  $m_{\text{καυσαερίων}} = 62,35 \text{ kg/s}$  και  $T = 650 \text{ }^\circ\text{C}$  και αέρας σε ΚΣ με  $m_{\text{αέρα}} = 80 \text{ kg/s}$ , με σκοπό να μεταδοθεί η θερμότητα των καυσαερίων στον αέρα.

Η απαγόμενη από τα καυσαέρια θερμότητα είναι:  $0,6 \cdot 43566,6 = 26140 \text{ KJ}$

Για να υπολογίσουμε τις θερμοκρασίες εξόδου των εισερχόμενων ρευμάτων χρησιμοποιούμε τις παρακάτω:

$$\dot{Q} = m_{\text{αέρα}} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow 26140 = 80 \cdot 0,72 \cdot (T_{c,out1} - 298,15) \rightarrow T_{c,out1} = 753,3 \text{ K ή } 480 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{με } \Delta T = T_{c,out1} - T_{c,in1}$$

$$T_{h,out1} = 393 \text{ K ή } 120^\circ\text{C}$$

Για την επιφάνεια εναλλαγής χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση:

$$A = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T_{lm}}$$

$$\text{με } \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = 128,8 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta T_1 = T_{h,in1} - T_{c,out1} = 170^\circ\text{C} \text{ και } \Delta T_2 = T_{h,out1} - T_{c,in1} = 95^\circ\text{C}$$

$$\text{άρα: } A = 5797 \text{ m}^2$$

Παρακάτω δίνεται αναλυτικά η περιγραφή, ο σκοπός χρήσης και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των συσκευών, καθώς επίσης αναλύονται και τα ρεύματα στην είσοδο και την έξοδο καθεμίας από τις παραπάνω συσκευές.

## Συμπιεστής

Περιγραφή: Ο συμπιεστής είναι διάταξη που χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης του ρευστού (αέριο). Το έργο παρέχεται στις συσκευές αυτού του είδους από εξωτερικές πηγές, γι' αυτό και το έργο των συμπιεστών λαμβάνει αρνητικές τιμές [49]. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το αέριο ρευστό που εισέρχεται στον συμπιεστή είναι αέρας σε κανονικές συνθήκες (ΚΣ:  $T=298,15 \text{ K}$ ,  $P=1 \text{ Atm}$ ) του οποίου η πίεση στην έξοδο δεκαπλασιάζεται.

Η απόδοση του χρησιμοποιούμενου συμπιεστή είναι 80%. Το ρεύμα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος συμπιεστή:
  - ✓ αέρας σε ΚΣ ((ΚΣ:  $T=298,15 \text{ K}$ ,  $P=1 \text{ Atm}$ )  
(κατάσταση 1:  $T_1= 298,15 \text{ K}$ ,  $H_1= 18602 \text{ KJ}$  και  $P_{r1}= 1,36$ ) [50]
  
- έξοδος συμπιεστή κύκλου Brayton:
  - ✓ συμπιεσμένος αέρας  
(κατάσταση 2:  $H_2= 35940 \text{ KJ}$  και  $P_{r2}= 13,6$ )
  - ✓  $W_C= -21672 \text{ KW}$

## Θάλαμος καύσης

Περιγραφή: Ο θάλαμος καύσης είναι η συσκευή μέσα στην οποία πραγματοποιείται η καύση του βιοαερίου (που εξέρχεται από τον εναλλάκτη 1) με τον συμπιεσμένο αέρα που προέρχεται από τον συμπιεστή. Στον θάλαμο καύσης εισέρχονται το βιοαέριο και ο συμπιεσμένος αέρας και εξέρχονται τα καυσαέρια της καύσης. Η καύση θεωρείται πλήρης και τα παραγόμενα καυσαέρια κινούνται προς τον αεριοστρόβιλο.

Η σύσταση των καυσαερίων θεωρείται ταυτόσημη με του αέρα, λόγω της μεγάλης περισσειας αέρα κατά την καύση. Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος θαλάμου καύσης:
  - ✓ συμπιεσμένος αέρας  
(κατάσταση 2:  $H_2 = 35940 \text{ KJ}$  και  $Pr_2 = 13,6$ )
  - ✓ ανάθερμο βιοαέριο ( $m_{\beta\text{ιο}\alpha\epsilon\rho\ \dot{\iota}\omega\nu} = 10,17 \text{ kg/s}$  και  $T = 1450 \text{ K}$ )
- έξοδος θαλάμου καύσης:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσα}\epsilon\rho\ \dot{\iota}\omega\nu} = 62,35 \text{ kg/s}$ , κατάσταση 3:  $T_3 = 1773,15 \text{ K}$ ,  $H_3 = 122847 \text{ KJ}$  και  $Pr_3 = 1230$ ) [50]

## Αεριοστρόβιλος

Περιγραφή: Ο αεριοστρόβιλος είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας στον κύκλο Brayton. Το έργο του, αφού είναι παραγόμενο, λαμβάνει θετικό πρόσημο. Το εισερχόμενο ρεύμα στον αεριοστρόβιλο είναι τα καυσαέρια του θαλάμου καύσης, τα οποία εκτονώνονται σε ατμοσφαιρική πίεση και παράγεται έργο κατά την έξοδο τους. Το ρεύμα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος αεριοστροβίλου κύκλου Brayton:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσα}\epsilon\rho\ \dot{\iota}\omega\nu} = 62,35 \text{ kg/s}$ , κατάσταση 3:  $T_3 = 1773,15 \text{ K}$ ,  $H_3 = 122847 \text{ KJ}$  και  $Pr_3 = 1230$ )
- έξοδος αεριοστροβίλου κύκλου Brayton:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσα}\epsilon\rho\ \dot{\iota}\omega\nu} = 62,35 \text{ kg/s}$ , κατάσταση 4:  $T_4 = 1027 \text{ K}$ ,  $H_{4,\text{real}} = 80655 \text{ KJ}$  και  $Pr_4 = 123$ ) [50]
  - ✓  $W_t = 42192 \text{ KW}$

## Εναλλάκτης 2

Περιγραφή: Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες χωρίς να επιτρέπει την ανάμιξή τους [46]. Στο συγκεκριμένο στάδιο τα ρευστά ανάμεσα στα οποία εναλλάσσεται θερμότητα είναι δύο αέρια: τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον αεριοστρόβιλο και αέρας σε κανονικές συνθήκες (ΚΣ:  $T=298,15\text{ K}$ ,  $P=1\text{ Atm}$ ) Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τον εναλλάκτη 2 είναι:

- είσοδος εναλλάκτη 2:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσαερών}} = 62,35\text{ kg/s}$ , κατάσταση 4:  $T_4 = 1027\text{ K}$ ,  $H_{4,\text{real}} = 80655\text{ KJ}$   
και  $Pr_4 = 123$ )
  - ✓ αέρας ( $m_{\text{αέρα}} = 80\text{ kg/s}$ , σε ΚΣ:  $T=298,15\text{ K}$ ,  $P=1\text{ Atm}$ )
- έξοδος εναλλάκτη 2:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσαερών}} = 62,35\text{ kg/s}$ , κατάσταση 5:  $T_5 = 923,15\text{ K}$ ,  $H_{5,\text{real}} = 68138\text{ KJ}$ )
  - ✓ ανάθερμος αέρας ( $m_{\text{αέρα}} = 80\text{ kg/s}$ ,  $T = 516\text{ K}$ ) [50]

## Εναλλάκτης 3

Περιγραφή: Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι διάταξη που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες χωρίς να επιτρέπει την ανάμιξή τους [46]. Στο συγκεκριμένο στάδιο τα ρευστά ανάμεσα στα οποία εναλλάσσεται θερμότητα είναι δύο αέρια: τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον εναλλάκτη 2 και αέρας σε κανονικές συνθήκες (ΚΣ:  $T=298,15\text{ K}$ ,  $P=1\text{ Atm}$ ). Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τον εναλλάκτη 3 είναι:

- είσοδος εναλλάκτη 3:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσαερών}} = 62,35\text{ kg/s}$ , κατάσταση 5:  $T_5 = 923,15\text{ K}$ ,  $H_{5,\text{real}} = 68138\text{ KJ}$ ) [50]
  - ✓ αέρας ( $m_{\text{αέρα}} = 80\text{ kg/s}$ , σε ΚΣ:  $T=298,15\text{ K}$ ,  $P=1\text{ Atm}$ )
- έξοδος εναλλάκτη 3:
  - ✓ καυσαέρια  
( $m_{\text{καυσαερών}} = 62,35\text{ kg/s}$ , κατάσταση 6:  $T = 393,15\text{ K}$ ,  $H_{6,\text{real}} = 41500\text{ KJ}$ ) [50]
  - ✓ ανάθερμος αέρας ( $m_{\text{αέρα}} = 80\text{ kg/s}$ ,  $T = 753,3\text{ K}$ )

### Τρίτο στάδιο (πράσινη διαδρομή, κύκλος Rankine) :

Η πράσινη διαδρομή του διαγράμματος ροής της εγκατάστασης αποτελεί τον κύκλο Rankine, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παραγωγή ισχύος από ατμοστρόβιλους.

Ο κύκλος Rankine αποτελείται από την αντλία, τον λέβητα, τον ατμοστρόβιλο, και τον συμπυκνωτή. Ως εργαζόμενο μέσο χρησιμοποιείται ο ατμός/νερό.

Ο κύκλος Rankine ξεκινά από την αντλία, στην οποία εισέρχεται κορεσμένο νερό, και συμπιέζεται στην πίεση λειτουργίας του λέβητα. Θεωρούμε το νερό πρακτικά ασυμπίεστο ρευστό (ο ειδικός όγκος του παραμένει σταθερός ) και με αυτή τη μορφή εισέρχεται στο λέβητα. Στο λέβητα, το νερό συναντά τα καυσαέρια που έχουν εξέλθει από τον εναλλάκτη 2. Το νερό εξέρχεται ως υπέρθερμος ατμός , ο οποίος με τη σειρά του εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο, μέσα στον οποίο εκτονώνεται ισεντροπικά και παράγει έργο.

Κατά τη διεργασία αυτή η πίεση και η θερμοκρασία μειώνονται και οι υδρατμοί εισέρχονται στη συνέχεια στο συμπυκνωτή. Στην κατάσταση αυτή οι υδρατμοί είναι συνήθως ένα μίγμα κορεσμένου υγρού-ατμού με υψηλή ποιότητα. Ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε σταθερή πίεση στο συμπυκνωτή και εξέρχεται με τη μορφή κορεσμένου υγρού και εισέρχεται στην αντλία, ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο.[51]

Για το τρίτο κομμάτι των υπολογισμών (πράσινη γραμμή στο διάγραμμα ροής) θα πρέπει να αναφερθεί λαμβάνουμε ως δεδομένα τα εξής:

Ο αέρας που εξέρχεται από τον εναλλάκτη 3 και εισέρχεται στον ατμοστρόβιλο έχει $m_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\alpha} = 80 \text{ kg/s}$ , $T = 753,3 \text{ K}$ και μεταφέρει θερμότητα 26140 KJ
Ο ατμοστρόβιλος του κύκλου λειτουργεί με υπέρθερμο ατμό στους $600^\circ\text{C}$ και πίεση 30 MPa και έχει απόδοση 85%
Η αντλία έχει απόδοση 85%
Η απόρριψη θερμότητας για συμπαραγωγή από τον συμπυκνωτή γίνεται στους $80^\circ\text{C}$
Το νερό που εισέρχεται στην αντλία είναι κορεσμένο

### Θ. Υπολογισμοί στον κύκλο Rankine

Στην περίπτωση αυτή, η θερμοκρασία εξόδου των απαερίων του αεριοστρόβιλου από τον εναλλάκτη 2 θα πρέπει να είναι  $50^\circ\text{C}$  υψηλότερη από τη θερμοκρασία του υδρατμού στην έξοδο του λέβητα, δηλαδή  $650^\circ\text{C}$  (γι'αυτό και το θεωρήσαμε ως δεδομένο στους υπολογισμούς του κύκλου Brayton).

Η θερμότητα που αποδίδεται στον κύκλο Rankine χρησιμοποιείται για να παράγει υπέρθερμο ατμό σε  $T_9 = 600^\circ\text{C}$  και  $P_9 = 30 \text{ MPa}$ , από συμπιεσμένο νερό σε  $P_8 = 30 \text{ MPa}$ . Δεν είναι όμως γνωστή η θερμοκρασία της Κατάστασης 8 και υπολογίζεται ως εξής:

Αφού η απόρριψη θερμότητας για συμπαραγωγή γίνεται στους  $80^\circ\text{C}$  η θερμοκρασία του συμπυκνωτή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον  $15^\circ\text{C}$  υψηλότερη, προκειμένου η μεταφορά θερμότητας να διευκολύνεται και να συμβαίνει με πρακτικά αξιοποιήσιμο ρυθμό.

Η ειδική ενθαλπία του κορεσμένου νερού στην Κατάσταση 7 ( $T_7 = 80 + 15 = 95^\circ\text{C}$  και  $P_7 = 84,55 \text{ kPa}$ ) είναι  $397,96 \text{ kJ/kg}$ .



Θεωρώντας το νερό πρακτικά ασυμπίεστο (ο ειδικός του όγκος δεν μεταβάλλεται από την Κατάσταση 7 στην Κατάσταση 8 και παραμένει σταθερός και ίσος με τον ειδικό όγκο στην Κατάσταση 7 ,δηλαδή  $v_7=0,001040 \text{ m}^3/\text{kg}$ ), το ειδικό έργο που καταναλώνει η αντλία είναι:

$$w_{in} = w_p = (v_7 \cdot \Delta P) / 0,85 = 0,001040 \cdot (30.000 - 84,55) / 0,85 = 36,60 \text{ kJ/kg} \quad (33)$$

Με βάση την παραπάνω τιμή του πραγματικού ειδικού έργου, η πραγματική ειδική ενθαλπία στην Κατάσταση 8 είναι:

$$h_{8,real} = h_7 + w_{in} = 397,96 + 36,60 = 434,56 \text{ kJ/kg νερού}$$

Οπότε, η μαζική παροχή νερού/ατμού μέσω του λέβητα (και όλου του κύκλου Rankine) είναι:

$$\dot{M}_{H_2O} = \frac{Q_{comb,real}}{h_9 - h_{8,real}} = \frac{12517,3}{3443,9 - 434,56} = 4,16 \text{ kg/s} \quad (34)$$

Η ειδική ενθαλπία του υπέρθερμου ατμού στην κατάσταση 9 είναι 3443,9 KJ/kg και η ειδική εντροπία 6,2331 kJ/kgK. Θεωρώντας ότι ο στρόβιλος λειτουργεί ιδανικά (ισεντροπικά) η ειδική εντροπία του κορεσμένου μίγματος ατμού/νερού στην κατάσταση 10 (95 °C) θα πρέπει να είναι επίσης 6,2331 kJ/kgK. Η ειδική εντροπία του κορεσμένου ατμού και του κορεσμένου υγρού στη θερμοκρασία αυτή είναι αντίστοιχα 7,4159 kJ/kgK και 1,25 kJ/kgK. Οπότε η ποιότητα (το κλάσμα ατμού) του κορεσμένου μίγματος στην έξοδο του στροβίλου και στην περίπτωση της ιδανικής λειτουργίας του είναι:

$$X = (6,2331 - 1,25) / (7,4159 - 1,25) = 0,81$$

και η ειδική του ενθαλπία:

$$h_{10} = 0,81 \cdot 2.668,1 + 0,19 \cdot 397,96 = 2.232,62 \text{ kJ/kg}$$

όπου 2.668,1 kJ/kgK η ειδική ενθαλπία του κορεσμένου ατμού στην Κατάσταση 10.

Το ηλεκτρικό έργο που αποδίδει ο στρόβιλος του κύκλου Rankine είναι:

$$W_{out} = W_t = 0,85 \cdot \dot{M}_{H_2O} \cdot (h_9 - h_{10}) = 0,85 \cdot 3,16 \cdot (3.443,9 - 2.232,62) = 4282,5 \text{ KW}$$

και το έργο που καταναλώνει η αντλία:

$$W_{in} = W_p = 4,16 \cdot 36,60 = 152,3 \text{ KW}$$

Οπότε η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τον ατμοστρόβιλο είναι:

$$W_{el} = 4130,3 \text{ kWe} = 4,1 \text{ MWe}$$

Η πραγματική ενθαλπία του ρεύματος εξόδου από τον στρόβιλο είναι:

$$H_{10,real} = H_9 - W_{out} = 10194,5 \text{ kJ}$$

ενώ η παραγωγή θερμότητας από τον συμπυκνωτή, είναι:

$$Q_{\text{cogen2}} = H_{10,\text{real}} - H_7 = 8539,2 \text{ KW}$$

η ηλεκτρική παραγωγή είναι :  $P_{\text{el}} = 4130,3 \text{ KW}$

η θερμική παραγωγή είναι :  $P_{\text{th}} = 8539,2 \text{ KW}$

η ηλεκτρική απόδοση είναι:  $\eta_{\text{el,comb}} = P_{\text{el}} / K\Theta\Delta_{\text{βιομάζας}} \approx 6,6\%$

η θερμική απόδοση είναι:  $\eta_{\text{th}} = P_{\text{th}} / K\Theta\Delta_{\text{βιομάζας}} \approx 13,7\%$

η συνολική απόδοση είναι:  $\eta_{\text{cogeneration}} = \eta_{\text{el}} + \eta_{\text{th}} \approx 20,3\%$

Έτσι, στον συνδυασμένο κύκλο αέριο-ατμο-στροβίλου:

η ηλεκτρική παραγωγή είναι:  $P_{\text{el,comb}} = 24,8 \text{ MW}$

η θερμική παραγωγή είναι:  $P_{\text{th,comb}} = 34,7 \text{ MW}$

η ηλεκτρική απόδοση της συνδυασμένης διεργασίας είναι:

$$\eta_{\text{el,comb}} = P_{\text{el,comb}} / K\Theta\Delta_{\text{βιομάζας}} \approx 39,8 \%$$

η θερμική απόδοση της συνδυασμένης διεργασίας είναι:

$$\eta_{\text{th,comb}} = P_{\text{th,comb}} / K\Theta\Delta_{\text{βιομάζας}} \approx 55,6\%$$

και η απόδοση συμπαραγωγής της συνδυασμένης διεργασίας είναι:

$$\eta_{\text{cogeneration,comb}} = \eta_{\text{el,comb}} + \eta_{\text{th,comb}} \approx 95,4\%$$

Παρακάτω δίνεται αναλυτικά η περιγραφή, ο σκοπός χρήσης και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των συσκευών, καθώς επίσης αναλύονται και τα ρεύματα στην είσοδο και την έξοδο καθεμίας από τις παραπάνω συσκευές.

## **Αντλία**

Περιγραφή: Η αντλία είναι διάταξη που χρησιμοποιείται για την αύξηση της πίεσης του ρευστού (σε υγρή μορφή) [49]. Το έργο παρέχεται στις συσκευές αυτού του είδους από εξωτερικές πηγές, γι' αυτό και το έργο των αντλιών λαμβάνει αρνητικές τιμές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το ρευστό που εισέρχεται στην αντλία είναι κορεσμένο νερό, του οποίου η πίεση στην έξοδο αυξάνεται. Η απόδοση της χρησιμοποιούμενης αντλίας είναι 85%. Το ρεύμα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος αντλίας:
  - ✓ κορεσμένο νερό  
(με μαζική παροχή νερού/ατμού  $m_{H_2O} \approx 4,16 \text{ kg/s}$  για όλο τον κύκλο κατάσταση 7:  $T_7=95 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_7=84,55 \text{ kPa}$ ,  $h_{f7}=397,96 \text{ KJ/kg}$  και  $u_{f7}=0,00104 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) [52]
- έξοδος αντλίας:
  - ✓ κορεσμένο νερό  
(κατάσταση 8:  $P_8=30000 \text{ kPa}$  και  $u_8=0,00104 \text{ m}^3/\text{kg}$ , θεωρείται πρακτικά ασυμπίεστο) [52]

## Λέβητας

Περιγραφή: Ο λέβητας ουσιαστικά είναι ένας μεγάλος εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο, η θερμότητα που προέρχεται από τον εναλλάκτη 2 (πηγή είναι ο κύκλος Brayton) μεταδίδεται στο νερό υπό σταθερή πίεση [49]. Έτσι στην είσοδο του συναντάμε το κορεσμένο νερό που προέρχεται από την αντλία και το ρεύμα αέρα από τον εναλλάκτη 2, ενώ στην έξοδο το νερό έχει πλέον την μορφή υπέρθερμου ατμού. Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος λέβητα:
  - ✓ αέρας από τον εναλλάκτη 2 ( $m_{αέρα} = 80 \text{ kg/s}$ ,  $T=753,3\text{K}$ ) που μεταφέρει θερμότητα  $Q_{comb}= 9975 \text{ KJ}$
  - ✓ κορεσμένο νερό  
(κατάσταση 8:  $P_8=30000 \text{ kPa}$  και  $u_8=0,00104 \text{ m}^3/\text{kg}$ , θεωρείται πρακτικά ασυμπίεστο)
- έξοδος λέβητα:
  - ✓ υπέρθερμος ατμός  
(κατάσταση 9:  $T=600 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_9=30000 \text{ kPa}$ ,  $h_9=3443,9 \text{ KJ/kg}$  και  $s_9 = 6,23 \text{ KJ/kgK}$ ) [53]

## Ατμοστρόβιλος

Περιγραφή: Ο ατμοστρόβιλος είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας στον κύκλο Rankine. Το έργο του, αφού είναι παραγόμενο, λαμβάνει θετικό πρόσημο. Το εισερχόμενο ρεύμα στον ατμοστρόβιλο είναι ο υπέρθερμος ατμός από τον λέβητα, το οποίο εκτονώνεται ισεντροπικά μέσα στο στρόβιλο και παράγεται το έργο. Οι υδρατμοί στο ρεύμα εξόδου είναι συνήθως ένα μίγμα κορεσμένου υγρού-ατμού με υψηλή ποιότητα. Το ρεύμα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

- είσοδος ατμοστροβίλου Rankine:
  - ✓ υπέρθερμος ατμός  
(κατάσταση 9:  $T=600\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_9=30000\text{ kPa}$ ,  $h_9=3443,9\text{ KJ/kg}$   
και  $s_9 =6,23\text{ KJ/kgK}$ )
- έξοδος ατμοστροβίλου Rankine:
  - ✓ κορεσμένο μίγμα νερού/ατμού (κλάσμα ατμού 0,808171)  
(κατάσταση 10:  $T_{10}=95\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $H_{10,\text{real}}=10194,5\text{ KJ}$  και  $s_{10}=6,23\text{ KJ/kgK}$ ) [52]

## Συμπυκνωτής

Περιγραφή: Ο συμπυκνωτής ουσιαστικά είναι ένας μεγάλος εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος συμπυκνώνει σε σταθερή πίεση το μίγμα κορεσμένου υγρού-ατμού, απορρίπτοντας τη θερμότητα σε κάποιο ψυκτικό μέσο, όπως π.χ. σε μια λίμνη, σε ένα ποτάμι ή στην ατμόσφαιρα. Ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε σταθερή πίεση στο συμπυκνωτή. Ο υδρατμός αφήνει το συμπυκνωτή με τη μορφή κορεσμένου υγρού και εισέρχεται στην αντλία, ολοκληρώνοντας έτσι τον κύκλο. Το εισερχόμενο ρεύμα λοιπόν στον συμπυκνωτή είναι το μίγμα κορεσμένου υγρού-ατμού και το εξερχόμενο έχει τη μορφή κορεσμένου νερού [51]. Το ρεύματα εισόδου και εξόδου προς και από τη συσκευή είναι:

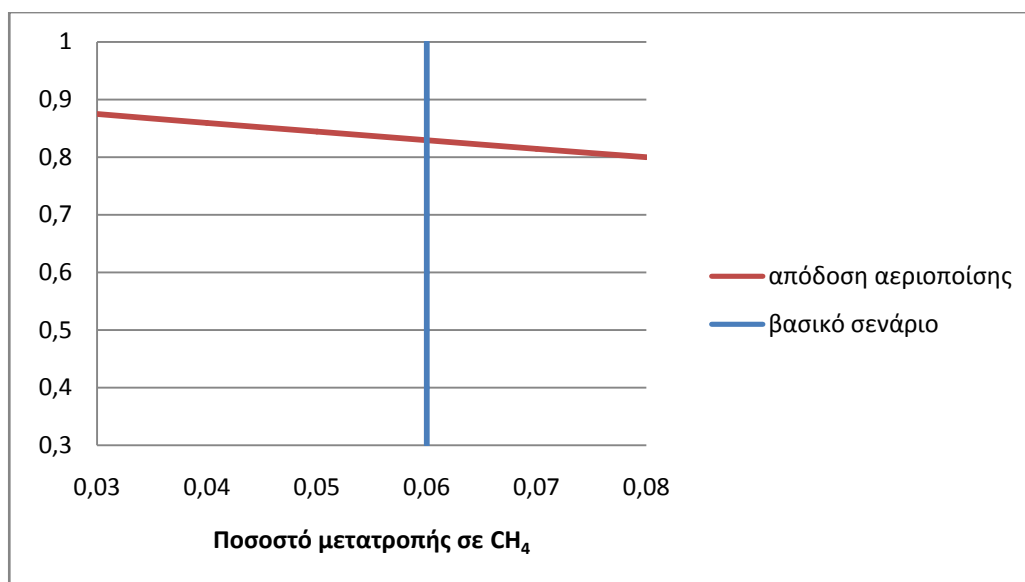
- είσοδος συμπυκνωτή:
  - ✓ κορεσμένο μίγμα νερού/ατμού (κλάσμα ατμού  $\sim 0,81$ )  
(κατάσταση 10:  $T_{10}=95\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $H_{10,\text{real}}=10194,5\text{ KJ}$  και  $s_{10}=6,23\text{ KJ/kgK}$ ) [52]
- έξοδος συμπυκνωτή:
  - ✓ κορεσμένο νερό  
(με μαζική παροχή νερού/ατμού  $\dot{m}_{H_2O} \approx 4,16\text{ kg/s}$ , κατάσταση 7:  $T_7=95\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $P_7=84,55\text{ kPa}$ ,  $h_{f7}=397,96\text{ KJ/kg}$  και  $u_{f7}=0,00104\text{ m}^3/\text{kg}$ )

\* Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας που προκύπτει και για τους τρεις εναλλάκτες είναι αρκετά μεγάλη. Αυτό προκύπτει λόγω της χρήσης εναλλακτών αερίου-αερίου (χαμηλή τιμή ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας  $U= 10-40 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται είναι συμπαγείς και η μεγάλη επιφάνειά τους προκύπτει προσαρμόζοντας λεπτές πλάκες ή κυματοειδή πτερύγια σε πυκνή διάταξη στα τοιχώματα που χωρίζουν τα δύο ρευστά. Οι συμπαγείς εναλλάκτες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εναλλαγή θερμότητας αερίου-αερίου ώστε να εξουδετερώνεται ο μικρός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που σχετίζεται με τη ροή αερίου αυξημένης επιφάνειας.

Συγκεκριμένα, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τη χρήση εναλλακτών θερμότητας δέσμης σωλήνων με διαφράγματα, που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι σε βιομηχανικές εφαρμογές. Οι εναλλάκτες δέσμης σωλήνων με διαφράγματα περιέχουν μεγάλο αριθμό σωλήνων (μερικές φορές αρκετές εκατοντάδες) τοποθετημένους μέσα σε ένα κέλυφος με τους άξονες τους παράλληλους με τον άξονα του κελύφους. Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται καθώς το ένα ρευστό εισέρχεται στους σωλήνες ενώ το άλλο ρευστό ρέει στο εξωτερικό τους, διαμέσου του διαφράγματος.

Οι ανακλαστήρες (διαφράγματα) ροής τοποθετούνται συνήθως μέσα στο κέλυφος για να ωθούν το ρευστό που βρίσκεται στην πλευρά του κελύφους να ρέει εγκάρσια του κελύφους ώστε να ενισχύεται η μεταφορά θερμότητας και να διατηρείται ομοιόμορφη απόσταση μεταξύ των σωλήνων [46].

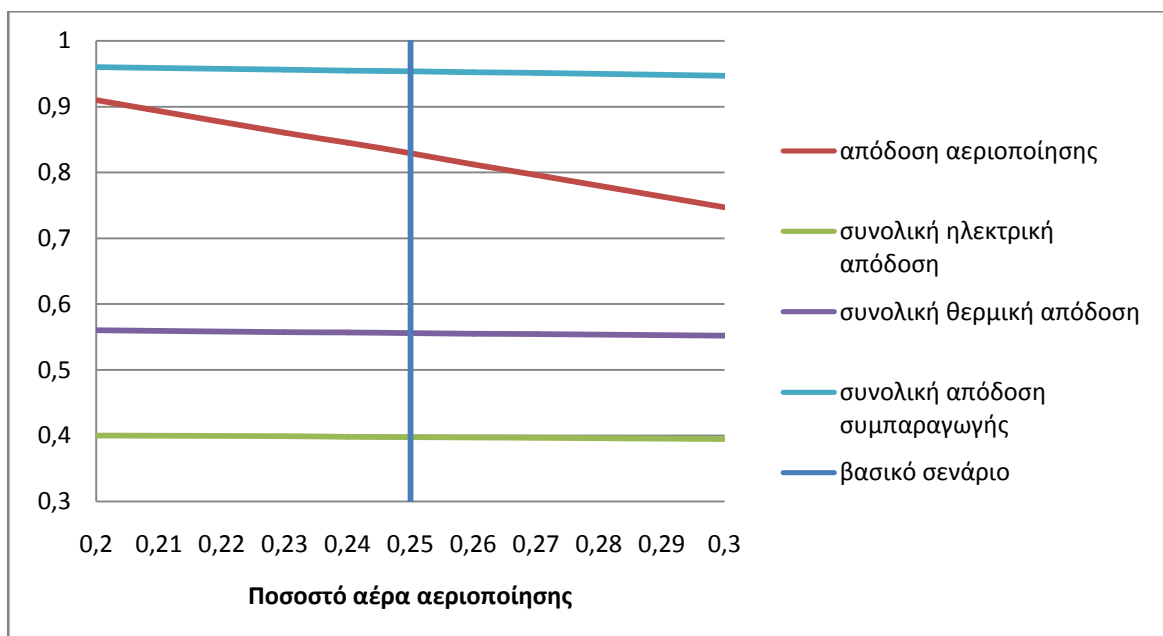
Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια γραφήματα που αναφέρονται στην επίδραση της μεταβολής ορισμένων θερμοδυναμικών παραμέτρων στην απόδοση αεριοποίησης, στην συνολική ηλεκτρική απόδοση, στη συνολική θερμική απόδοση, και στη συνολική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου.



Γράφημα 1: Γράφημα ποσοστού μετατροπής σε CH<sub>4</sub>-απόδοσης αεριοποίησης

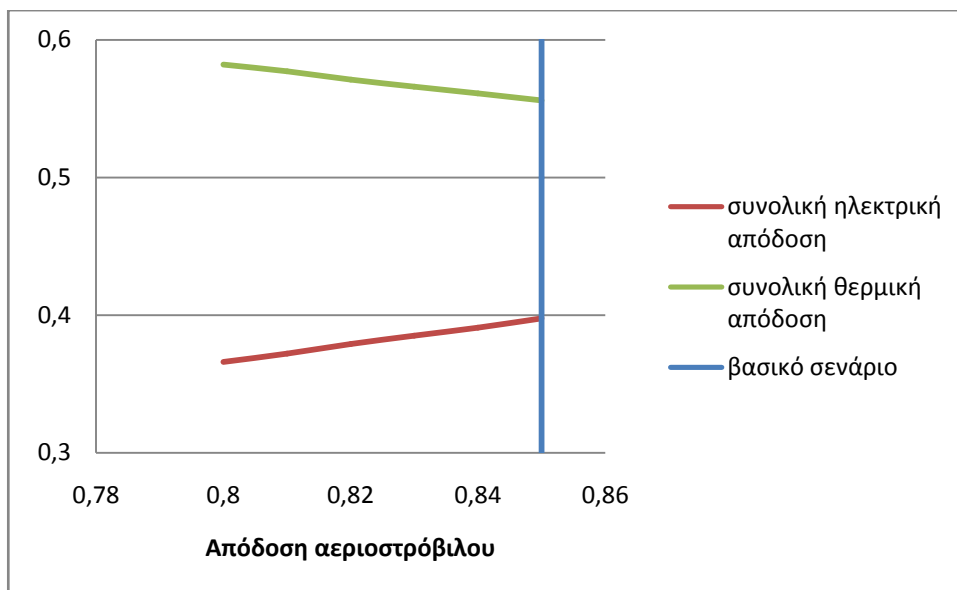
Στο γράφημα ποσοστού μετατροπής σε CH<sub>4</sub>- συνολικών αποδόσεων συνδυασμένου κύκλου, παρατηρούμε ότι οι μεταβολές στο ποσοστό μετατροπής δεν επηρεάζουν τις συνολικές αποδόσεις παρά μόνο την απόδοση αεριοποίησης. Αυτό συμβαίνει γιατί, καθώς αυξάνεται το μεθάνιο στο παραγόμενο αέριο, μειώνονται τα mol<sub>s</sub> του H<sub>2</sub>.

Η  $\Delta H_{καύσης}$  του υδρογόνου είναι πολύ μεγαλύτερη από του μεθανίου, και καθώς μειώνεται το  $H_2$  μειώνεται και η  $K\Theta\Delta_{βιοαερίου}$ , η οποία χρησιμοποιείται για το υπολογισμό της απόδοσης αεριοποίησης. Αντίθετα οι συνολικές αποδόσεις περιέχουν στην διαδικασία υπολογισμού τους την  $K\Theta\Delta_{βιομάζας}$ , που δεν σχετίζεται με τα  $mol_s$  του παραγόμενου βιοαερίου.



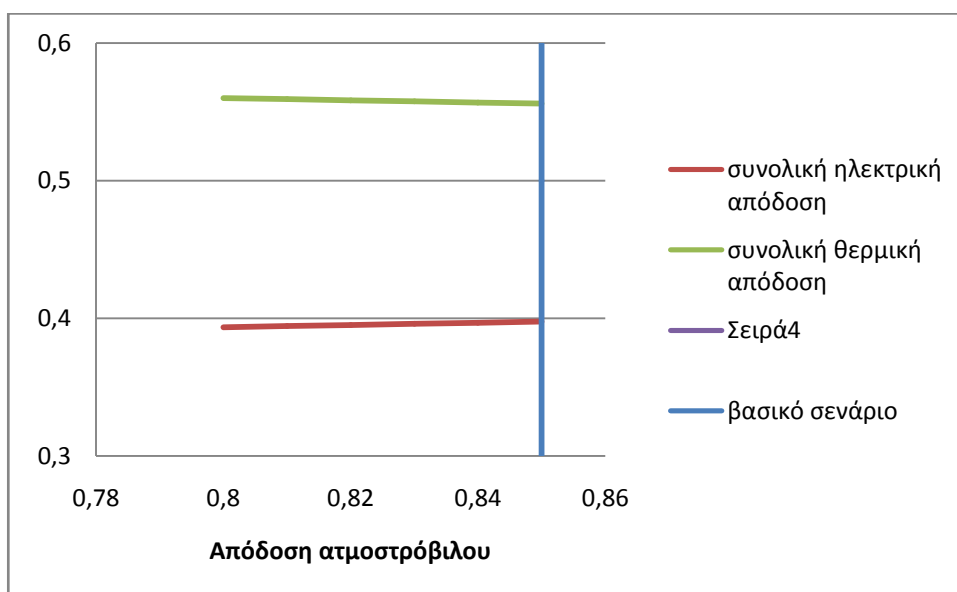
Γράφημα 2: Γράφημα ποσοστού αέρα αεριοποίησης - αποδόσεων

Στο γράφημα ποσοστού αέρα αεριοποίησης-αποδόσεων παρατηρούμε ότι η απόδοση της αεριοποίησης μειώνεται όσο αυξάνει το ποσοστό του αέρα. Οι συνολικές αποδόσεις επηρεάζονται ελάχιστα αρχικά, ενώ πιο έντονο είναι το αποτέλεσμα όταν η παροχή του αέρα φτάνει στο όριο 0,3, οπότε και η παραγωγή βιοαερίου μειώνεται δραστικότερα με αποτέλεσμα να υπάρξει έλλειψη τροφοδοσίας των κύκλων.



Γράφημα 3: Γράφημα απόδοσης αεριοστρόβιλου (Brayton)-συνολικών αποδόσεων

Στο γράφημα απόδοσης αεριοστρόβιλου-αποδόσεων παρατηρούμε ότι η ηλεκτρική απόδοση αυξάνεται ενώ η θερμική απόδοση μειώνεται με αύξηση της απόδοσης του αεριοστρόβιλου. Κατά συνέπεια αυξάνεται και το άθροισμά τους, δηλαδή η συνολική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου, γιατί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την θερμική. Με αύξηση της απόδοσης του αεριοστρόβιλου αυξάνεται το παραγόμενο σε αυτόν έργο (που συμμετέχει στον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας) και ταυτόχρονα μειώνεται η θερμότητα που εξέρχεται με τα καυσαέρια.



Γράφημα 4: Γράφημα απόδοσης ατμοστρόβιλου (Rankine)-συνολικών αποδόσεων

Στο γράφημα απόδοσης ατμοστρόβιλου-αποδόσεων παρατηρούμε ότι η ηλεκτρική απόδοση αυξάνεται ενώ η θερμική απόδοση μειώνεται, αυξάνοντας την απόδοση του ατμοστρόβιλου. Κατά συνέπεια αυξάνεται και το άθροισμά τους, δηλαδή η συνολική απόδοση του συνδυασμένου κύκλου, γιατί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την θερμική. Με αύξηση της απόδοσης του ατμοστρόβιλου αυξάνεται το παραγόμενο σε αυτόν έργο (που συμμετέχει στον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας) και ταυτόχρονα μειώνεται η θερμότητα που εξέρχεται με τα καυσαέρια. Δηλαδή ακολουθείται η ίδια τάση με το Γράφημα 4, ωστόσο οι κλίσεις στο Γράφημα 5 δεν είναι τόσο μεγάλες. Αυτό εξηγείται εύκολα αν σκεφτούμε, ότι η παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας στο συνδυασμένο κύκλο, προέρχεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από τον κύκλο Brayton. Συνεπώς οι αποδόσεις επηρεάζονται ελάχιστα από τη μεταβολή της απόδοσης του ατμοστρόβιλου.

## 6.2 Οικονομική ανάλυση

Η οικονομική ανάλυση της μονάδας είναι μια ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία, με βάση την οποία διερευνάται ή βιωσιμότητα της μονάδας που μελετάται. Τα σημαντικότερα στοιχεία της οικονομικής ανάλυσης που πρέπει να υπολογιστούν για να υπάρχει μια σαφής εικόνα της βιωσιμότητας ή μη της μονάδας είναι:

- το συνολικό κόστους εγκατάστασης (πάγια επένδυση),
- τα λειτουργικά κόστη (πρώτη ύλη, εργασία, δρομολόγια, λοιπά έξοδα),
- τα χρηματοοικονομικά κόστη (αποσβέσεις),
- τα έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας,
- τα διαθέσιμα προς επένδυση κεφάλαια (ίδια και επιδοτούμενα κεφάλαια)
- οι χρόνοι αποπληρωμής (προ φόρων και αποσβέσεων και αφότου εφαρμοστούν)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι παραπάνω υπολογισμοί και για τη μονάδα αεριοποίησης στη Θεσσαλία.

- **Συνολικό κόστους εγκατάστασης (πάγια επένδυση)**

Το κόστος εγκατάστασης μίας μονάδας ολοκληρωμένης μονάδας αεριοποίησης βιομάζας και συμπαραγωγής ηλεκτρικής θερμικής ισχύος σε συνδυασμένο κύκλο αέριο-ατμοστρόβιλου (Biomass Gasification Combined Cycle – BIGCC) δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Πάγια επένδυση: } \text{ΠΕ} = 7.675 - 1.235 \cdot \ln \Delta \text{ [€/kWe]} \quad (35)$$

όπου  $\Delta$  η ονομαστική δυναμικότητα της μονάδας σε MWe. Εδώ στην πάγια επένδυση για τη μονάδα θα πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος των οχημάτων [54] που θα χρειαστούν για να μεταφέρουν την βιομάζας στις εγκαταστάσεις της μονάδας.



- **Τα λειτουργικά κόστη εργασία, (πρώτη ύλη, εργασία , δρομολόγια, λοιπά έξοδα)**

Τα λειτουργικά κόστη αποτελούν ουσιαστικά μια ευρύτερη ομάδα εξόδων και περιλαμβάνουν τα έξοδα για την πρώτη ύλη, την εργασία, τα δρομολόγια και λοιπά έξοδα της μονάδας.

Ξεκινώντας από την πρώτη ύλη, τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν για τον υπολογισμό του κόστους της, είναι η απαιτούμενη ποσότητα για τη λειτουργία της μονάδας, η μέση παραγωγή βιομάζας στην υπό μελέτη περιοχή, η απαιτούμενη έκταση και η μέση τιμή βιομάζας. Ο υπολογισμός του κόστους της απαιτούμενης βιομάζας δίνεται από τη σχέση 36:

$$\text{κόστος απαιτούμενης} = (\text{απαιτούμενη ποσότητα βιομάζας}) \cdot (\text{μέση τιμή βιομάζας}) \quad (36)$$

ποσότητας βιομάζας

Το συνολικό κόστος εργασίας υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{array}{l} \text{συνολικό κόστος} \\ \text{εργασίας} \end{array} = \begin{array}{l} \text{κόστος εργασίας} \\ \text{εργαζομένων στη μονάδα} \end{array} + \begin{array}{l} \text{κόστος εργασίας} \\ \text{στη μεταφορά και} \\ \text{φορτοεκφόρτωση} \\ \text{της πρώτης ύλης} \end{array} \quad (37)$$

#### **κόστος εργασίας εργαζόμενων στη μονάδα**

Θεωρώντας ότι σε κάθε MWe δυναμικότητας αντιστοιχούν 3 εργαζόμενοι, με μέσο ετήσιο κόστος ανά εργαζόμενο τα 20.000 € (περιλαμβανομένων των ασφαλιστικών εισφορών), το κόστος εργατικών εκτιμώνται στα 60.000 €/MWe.

#### **κόστος εργασίας εργαζόμενων στη μεταφορά και τη φορτοεκφόρτωση**

Θεωρούμε πως έχουμε δύο διαφορετικές ομάδες εργαζόμενων σε αυτή την κατηγορία: τους οδηγούς και τους φορτοεκφορτωτές, αν και εργάζονται για τη μονάδα στους τρεις μόνο θερινούς μήνες της συγκομιδής [6]. Οι οδηγοί, θεωρώντας πως έχουν εργασιακή εμπειρία πενταετίας, θα λαμβάνουν μισθό 1100 €/μήνα [55]. Οι φορτοεκφορτωτές χωρίς να είναι απαραίτητη η εργασιακή εμπειρία θα λαμβάνουν ημερομίσθιο 30€ [56]. Και στις δύο περιπτώσεις συμπεριλαμβάνονται οι ασφαλιστικές εισφορές.

Για να υπολογίσουμε το συνολικό κόστος των δρομολογίων που πραγματοποιούνται κατά το διάστημα της συγκομιδής, θα πρέπει να γνωρίζουμε τη μέση χωρητικότητα των οχημάτων, τη μέση φαινόμενη πυκνότητα της πρώτης ύλης, τη μέση ακτίνα τροφοδοσίας, τη μέση ταχύτητα οχήματος, τη μέση διάρκεια του δρομολογίου, το κόστος του καυσίμου και τη μέση κατανάλωση καυσίμου [57], σε συνδυασμό με τη χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο πραγματοποιούνται τα δρομολόγια. Έτσι το συνολικό κόστος των δρομολογίων προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{συνολικό κόστος δρομολογίων} = (\text{συνολική κατανάλωση}) \cdot (\text{κόστος καυσίμου}) \quad (38)$$

Στη συνέχεια, για να υπολογίσουμε το κόστος των λοιπών εξόδων (τα κόστη συντήρησης, διοίκησης, ασφάλειας, βοηθητικών κ.α.) θεωρούμε ότι ανέρχονται στα 2/3 του κόστους εργασίας των εργαζομένων στη μονάδα.

$$\text{λοιπά έξοδα} = 2/3 \cdot (\text{κόστος εργασίας εργαζομένων στη μονάδα}) \quad (39)$$

- **Χρηματοοικονομικά κόστη (αποσβέσεις)**

Τα χρηματοοικονομικά κόστη είναι ουσιαστικά οι αποσβέσεις και για τη εξεταζόμενη επένδυση ανέρχονται στο 10% των ιδίων κεφαλαίων. Οπότε τα χρηματοοικονομικά κόστη δίνονται από τη σχέση:

$$\text{χρηματοοικονομικά κόστη} = 0,1 \cdot (\text{ίδια κεφάλαια}) \quad (40)$$

- **Τα έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας**

Τα έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας προκύπτουν εύκολα γνωρίζοντας την ηλεκτρική και θερμική παραγωγή της μονάδας σε MWh καθώς και την τιμή της αντίστοιχης MWh [58]. Συνεπώς:

$$\text{έσοδα παραγόμενης} = (\text{παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε MWh}) \cdot (\text{τιμή ηλεκτρικής MWh}) \quad (40)$$

ηλεκτρικής ενέργειας

$$\text{έσοδα παραγόμενης} = (\text{παραγόμενη θερμική ενέργεια σε MWh}) \cdot (\text{τιμή θερμικής MWh}) \quad (41)$$

θερμικής ενέργειας

- **Τα διαθέσιμα προς επένδυση κεφάλαια (ίδια και επιδοτούμενα κεφάλαια)**

Προσθέτοντας τα ίδια και τα επιδοτούμενα κεφάλαια, το ποσό που προκύπτει θα πρέπει να είναι ίσο με την πάγια επένδυση. Θεωρούμε ότι στην παρούσα μελέτη το ποσοστό της επιδότησης φτάνει το 40% του ύψους της συνολικής επένδυσης. Οπότε:

$$\text{ίδια κεφάλαια} = 0,6 \cdot (\text{συνολικό ύψος επένδυσης}) \quad (42)$$

$$\text{επιδοτούμενα κεφάλαια} = 0,4 \cdot (\text{συνολικό ύψος επένδυσης}) \quad (43)$$

- **Οι χρόνοι αποπληρωμής (προ φόρων και αποσβέσεων και αφότου εφαρμοστούν)**

Για να υπολογίσουμε και τους δύο χρόνους αποπληρωμής (προ φόρων και αποσβέσεων και αφότου εφαρμοστούν) πρέπει να γνωρίζουμε το ύψος των ιδίων κεφαλαίων, και για τον χρόνο αποπληρωμής προ φόρων και αποσβέσεων (EBTD), πρέπει να γνωρίζουμε τα κέρδη πριν επιβληθούν οι φόροι και οι αποσβέσεις, ενώ για τον χρόνο αποπληρωμής αφότου εφαρμοστούν, πρέπει να γνωρίζουμε τα καθαρά κέρδη. Να σημειωθεί ότι θεωρούμε ποσοστό φορολόγησης 35% επί των κερδών. Άρα:

$$\text{χρόνος αποπληρωμής (EBTD)} = (\text{ίδια κεφάλαια}) / (\text{κέρδη}) \quad (44)$$

$$\text{χρόνος αποπληρωμής} = (\text{ίδια κεφάλαια}) / (\text{καθαρά κέρδη}) \quad (45)$$

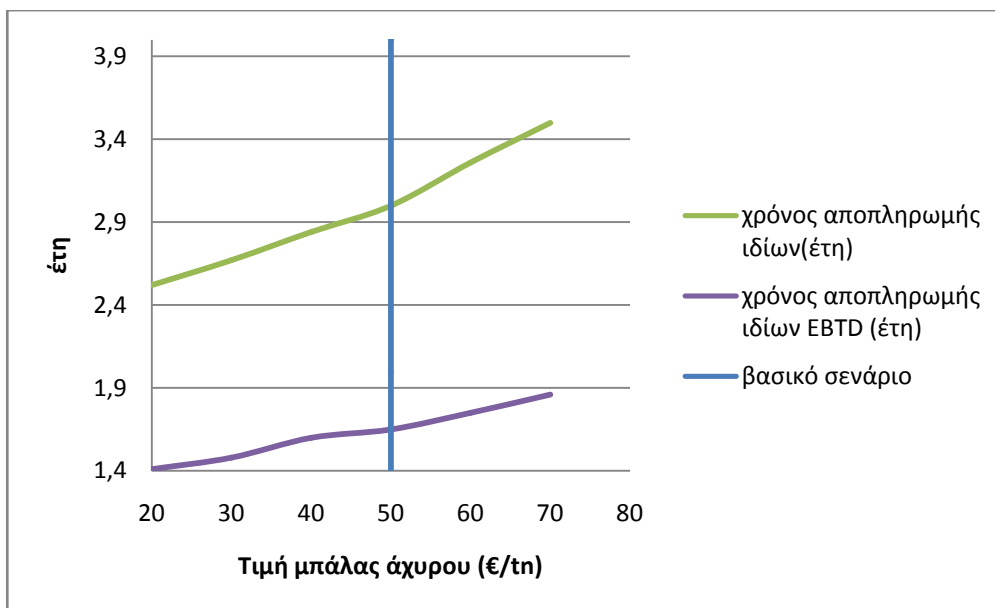
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που προαναφέρθηκαν

Πίνακας 16 : Δεδομένα και αποτελέσματα υπολογισμών, εσόδων, εξόδων και χρόνων αποπληρωμής

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 22MW	
Αριθμός οχημάτων (μονάδες)	16
Μέσο κόστος οχήματος (€/μονάδα)	640000
Κόστος εγκατάστασης μονάδας (€)	765002070
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ ΜΟΝΑΔΑΣ (συν το κόστος των οχημάτων) (€)</b>	<b>75642070</b>
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΞΟΔΩΝ	
Βιομάζα	
Απαιτούμενη ποσότητα (τόνοι/έτος)	157712,7
Μέση παραγωγή βιομάζας (kg/στρέμμα)[45]	250
Απαιτούμενη έκταση (στρέμματα)	630850,9
Μέση τιμή βιομάζας (€/τόνος) [45]	50
Κόστος απαιτούμενης ποσότητας βιομάζας(€/έτος)	7885636,5
Εργασία	
Αριθμός εργαζομένων στη μονάδα	8
Αριθμός οδηγών	16
Αριθμός μεταφορέων	16
Κόστος εργασίας εργαζομένων στην μονάδα(€/έτος)	1440000
Κόστος εργασίας οδηγών (€/τρίμηνο)	62700
Κόστος εργασίας μεταφορέων (€/τρίμηνο)	42750
Δρομολόγια	
Μέση χωρητικότητα οχήματος (m <sup>2</sup> /όχημα)	92,575
Μέση φαινόμενη πυκνότητα άχυρου (kg/m <sup>3</sup> )	120
Μέση ακτίνα τροφοδοσίας(km)	44,8
Μέση ταχύτητα οχήματος(km/ώρα)	80
Διάρκεια δρομολογίου(ώρες)	1,12
Κόστος καυσίμου (€/lt)	1,25
Μέση κατανάλωση καυσίμου (lt/100km)	62
Κατανάλωση καυσίμου/ημέρα (lt)	8779
Κόστος καυσίμου (€/τρίμηνο)	987688
Λοιπά έξοδα (συντήρηση, αναλώσιμα, έκτακτα έξοδα κτλ) (€/έτος)	960000
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ(€/έτος)</b>	<b>11369324</b>

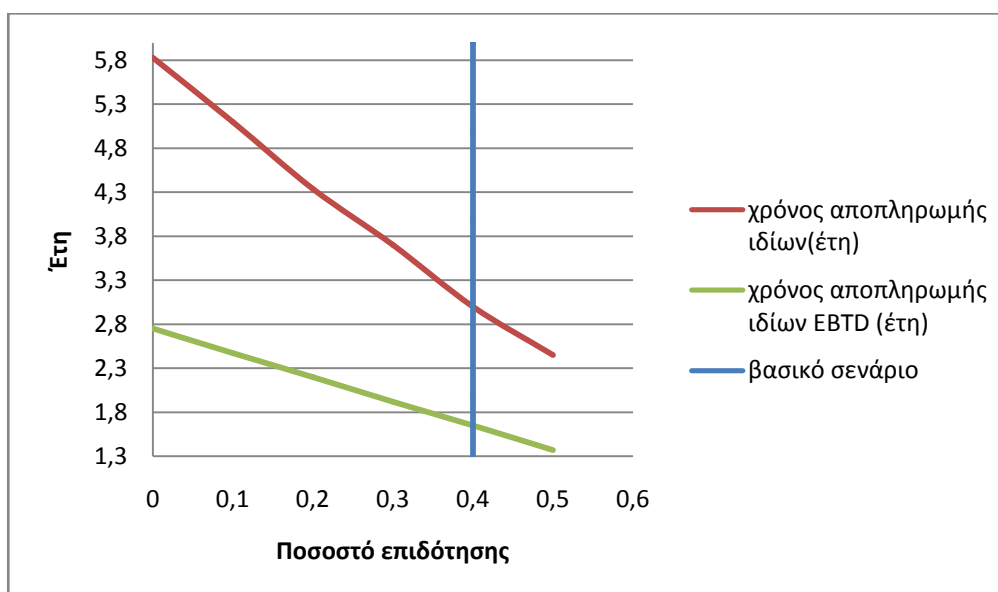
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΝΟΜΙΚΩΝ ΕΞΟΔΩΝ	
Αποσβέσεις (€/έτος)	4538524
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΝΟΜΙΚΑ ΕΞΟΔΑ(€/έτος)</b>	<b>4538524</b>
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΣΟΔΩΝ	
Τιμή διάθεσης ηλεκτρικής MWh (€/MWh)	150
Τιμή διάθεσης θερμικής MWh (€/MWh)	20
Έσοδα ηλεκτρικής ενέργειας (€/έτος)	32590982
Έσοδα θερμικής ενέργειας (€/έτος)	6075786
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ (€/έτος)</b>	<b>38666768</b>
ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	
Ίδια κεφάλαια (€)	45385242
Επιδοτούμενα κεφάλαια (€)	30256828
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ (€)</b>	<b>75642070</b>
ΚΕΡΔΗ	
Κέρδη προ φόρων και αποσβέσεων EBTD (€/έτος)	2729444
Κέρδη προ φόρων (€/έτος)	22758919
Καθαρά κέρδη (€/έτος) (αφαιρέθηκε φόρος 35%)	14793298
ΧΡΟΝΟΙ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ	
Χρόνος αποπληρωμής ιδίων (έτη)	3
Χρόνος αποπληρωμής ιδίων με βάση το EBTD	1,65

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια γραφήματα που αναφέρονται στην επίδραση της μεταβολής ορισμένων οικονομικών παραμέτρων στους χρόνους αποπληρωμής της παρούσας επένδυσης.



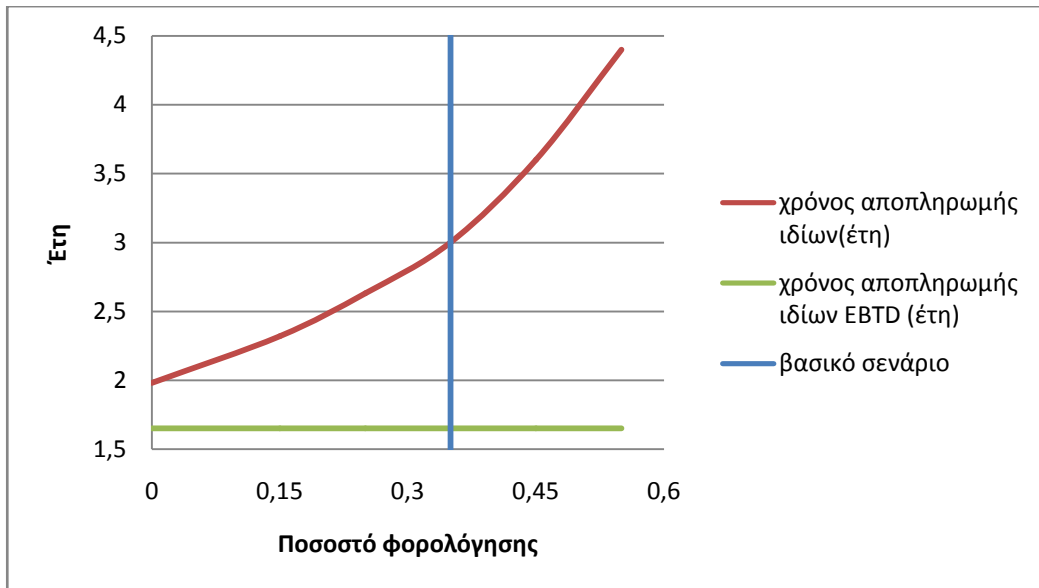
Γράφημα 5: Γράφημα τιμής μπάλας άχυρου-χρόνου αποπληρωμής ιδίων (έτη)

Στο γράφημα τιμής μπάλας άχυρου-χρόνου αποπληρωμής ιδίων (έτη), παρατηρούμε ότι η τιμή της μπάλας επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τον χρόνο αποπληρωμής, είτε πριν είτε μετά τη φορολόγηση. Αυτό συμβαίνει γιατί το άχυρο βασικό και μόνιμο έξοδο για τη μονάδα.



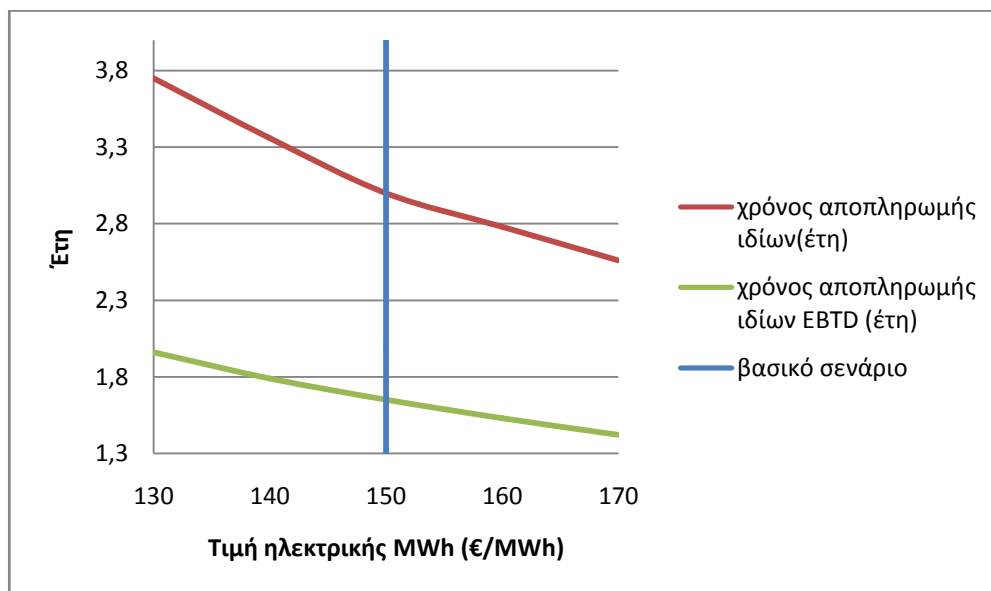
Γράφημα 6: Γράφημα ποσοστού επιδότησης-χρόνου αποπληρωμής ιδίων (έτη)

Στο γράφημα ποσοστού επιδότησης-χρόνου αποπληρωμής ιδίων (έτη), παρατηρούμε ότι το ποσοστό επιδότησης επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο τους χρόνους αποπληρωμής. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί όσο μικρότερο είναι το ποσοστό επιδότησης, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για να αποπληρωθεί η επένδυση.

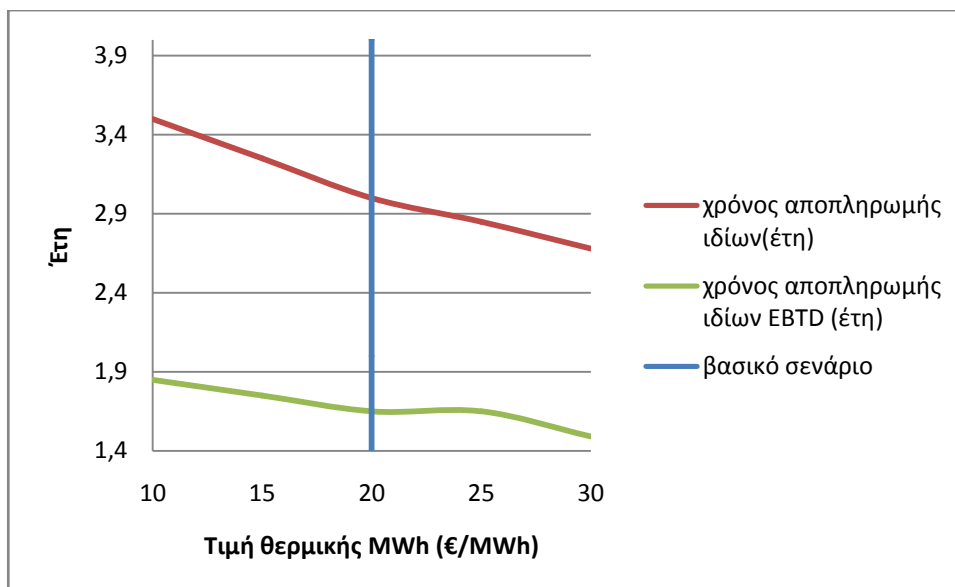


Γράφημα 7: Γράφημα ποσοστού φορολόγησης-χρόνων αποπληρωμής ιδίων (έτη)

Στο γράφημα ποσοστού φορολόγησης-χρόνου αποπληρωμής ιδίων EBTD (έτη), παρατηρούμε ότι το ποσοστό επιδότησης επηρεάζει τον χρόνο αποπληρωμής ιδίων, ενώ ο χρόνος αποπληρωμής ιδίων EBTD παραμένει σταθερός. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, γιατί ο χρόνος αποπληρωμής ιδίων EBTD, υπολογίζεται πριν επιβληθεί το ποσοστό φορολόγησης στα κέρδη.

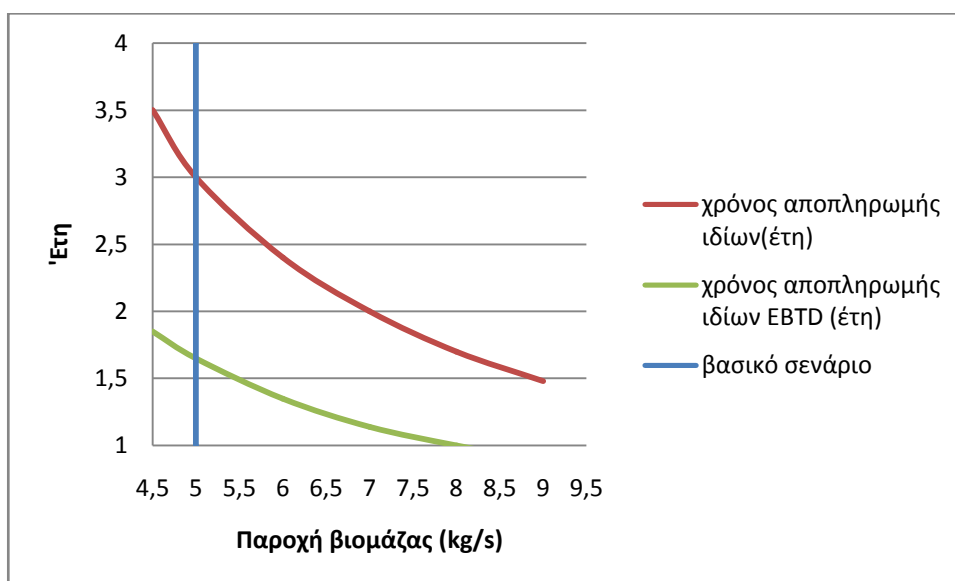


Γράφημα 8 : Γράφημα τιμής ηλεκτρικής MWh (€/MWh)-χρόνων αποπληρωμής ιδίων (έτη)



Γράφημα 9 : Γράφημα τιμής θερμικής MWh (€/MWh)-χρόνων αποπληρωμής ιδίων (έτη)

Στα γραφήματα των τιμών ηλεκτρικής και θερμικής MWh (€/μων)-χρόνου αποπληρωμής ιδίων (έτη), βλέπουμε την ίδια τάση μεταβολής, δηλαδή ραγδαία μείωση με τη πτώση των τιμών. Αυτό συμβαίνει δικαιολογημένα γιατί μειώνονται τα έσοδα από την παραγωγή ενέργειας και αναπόφευκτα αυξάνεται ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης.



Γράφημα 10 : Γράφημα παροχής βιομάζας (kg/s)-χρόνων αποπληρωμής ιδίων (έτη)

Στο γράφημα παροχής βιομάζας (kg/s)-χρόνου αποπληρωμής ιδίων (έτη) είναι εμφανές ότι η αύξηση της παρεχόμενης πρώτης ύλης μειώνει δραστικά τον χρόνο αποπληρωμής ιδίων, ανεξάρτητα με την επιβολή ή όχι φορολόγησης. Αυτό συμβαίνει γιατί η αύξηση της παροχής οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, οι οποίες με την πώληση τους αποτελούν την πηγή εσόδων της μονάδας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα

Η χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας γίνεται όλο και πιο επιτακτική με το πέρασμα του χρόνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαθεσιμότητα και η τιμή των παραδοσιακών καυσίμων επηρεάζεται από πολλούς και συχνά ασταθείς παράγοντες (διαθεσιμότητα, αναταραχές σε χώρες παραγωγούς με συνέπειες στην τιμή κτλ), δημιουργώντας συχνά προβλήματα και δυσλειτουργίες. Ένας άλλος παράγοντας ωστόσο, που διαφαίνεται περισσότερο τα τελευταία χρόνια, είναι η άμεση ανάγκη για καθαρότερες μορφές ενέργειας, που μπορούν να αντικαταστήσουν σταδιακά τις παραδοσιακές, χωρίς να υπολείπονται σε ποιότητα, αλλά μάλιστα να υπερτερούν ως προς τη διαθεσιμότητα και τις μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η βιομάζα ως πηγή ενέργειας θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί από πολλούς με υποψία. Είναι εν μέρει λογικό, γιατί όταν η βιομάζα προέρχεται από καλλιέργειες βρώσιμων προϊόντων, θα μπορούσε να επηρεάσει αρνητικά την αγροτική παραγωγή και να οδηγήσει σε ελλείψεις τροφίμων και αύξηση τιμών προϊόντων που βρίσκονται σε έλλειψη, λόγω χρήσης τους για παραγωγή ενέργειας. Επίσης, η υπέρμετρη χρήση της βιομάζας, μπορεί να οδηγήσει σε περιβαλλοντικά προβλήματα και καταστροφές, όπως αποψίλωση δασών, απώλεια βιοποικιλότητας, διάβρωση εδάφους λόγω της έντονης καλλιέργειας, ρύπανση των υδάτων και του αέρα λόγω της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι, όταν η γη δεν καλλιεργείται, είναι σε θέση να απορροφήσει CO<sub>2</sub>, ενώ όταν το έδαφος καλλιεργείται συνεχώς, εκπέμπει CO<sub>2</sub>, αυξάνοντας έτσι τα ήδη υψηλά ποσοστά του στην ατμόσφαιρα και επιδεινώνοντας τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα που σχετίζονται με αυτά.

Ωστόσο τα παραπάνω προβλήματα λόγω της χρήσης βιομάζας μπορούν να αποφευχθούν, αν η πηγή προέλευσης της είναι τα υπολείμματα και τα απόβλητα. Αυτές οι κατηγορίες βιομάζας δεν προκαλούν και δεν συνεισφέρουν στα παραπάνω προβλήματα, ίσα ίσα δίνουν λύση στο πρόβλημα διαχείρισης τους.

Η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της ζήτησης ενέργειας. Σήμερα η βιομάζα συνεισφέρει με μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ, στις υπάρχουσες ενεργειακές απαιτήσεις. Ωστόσο, η συνεισφορά αυτή περιλαμβάνει και τις παραδοσιακές χρήσεις της βιομάζας που είναι αναποτελεσματικές. Σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και στην υπό μελέτη μονάδα της παρούσας εργασίας, η χρήση σύγχρονων μεθόδων παραγωγής και αξιοποίησης της ενέργειας είναι ο βασικός παράγοντας που εξασφαλίζει αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον χρήση (χαμηλότερες εκπομπές) της βιομάζας.

Η εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ενέργειας από υπολείμματα καλλιεργειών και απόβλητα (κτηνοτροφικά και αστικά) θα μπορούσε να αποτελέσει προηγμένη εναλλακτική λύση για τη διαχείριση τους, μιας και δεν υπάρχουν άλλες χρήσεις τους (εκτός από ορισμένα υπολείμματα αγροτικών καλλιεργειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή, αλλά και πάλι σε μικρή κλίμακα και με μικρό κέρδος) και η συσσώρευση τους καταντά προβληματική. Βέβαια ακόμα δεν είναι ευρέως διαδεδομένη αυτή η πρακτική, όμως υπάρχουν προοπτικές να αποτελέσει μελλοντικά βασικό μέσο διαχείρισης και εκμετάλλευσης υπολειμμάτων και αποβλήτων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να αναλυθεί μια μεγάλης κλίμακας μονάδας παραγωγής ενέργειας με χρήση βιομάζας (άχυρο σιταριού) με έδρα τη Θεσσαλία. Η συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή επιλέγεται κυρίως λόγω της δυνατότητας να τροφοδοτήσει μια τέτοιου μεγέθους μονάδα.



Επιλέγεται η αεριοποίηση ως καταλληλότερη μέθοδος, λόγω χαμηλής υγρασίας της πρώτης ύλης, και αναλύονται βήμα-βήμα οι διεργασίες που ξεκινούν από την αεριοποίηση και καταλήγουν στην συμπαραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμένος κύκλος Brayton-Rankine). Μεταβάλλοντας ορισμένες θερμοδυναμικές παραμέτρους, βλέπουμε πως επηρεάζεται η λειτουργία του συνδυασμένου κύκλου και ποιες είναι οι συνέπειες στην απόδοση της αεριοποίησης αλλά και της συνολικής απόδοσης παραγωγής ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής). Επίσης, επιχειρείται και η οικονομική ανάλυση της μονάδας, από την οποία προκύπτει τελικά αν είναι σκόπιμη μια τέτοια επένδυση. Μεταβάλλοντας ορισμένες οικονομικές παραμέτρους, βλέπουμε πως επηρεάζονται τα κέρδη (καθαρά και μη) και κατά συνέπεια πως μεταβάλλεται ο χρόνος αποπληρωμής.

Συνεπώς με την ολοκλήρωση των υπολογισμών και την παραμετρική ανάλυση δίνεται μια ολοκληρωμένη εικόνα της εγκατάστασης, τόσο ως προς τη λειτουργία, τις απαιτήσεις και τα κέρδη της, όσο και ως προς τις τάσεις που ακολουθούν η λειτουργία και η οικονομική απόδοση. Προκύπτει λοιπόν ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα αφού ο χρόνος αποπληρωμής είναι μικρός ακόμη και στην ακραία περίπτωση που δεν δίνεται επιδότηση (παραμετρική ανάλυση). Πέρα από την άμεση οικονομική ωφέλεια, η επένδυση αυτή θα έδινε ώθηση και σε άλλους τομείς. Οι ανάγκες σε εργατικό δυναμικό θα δημιουργούσαν νέες θέσεις εργασίας, τόσο στη μονάδα όσο και στη συγκομιδή, τη μεταφορά και την αποθήκευση της πρώτης ύλης. Επίσης, το άχυρο που παρέμενε αχρησιμοποίητο και ουσιαστικά άχρηστο μπορεί να μετατραπεί σε πηγή εσόδων για την περιοχή. Τέλος η λειτουργία της μονάδας θα μπορούσε να αποτελέσει ένα ουσιαστικό βήμα προς την διεύρυνση της χρήσης των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, που οδηγεί σε ενεργειακή αποδέσμευση της περιοχής από τα ορυκτά καύσιμα και πραγματοποιείται με φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους.

## Βιβλιογραφία

- [1] : “Βιοκαύσιμα – Αειφόρος Ενέργεια”.Επιμέλεια έκδοσης Ν. Κάρναβος, Α. Λάππας και Γ.Ε. Μαρνέλλος,.Κεφάλαιο 1: Η Βιομάζα ως Πηγή Ενέργειας ”, Κ. Αθανασίου . Εκδόσεις Τζιόλα, 2014 ISBN 978-960-418-445-3
- [2], [3], [4]: [http://192.168.0.99/website/349\\_res/](http://192.168.0.99/website/349_res/)
- [5]:<http://vriskoapostasi.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE/%CE%A4%CF%81%CE%AF%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%B1/%CE%9B%CE%AC%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B1>
- [6]: [http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/BioSolESCO/7\\_Eleftheriadhs.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/BioSolESCO/7_Eleftheriadhs.pdf)
- [7]: <http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=4603>  
<http://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=4807>
- [8]: OECD (2008), Biofuel Support Policies:An Economic Assessment. OECD and the International Energy Agency. Paris, France
- [9]: UN ([http://cdm.unfccc.int/EB/023/eb23\\_repan18.pdf](http://cdm.unfccc.int/EB/023/eb23_repan18.pdf))
- [10]: McKendry P (2002), Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, 83, 37–46.
- [11]: Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG (2010), An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89, 913–933.
- [12]: <http://www.biomassfutures.eu/>
- [13]: Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG, Morgan TJ (2012), An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. Fuel, 94, 1–33.
- [14]: Karampinis E, Nikolopoulos N, Nikolopoulos A, Grammelis P, Kakaras E (2012), Numerical investigation Greek lignite/cardoon co-firing in a tangentially fired furnace. Applied Energy, 97, 514–524.
- [15]: Nhuchhen DR, Abdul Salam PA (2012), Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. Fuel 99 (2012) 55–63.
- [16]: Damartzis T, Vamvuka D, Sfakiotakis S, Zabaniotou A (2011), Thermal degradation studies and kinetic modeling of cardoon (*Cynaracardunculus*) pyrolysis using thermogravimetric analysis (TGA). Bioresource Technology, 102, 6230–6238.
- [17]: Βάμβουκα Δ (2009), Βιομάζα, Βιοενέργεια και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα & Υιοί Ο.Ε. (ISBN: 978-960-418-167-4).
- [18]: BEE – [www.eu-bee.info/](http://www.eu-bee.info/)

[19]: BF – [www.biomass futures.eu](http://www.biomass futures.eu)

[20]: Elbersen B, Startisky I, Hengeveld G, Schelhaas MJ, Naeff H, Hannes Böttcher H (2012), Atlas of EU biomass potentials. (available at: [http://www.biomassfutures.eu/public\\_docs/final\\_deliverables/WP6/D6.4%20Atlas%20of%20EU%20biomass%20potentials.pdf](http://www.biomassfutures.eu/public_docs/final_deliverables/WP6/D6.4%20Atlas%20of%20EU%20biomass%20potentials.pdf))

[21]: AEBIOM (2012), European Bioenergy Outlook (available at [http://www.jotforme.eu.com/AEBIOMstatisticalreport/2012\\_European\\_Bioenergy\\_Outlook](http://www.jotforme.eu.com/AEBIOMstatisticalreport/2012_European_Bioenergy_Outlook))

[22]: Beurskens LWM, Hekkenberg M, Vethman P (2011) Renewable Energy Projections as Published in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States. European Environment Agency, ECN-E-10-069.

[23]: [http://www.chemeng.ntua.gr/BIOENERGY\\_2013\\_presentations/1.%20CE% A7% CF% 81% CE% AE% C F% 83% CF% 84% CE% BF% CF% 85% 20% CE% 9C% CF% 85% CF% 81% CF% 83% CE% AF% CE% BD% CE% B7 % CE% 95% CE% BD% CE% B5% CF% 81% CE% B3% CE% B5% CE% B9% CE% B1% CE% BA% CF% 8C% 20% C E% 94% CF% 85% CE% BD% CE% B1% CE% BC% CE% B9% CE% BA% CF% 8C% 20% CE% 91% CE% B3% CF% 81% CE% BF% CF% 84% CE% B9% CE% BA% CF% 8E% CE% BD% 20% CE% BA% CE% B1% CE% B9% 20% CE % 9A% CF% 84% CE% B7% CE% BD% CE% BF% CF% 84% CF% 81% CE% BF% CF% 86% CE% B9% CE% BA% C F% 8E% CE% BD% 20% CE% BA% CE% B1% CE% B9% 20% CE% 94% CE% B1% CF% 83% CE% B9% CE% BA% CF% 8E% CE% BD% 20% CE% A5% CF% 80% CE% BF% CE% BB% CE% B5% CE% B9% CE% BC% CE% BC% C E% AC% CF% 84% CF% 89% CE% BD% 20% CF% 83% CF% 84% CE% B7% CE% BD% 20% CE% 95% CE% BB% C E% BB% CE% AC% CE% B4% CE% B1.pdf](http://www.chemeng.ntua.gr/BIOENERGY_2013_presentations/1.%20CE% A7% CF% 81% CE% AE% C F% 83% CF% 84% CE% BF% CF% 85% 20% CE% 9C% CF% 85% CF% 81% CF% 83% CE% AF% CE% BD% CE% B7 % CE% 95% CE% BD% CE% B5% CF% 81% CE% B3% CE% B5% CE% B9% CE% B1% CE% BA% CF% 8C% 20% C E% 94% CF% 85% CE% BD% CE% B1% CE% BC% CE% B9% CE% BA% CF% 8C% 20% CE% 91% CE% B3% CF% 81% CE% BF% CF% 84% CE% B9% CE% BA% CF% 8E% CE% BD% 20% CE% BA% CE% B1% CE% B9% 20% CE % 9A% CF% 84% CE% B7% CE% BD% CE% BF% CF% 84% CF% 81% CE% BF% CF% 86% CE% B9% CE% BA% C F% 8E% CE% BD% 20% CE% BA% CE% B1% CE% B9% 20% CE% 94% CE% B1% CF% 83% CE% B9% CE% BA% CF% 8E% CE% BD% 20% CE% A5% CF% 80% CE% BF% CE% BB% CE% B5% CE% B9% CE% BC% CE% BC% C E% AC% CF% 84% CF% 89% CE% BD% 20% CF% 83% CF% 84% CE% B7% CE% BD% 20% CE% 95% CE% BB% C E% BB% CE% AC% CE% B4% CE% B1.pdf)

[24]: McKendry P (2002), Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*, 83, 47–54.

[25]: Demirbas, A. (2005), “Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues”, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 31, pp. 171-192.

[26]: Vamvouka, D., Zografos, D. (2004), “Predicting the behaviour of ash from agricultural wastes using combustion”, *Fuel*, vol. 83, no.14-15, pp. 295-304.

[27]: Arvelakis, S., Vourliotis, P., Kakaras, E., Koukios, E. G. (2001), “Effect of leaching on the ash behavior of wheat straw and olive residues during fluidized bed combustion”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 20, pp. 459-470.

[28]: Scala, F., Chirone, R. (2004), “Fluidized bed combustion of alternative solid fuels”, *Exp. Therm. Fluid Science*, vol. 28, pp. 691-699.

[29]: “Βιοκαύσιμα – Αειφόρος Ενέργεια”. Επιμέλεια έκδοσης Ν. Κάρναβος, Α. Λάππας και Γ.Ε. Μαρινέλλος, Κεφάλαιο 11: Αεριοποίηση Βιομάζας”, Β. Σκουλού και Α. Ζαμπανιώτου. Εκδόσεις Τζιόλα, 2014.

[30]: Χαβιαρόπουλος, Π., (2001), «Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στις ΑΠΕ, RENES: Εθνικό Συνέδριο Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Προτεραιότητες σε Συνθήκες Απελευθερωμένης Αγοράς»,

[31]: Encinar, J.M., Beltran, F.J., Ramiro, A., Gonzalez, J.F. (1998), “Pyrolysis/Gasification of agricultural residues by carbon dioxide in the presence of different additives: influence of variables”, *Fuel Processing Technology*, vol. 55, pp.219-233.

[32]: Αποστολάκης, Μ., Κυρίτσης, Σ., Σούτερ, Χ. (1987), “Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας- Γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων (έρευνα στον ελληνικό χώρο)”, ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ, Ινστιτούτο Τεχνολογικών Εφαρμογών, Αθήνα 1987

- [33]: Οδηγία 2004/8/ΕΚ για την προώθηση της συμπαραγωγής θερμότητας/ ηλεκτρισμού (11.02.2004)Φρυδά, Λ. Ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής με αξιοποίηση βιομάζας, Διδακτορική Διατριβή, 2006, ΕΜΠ
- [34]: Bridgwater, A.V., Grassi, G., Gosse, G., DosSantos, G. (1989), “BiomassforEnergyandIndustry”, 5<sup>th</sup> E.C Conference, Applied Science, Lisbon, pp.2489.
- [35]: Reed, T., Gaus, S., (2001), “A survey of Biomass Gasification”.
- [36]: Bridgwater, A.V. (2003), “Renewablefuelsandchemicalsbythermalprocessingofbiomass”,*ChemicalEngineeringJournal*, vol. 91, pp. 87-102.
- [37]: Knoef, H.A.M. (2005), Handbook of Biomass Gasification. BTG
- [38]: Orrecchini, F., Bocci, E. (2005), “Biomass to hydrogen for realization of closed cycles of energy resources”, 3<sup>rd</sup> Dubrovnic Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment, Dubrovnic Croatia
- [39]: Kim, H.Y. (2003), “A low cost production of hydrogen from carbonaceous wastes”,*International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 28, pp. 1179-1186.
- [40]: <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/gasification/1696-biomass-thermal-conversion>
- [41]: <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/organic-rankine-cycle-orc/711-energy-production-from-biomass-through-orc-process>
- [42]: Th. Damartzis, S. Michailos, A. Zabaniotou Energetic assessment of a combined heat and power integrated biomass gasification–internal combustion engine system by using Aspen Plus® Fuel Processing Technology, Volume 95, March 2012, Pages 37-44
- [43]: Garcia-Ibanez, P., Cabanillas, A., Sanchez, J.M. (2004), “Gasification of leached orujilo (olive oil waste) in a pilot plant circulating fluidized bed reactor. Preliminary results”,*Biomass and Bioenergy*, vol. 27, pp.183-194.
- [44]: “Βιοκαύσιμα – Αειφόρος Ενέργεια”.Επιμέλεια έκδοσης Ν. Κάρναβος, Α. Λάμπας και Γ.Ε. Μαρνέλλος,.Κεφάλαιο 6: Παραγωγή συνθετικών υγρών βιοκαυσίμων με Fischer-Tropsch. Ε.Ηρακλέους και Α.Λάμπας, σελ,175-6 Εκδόσεις Τζιόλα, 2014 ISBN 978-960-418-445-3
- [45]: <http://thesgi.gr/el>
- [46]:Μετάδοση Θερμότητας, Μια Πρακτική Προσέγγιση, YUNUS A. CENGEL. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρας, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Κεφάλαιο 10:Εναλλάκτες Θερμότητας, σελ 771.Εκδόσεις Τζιόλα 2005. ISBN 960-418-063-0.
- [47]: Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρας, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Β: Παράρτημα 1: Πίνακας Α-2 σελ. 1241. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-74-0
- [48]:Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρας, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Β:Κεφάλαιο 8:Κύκλοι ισχύος με αέρα,σελ 748. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-74-0
- [49]: Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρας, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Α:Κεφάλαιο 4:Ο 1ος Νόμος της θερμοδυναμικής,σελ 308. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-65-1

[50]: Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρης, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Β:Παράρτημα:Πίνακας Α-17,σελ 1263-4. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-74-0

[51]: Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρης, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Β:Κεφάλαιο 9:Κύκλοι παραγωγής ισχύος με ατμό και συνδυασμένοι κύκλοι σελ,809. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-74-0

[52]: Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρης, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Β:Παράρτημα:Πίνακας Α-4,σελ 1244. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-74-0

[53]: Θερμοδυναμική για μηχανικούς, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. Επιμέλεια Μετάφρασης Παναγιώτης Ε. Τσιακάρης, Επ. Καθ. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τόμος Β:Παράρτημα:Πίνακας Α-6,σελ 1251. Εκδόσεις Τζιόλα 1998. ISBN 960-7219-74-0

[54]:<http://autoline-eu.gr/> -  
/%CF%80%CF%8E%CE%BB%CE%B7%CF%83%CE%B7/%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CF%82/%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%AC-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82-%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%B7%CF%81%CF%8E%CE%BD/MAN-TGX-26-440--15112921171766852000

[55]: <http://www.mywage.gr/home/salary/elegkhos-misthou?job-id=833204000000>

[56]: <http://www.mywage.gr/home/salary/elegkhos-misthou?job-id=833204000000>

[57]: <http://www.ifilios.gr/kokkalis/test/fortiga.html>

[58]: <http://www.lagie.gr/systima-eggyimenon-timon/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/times-energeias-apo-ape-sithya-plin-fb/>

## Παράρτημα

### ΝΟΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΣ



Χάρτης Π1: Περιοχές τροφοδοσίας της μονάδας στο Νομό Λάρισας

Πίνακας Π1: Αριθμητικά στοιχεία τροφοδοσίας για τις περιοχές του Νομού Λάρισας

<input checked="" type="checkbox"/>	<b>ΝΟΜΟΣ</b>	<b>ΔΗΜΟΣ</b>	<b>ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΘΕΩΡ (ha)</b>	<b>ΘΕΩΡ. (GJ)</b>	<b>ΔΙΑΘ. (ha)</b>	<b>ΔΙΑΘ. (GJ)</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΓΙΑΣ	Κ. ΑΓΙΑΣ	154,70	2.769,59	77,35	1.384,80
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΓΙΑΣ	Κ. ΑΕΤΟΛΟΦΟΥ	612,00	10.956,64	306,00	5.478,32
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	Κ. ΑΜΥΓΔΑΛΗΣ	314,92	5.638,10	157,46	2.819,05
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΓΙΑΣ	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ	1.526,60	27.330,72	763,30	13.665,36
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	Κ. ΑΝΑΤΟΛΗΣ	22,95	410,87	11,48	205,44
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΓΙΑΣ	Κ. ΓΕΡΑΚΑΡΙΟΥ	556,32	9.959,89	278,16	4.979,94
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	Κ. ΔΗΜΗΤΡΑΣ	765,00	13.695,80	382,50	6.847,90
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΓΙΑΣ	Κ. ΕΛΛΑΦΟΥ	102,00	1.826,11	51,00	913,05
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	Κ. ΚΑΛΑΜΑΚΙΟΥ	1.344,36	24.068,08	672,18	12.034,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	Κ. ΚΑΣΤΡΙΟΥ	2.482,00	44.435,25	1.241,00	22.217,62
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	818,72	14.657,54	409,36	7.328,77
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΛΛΑΣΣΟΝΑΣ	Κ. ΓΑΛΑΝΟΒΡΥΣΗΣ	1.196,38	21.418,70	598,19	10.709,35
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	Κ. ΓΕΡΑΝΙΩΝ	1.045,50	18.717,59	522,75	9.358,79
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	Κ. ΓΙΑΝΝΩΤΩΝ	268,60	4.808,75	134,30	2.404,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	Κ. ΔΑΜΑΣΙΟΥ	2.261,85	40.493,90	1.130,92	20.246,95
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	Κ. ΔΟΛΙΚΗΣ	510,00	9.130,53	255,00	4.565,26
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	Κ. ΔΟΜΕΝΙΚΟΥ	2.040,00	36.522,12	1.020,00	18.261,06
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΛΛΑΣΣΟΝΑΣ	Κ. ΔΡΥΜΟΥ	1.141,55	20.437,17	570,78	10.218,58
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΛΛΑΣΣΟΝΑΣ	Κ. ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΥ	869,58	15.568,16	434,79	7.784,08
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΟΛΥΜΠΙΟΥ	Κ. ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	743,75	13.315,36	371,88	6.657,68
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	308,12	5.516,36	154,06	2.758,18
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΛΛΑΣΣΟΝΑΣ	Κ. ΚΕΦΑΛΟΒΡΥΣΟΥ	365,58	6.545,07	182,79	3.272,53

✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	Κ ΜΑΡΜΑΡΙΝΗΣ	746,84	13.370,75	373,42	6.685,37
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	Κ ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	1,02	18,26	,51	9,13
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΑΓΙΑΣ	Κ ΠΟΤΑΜΙΑΣ	448,04	8.021,17	224,02	4.010,59
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	Κ ΕΚΗΤΗΣ	51,00	913,05	25,50	456,53
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	Κ ΕΚΛΗΘΡΟΥ	,85	15,22	,42	7,61
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	Κ ΣΤΟΜΙΟΥ	216,37	3.873,63	108,18	1.936,81
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	Κ ΣΩΤΗΡΙΤΗΣ	29,75	532,61	14,88	266,31
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΛΛΑΣΙΩΝΑΣ	Δ ΕΛΛΑΣΙΩΝΟΣ	1.637,95	29.324,22	818,98	14.662,11
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	Κ ΑΖΩΡΟΥ (ΒΟΥΒΑΛΑΣ)	820,25	14.684,94	410,12	7.342,47
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΛΛΑΣΙΩΝΑΣ	Κ ΒΑΛΑΝΙΔΑΣ	1.628,62	29.157,13	814,31	14.578,57
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Κ ΒΕΡΔΙΚΟΥΤΗΣ	Κ ΒΕΡΔΙΚΟΥΤΗΣ	818,72	14.657,54	409,36	7.328,77
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΛΛΑΣΙΩΝΑΣ	Κ ΓΑΛΑΝΟΒΡΥΤΗΣ	1.196,38	21.418,70	598,19	10.709,35
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΟΛΥΜΠΙΟΥ	Κ ΚΟΚΚΙΝΟΓΕΙΟΥ	612,00	10.956,64	306,00	5.478,32
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΑΝΤΙΧΑΕΙΩΝ	Κ ΚΡΑΝΕΑΣ ΕΛΛΑΣΙΩΝΟΣ	106,25	1.902,19	53,12	951,10
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Κ ΚΑΡΥΑΣ	Κ ΚΡΥΟΒΡΥΤΗΣ	120,06	2.149,48	60,03	1.074,74
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΑΝΤΙΧΑΕΙΩΝ	Κ ΛΟΥΤΡΟΥ	110,50	1.978,28	55,25	989,14
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΟΛΥΜΠΙΟΥ	Κ ΛΟΦΟΥ	584,38	10.462,07	292,19	5.231,03
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	Κ ΛΥΚΟΥΔΙΟΥ	998,75	17.880,62	499,38	8.940,31
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΠΟΤΑΜΙΑΣ	Κ ΜΑΓΟΥΛΑΣ	327,25	5.858,76	163,62	2.929,38
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΠΟΤΑΜΙΑΣ	Κ ΜΕΓΑΛΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΧΩΡΙΟΥ	272,00	4.869,62	136,00	2.434,81
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΠΟΤΑΜΙΑΣ	Κ ΜΕΣΟΧΩΡΙΟΥ	247,78	4.435,92	123,89	2.217,96
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	Κ ΜΗΛΕΑΣ	909,50	16.282,78	454,75	8.141,39
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΟΛΥΜΠΙΟΥ	Κ ΟΛΥΜΠΙΑΔΟΣ	384,62	6.885,94	192,31	3.442,97



✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	Κ. ΠΥΘΙΟΥ	549,10	9.830,54	274,55	4.915,27
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΛΛΑΣΣΟΝΑΣ	Κ. ΣΤΕΦΑΝΟΒΟΥΝΟΥ	931,13	16.670,07	465,57	8.335,03
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	Κ. ΣΥΚΕΑΣ	374,00	6.695,72	187,00	3.347,86
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΛΛΑΣΣΟΝΑΣ	Κ. ΤΣΑΡΙΤΣΑΝΗΣ	2.169,96	38.848,88	1.084,98	19.424,44
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	Κ. ΦΛΑΜΠΟΥΡΟΥ	531,25	9.510,97	265,62	4.755,48
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΡΙΣΗΣ	5.440,00	97.392,32	2.720,00	48.696,16
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	3.573,40	63.974,58	1.786,70	31.987,29
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ	6.163,78	110.350,06	3.081,89	55.175,03
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	Κ. ΑΓΝΑΝΤΕΡΗΣ	2.181,37	39.053,10	1.090,69	19.526,55
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ	25,50	456,53	12,75	228,26
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	Κ. ΑΜΥΓΔΑΛΕΑΣ	791,01	14.161,45	395,50	7.080,73
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΒΟΥΝΑΔΩΝ	1.459,11	26.122,45	729,56	13.061,22
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΓΑΛΗΝΗΣ (ΑΝΩ ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ)	1.632,00	29.217,70	816,00	14.608,85
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΓΛΑΥΚΗΣ	5.508,00	98.609,72	2.754,00	49.304,86
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΔΟΞΑΡΑ	2.483,62	44.464,16	1.241,81	22.232,08
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	Κ. ΕΛΑΤΕΙΑΣ	389,00	6.964,31	194,50	3.482,16
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ	1.105,42	19.790,42	552,71	9.895,21
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	Κ. ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ	2.860,25	51.207,06	1.430,12	25.603,53
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	Κ. ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΥ	138,98	2.488,07	69,49	1.244,03
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΖΑΠΤΕΙΟΥ	3.277,60	58.678,87	1.638,80	29.339,44
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	Κ. ΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ	1.092,80	19.564,44	546,40	9.782,22
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	Κ. ΚΙΛΕΛΕΡ (ΚΥΦΕΛΗΣ)	2.707,68	48.475,51	1.353,84	24.237,75
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	Κ. ΚΟΥΤΣΟΚΕΡΟΥ	569,50	10.195,76	284,75	5.097,88

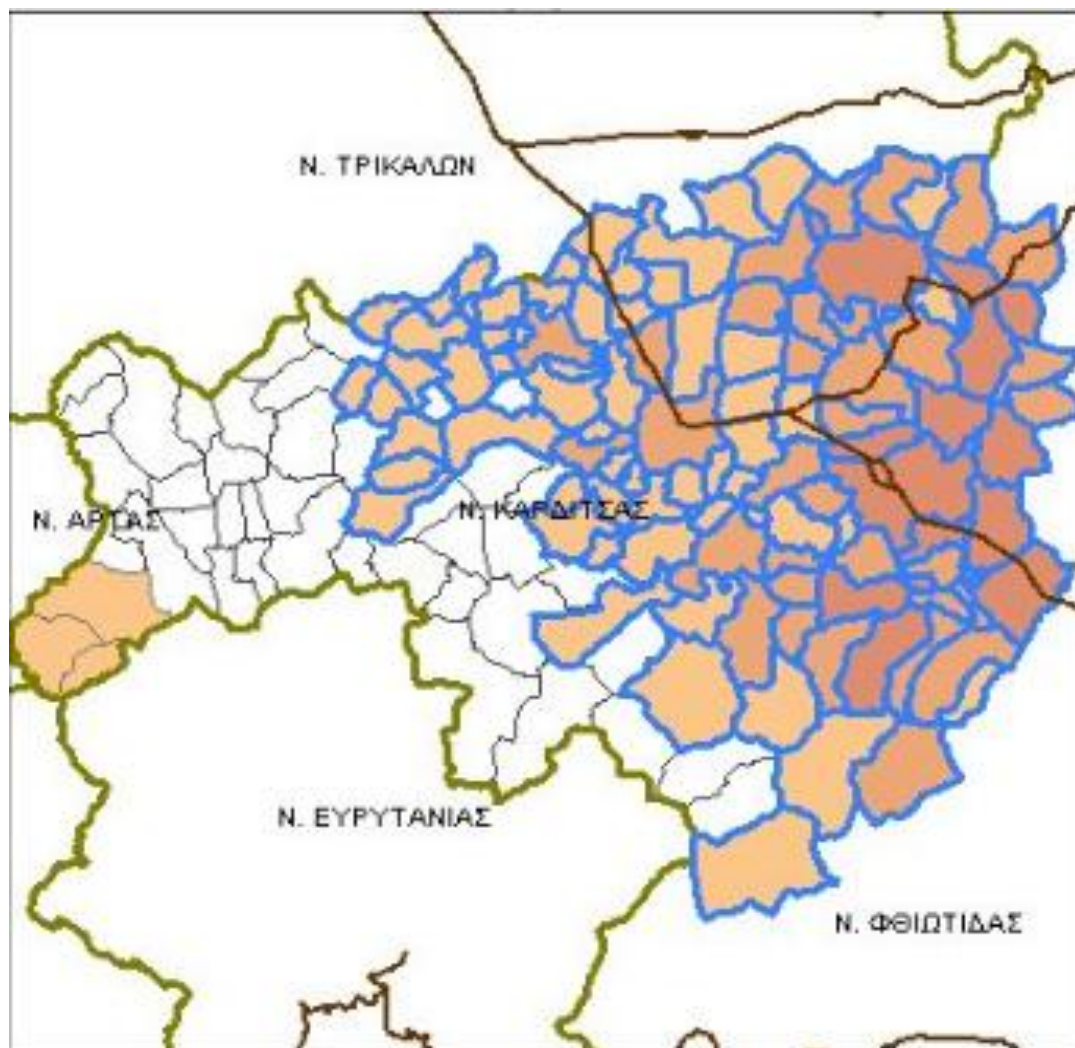
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΚΥΤΙΑΡΙΣΣΟΥ	3.246,06	58.114,30	1.623,03	29.057,15
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	Κ. ΚΥΦΕΛΟΧΩΡΙΟΥ	399,42	7.150,73	199,71	3.575,36
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	Κ. ΛΟΥΤΡΟΥ	1.593,80	28.533,82	796,90	14.266,91
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	Κ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	901,00	16.130,60	450,50	8.065,30
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	Κ. ΜΑΝΔΡΑΣ	804,08	14.395,50	402,04	7.197,75
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΤΟΥ	2.235,50	40.022,16	1.117,75	20.011,08
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	Κ. ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΟΝΑΣΤΗΡΙΟΥ	3.582,41	64.135,89	1.791,20	32.067,94
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΜΕΛΙΑΣ	5.737,50	102.718,46	2.868,75	51.359,23
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	Κ. ΜΕΛΙΣΣΗΣ	2.773,12	49.647,26	1.386,56	24.823,63
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙΟΥ	3.464,68	62.028,26	1.732,34	31.014,13
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΜΙΚΡΟΥ ΒΟΥΝΟΥ	2.363,00	42.304,79	1.181,50	21.152,39
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΜΟΞΙΧΩΡΙΟΥ	1.788,11	32.012,55	894,06	16.006,28
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΜΥΡΩΝ	3.489,25	62.468,04	1.744,62	31.234,02
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΝΕΑΣ ΛΕΥΚΗΣ	920,55	16.480,61	460,28	8.240,30
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	Κ. ΝΕΟΥ ΠΕΡΙΒΟΛΙΟΥ	3.360,39	60.161,06	1.680,20	30.080,53
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	Κ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	424,66	7.602,69	212,33	3.801,34
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΝΕΩΝ ΚΑΡΥΩΝ	3.315,00	59.348,44	1.657,50	29.674,22
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΝΙΚΑΙΑΣ	4.590,00	82.174,77	2.295,00	41.087,38
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	Κ. ΝΙΚΗΣ	3.190,05	57.111,47	1.595,02	28.555,73
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	Κ. ΟΜΟΛΙΟΥ	314,71	5.634,30	157,36	2.817,15
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	Κ. ΟΣΙΣΗΣ	205,15	3.672,76	102,57	1.836,38
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	Κ. ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΥ	289,00	5.173,97	144,50	2.586,98
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	2.601,00	46.565,70	1.300,50	23.282,85
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	Κ. ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	132,18	2.366,33	66,09	1.183,16
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	Κ. ΡΑΧΟΥΛΑΣ	2.229,44	39.913,73	1.114,72	19.956,87
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	Κ. ΣΥΚΟΥΡΙΟΥ	968,06	17.331,27	484,03	8.665,63
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	Κ. ΣΩΤΗΡΙΟΥ	4.145,54	74.217,51	2.072,77	37.108,76
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	Κ. ΤΕΡΨΙΘΕΑΣ	3.029,40	54.235,35	1.514,70	27.117,67
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΧΑΛΚΗΣ	5.159,42	92.369,01	2.579,71	46.184,50
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	Κ. ΧΑΡΑΣ	1.552,95	27.802,46	776,48	13.901,23
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	Κ. ΨΥΧΙΚΟΥ	1.193,40	21.365,44	596,70	10.682,72
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΟΣ	1.955,00	35.000,36	977,50	17.500,18
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	3.040,88	54.440,79	1.520,44	27.220,39
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	Κ. ΑΙΓΑΝΗΣ	639,62	11.451,21	319,81	5.725,60
✓	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	Κ. ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΕΙΟΥ	1.014,73	18.166,71	507,36	9.083,36

✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΑΜΠΕΛΩΝΑ	Κ ΒΡΥΟΤΟΠΟΥ	479,40	8.582,70	239,70	4.291,35
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	Κ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	255,00	4.565,26	127,50	2.282,63
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΓΟΝΝΩΝ	Κ ΓΟΝΝΩΝ	678,20	12.141,85	339,10	6.070,93
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΑΜΠΕΛΩΝΑ	Κ ΔΕΛΕΡΙΩΝ	851,28	15.240,38	425,64	7.620,19
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΤΥΡΝΑΒΟΥ	Κ ΔΕΝΔΡΩΝ	1.885,72	33.760,13	942,86	16.880,07
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΓΟΝΝΩΝ	Κ ΙΤΕΑΣ	138,12	2.472,85	69,06	1.236,43
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΓΟΝΝΩΝ	Κ ΚΑΛΑΜΠΕΥΚΗΣ	1.062,50	19.021,94	531,25	9.510,97
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	Κ ΚΡΑΝΕΑΣ	510,00	9.130,53	255,00	4.565,26
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	Κ ΠΑΛΑΙΟΠΥΡΓΟΥ	480,25	8.597,92	240,12	4.298,96
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	Κ ΠΥΡΓΕΤΟΥ	1.190,00	21.304,57	595,00	10.652,28
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	Κ ΡΑΨΑΝΗΣ	69,70	1.247,84	34,85	623,92
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΑΜΠΕΛΩΝΑ	Κ ΡΟΔΙΑΣ	438,60	7.852,26	219,30	3.926,13
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	Κ ΦΑΛΑΝΘΗΣ	1.224,00	21.913,27	612,00	10.956,64
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	Δ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	4.420,00	79.131,26	2.210,00	39.565,63
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΝΙΠΠΕΙΑ	Κ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	816,42	14.616,46	408,21	7.308,23
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ ΑΜΠΕΛΕΙΑΣ	2.295,00	41.087,38	1.147,50	20.543,69
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	Κ ΑΝΤΙΛΛΕΙΟΥ	884,19	15.829,60	442,09	7.914,80
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ ΒΑΜΒΑΚΟΥΣ	2.074,00	37.130,82	1.037,00	18.565,41
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΕΝΙΠΠΕΙΑ	Κ ΒΑΣΙΛΗ	1.456,90	26.082,88	728,45	13.041,44
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	Κ ΒΡΥΣΙΩΝ	1.530,00	27.391,59	765,00	13.695,80
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ ΔΑΣΟΛΟΦΟΥ	1.976,59	35.386,89	988,30	17.693,45
✓	N. ΛΑΡΙΣΙΑΣ	Δ ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	Κ ΔΕΝΔΡΩΝ	419,37	7.508,03	209,69	3.754,02

✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	Κ. ΔΙΛΟΦΟΥ	559,98	10.025,32	279,99	5.012,66
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΕΡΕΤΡΙΑΣ	2.853,01	51.077,40	1.426,50	25.538,70
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	Κ. ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	1.603,10	28.700,30	801,55	14.350,15
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΚΑΤΩ ΒΑΣΙΛΙΚΩΝ	1.860,22	33.303,61	930,11	16.651,80
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΚΑΤΩΧΩΡΙΟΥ	2.000,43	35.813,74	1.000,22	17.906,87
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΚΡΗΝΗΣ	5.671,20	101.531,49	2.835,60	50.765,75
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΜΕΓΑΛΟΥ ΕΥΥΔΡΙΟΥ	2.847,50	50.978,79	1.423,75	25.489,40
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	Κ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	1.411,78	25.275,04	705,89	12.637,52
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΝΕΡΑΙΔΑΣ	1.381,00	24.723,95	690,50	12.361,98
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΠΟΛΥΔΑΜΕΙΟΥ	3.466,37	62.058,39	1.733,18	31.029,19
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΠΟΛΥΝΕΡΙΟΥ	1.742,50	31.195,98	871,25	15.597,99
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΣΙΤΟΚΩΡΟΥ	2.049,35	36.689,51	1.024,68	18.344,76
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΜΕΓΑΛΟΥ ΕΥΥΔΡΙΟΥ	2.847,50	50.978,79	1.423,75	25.489,40
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	Κ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	1.411,78	25.275,04	705,89	12.637,52
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΝΕΡΑΙΔΑΣ	1.381,00	24.723,95	690,50	12.361,98
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΠΟΛΥΔΑΜΕΙΟΥ	3.466,37	62.058,39	1.733,18	31.029,19
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΠΟΛΥΝΕΡΙΟΥ	1.742,50	31.195,98	871,25	15.597,99
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΣΙΤΟΚΩΡΟΥ	2.049,35	36.689,51	1.024,68	18.344,76
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	Κ. ΣΚΟΠΙΑΣ	529,11	9.472,62	264,55	4.736,31
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΣΚΟΤΟΥΣΣΗΣ	7.540,84	135.003,71	3.770,42	67.501,86
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΣΤΑΥΡΟΥ	3.134,38	56.114,72	1.567,19	28.057,36
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΕΝΠΗΠΕΑ	Κ. ΥΠΕΡΕΙΑΣ	1.105,00	19.782,82	552,50	9.891,41
✓	Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	Κ. ΧΑΛΚΙΑΔΩΝ	2.754,00	49.304,86	1.377,00	24.652,43
<b>ΑΘΡΟΙΣΜΑ:</b>				<b>224.677,20</b>	<b>4.022.395,86</b>	<b>112.338,60</b>	<b>2.011.197,93</b>



## ΝΟΜΟΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ



Χάρτης Π2: Περιοχές τροφοδοσίας της μονάδας στο Νομό Καρδίτσας

Πίνακας Π2: Αριθμητικά στοιχεία τροφοδοσίας για τις περιοχές του Νομού Καρδίτσας

<input checked="" type="checkbox"/>	<u>ΝΟΜΟΣ</u>	<u>ΔΗΜΟΣ</u>	<u>ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ</u>	<u>ΘΕΩΡ. (m)</u>	<u>ΘΕΩΡ. (GJ)</u>	<u>ΔΙΑΘ. (m)</u>	<u>ΔΙΑΘ. (GJ)</u>
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΗΣ	532,95	9.541,40	266,48	4.770,70
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	2,55	45,65	1,28	22,83
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΛΑΜΑ	Δ. ΠΑΛΑΜΑ	3.997,12	71.560,53	1.998,56	35.780,26
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	7.220,10	129.261,37	3.610,05	64.630,68
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1.101,63	19.722,40	550,81	9.861,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Κ. ΑΓΙΑΣ ΤΡΙΑΔΟΣ	178,50	3.195,69	89,25	1.597,84
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Κ. ΑΓΙΟΠΗΓΗΣ	399,50	7.152,25	199,75	3.576,12
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΑΓΙΟΥ ΒΗΣΣΑΡΙΟΥ	1.795,20	32.139,47	897,60	16.069,73
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ. ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ	221,00	3.956,56	110,50	1.978,28
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΛΑΜΑ	Κ. ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	233,75	4.184,83	116,88	2.092,41
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΑΓΙΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΥ	374,00	6.695,72	187,00	3.347,86
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	Κ. ΑΓΝΑΝΤΕΡΟΥ	493,00	8.826,18	246,50	4.413,09
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΜΟΥ	Κ. ΑΜΠΕΛΙΚΟΥ	178,50	3.195,69	89,25	1.597,84
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΑΜΠΕΛΟΥ	255,00	4.565,26	127,50	2.282,63
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ	1.564,00	28.000,29	782,00	14.000,15
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΑΝΥΓΕΙΟΥ	297,50	5.326,14	148,75	2.663,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	Κ. ΑΠΔΕΑΣ	15,72	281,52	7,86	140,76
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Κ. ΑΡΤΕΣΙΑΝΟΥ	718,25	12.858,83	359,12	6.429,41
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Κ. ΑΣΗΜΟΚΩΡΡΙΟΥ	297,50	5.326,14	148,75	2.663,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΦΥΛΛΟΥ	Κ. ΑΣΤΡΙΤΣΗΣ	357,00	6.391,37	178,50	3.195,69
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Κ. ΑΧΛΑΔΕΑΣ	919,19	16.456,26	459,60	8.228,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Ν. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΛΑΜΑ	Κ. ΒΛΟΧΟΥ	850,00	15.217,55	425,00	7.608,78

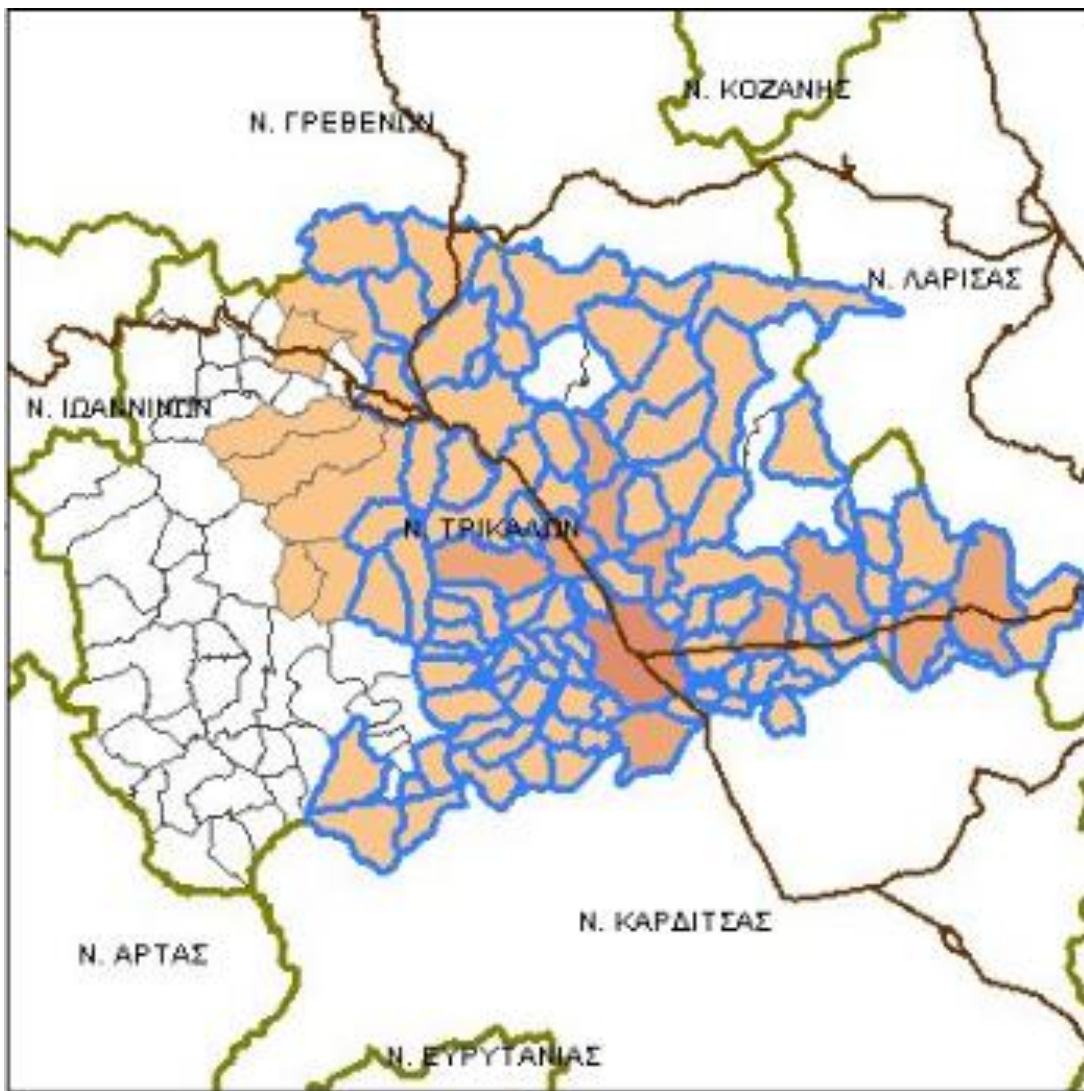
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ. ΓΕΛΑΝΘΗΣ	66,30	1.186,97	33,15	593,48
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΓΕΦΥΡΙΩΝ	3.383,00	60.565,85	1.691,50	30.282,92
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ. ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ	153,00	2.739,16	76,50	1.369,58
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΛΑΜΑ	Κ. ΓΟΡΓΟΒΙΤΩΝ	848,30	15.187,11	424,15	7.593,56
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Κ. ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΥ	2.329,00	41.696,09	1.164,50	20.848,04
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΔΑΔΟΧΩΡΙΟΥ	637,50	11.413,16	318,75	5.706,58
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	Κ. ΔΑΦΝΟΣΠΗΛΙΑΣ	145,35	2.602,20	72,68	1.301,10
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ. ΕΛΛΗΝΟΚΛΑΙΤΡΟΥ	2,55	45,65	1,28	22,83
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΘΩΜΗΣ	Κ. ΕΛΛΗΝΟΤΥΡΓΟΥ	71,40	1.278,27	35,70	639,14
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΑΡΝΗΣ	Κ. ΕΡΜΗΤΣΙΟΥ	1.413,98	25.314,39	706,99	12.657,20
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	Κ. ΖΑΪΜΟΥ	163,13	2.920,55	81,57	1.460,28
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΕΝΕΛΑΪΔΑΣ	Κ. ΘΡΑΥΤΙΜΙΟΥ	76,50	1.369,58	38,25	684,79
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΦΥΛΛΟΥ	Κ. ΠΤΕΑΣ	1.644,75	29.445,96	822,38	14.722,98
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΤΑΜΟΥ	Κ. ΚΑΛΛΙΘΗΡΟΥ	306,00	5.478,32	153,00	2.739,16
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	Κ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	590,92	10.579,24	295,46	5.289,62
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Κ. ΚΑΛΟΓΡΙΑΝΩΝ	140,25	2.510,90	70,12	1.255,45
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΘΩΜΗΣ	Κ. ΚΑΝΑΛΩΝ	244,38	4.375,05	122,19	2.187,52
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΘΩΜΗΣ	Κ. ΚΑΠΠΑ	153,00	2.739,16	76,50	1.369,58
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΚΑΠΠΑΔΟΚΙΚΟΥ	878,22	15.722,77	439,11	7.861,39
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Κ. ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑΣ	411,40	7.365,29	205,70	3.682,65
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΚΑΡΠΟΧΩΡΙΟΥ	867,00	15.521,90	433,50	7.760,95
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΕΝΕΛΑΪΔΑΣ	Κ. ΚΕΔΡΟΥ	1.292,00	23.130,68	646,00	11.565,34
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΣΤΗΡΑ	Κ. ΚΕΡΑΣΕΑΣ	8,50	152,18	4,25	76,09

✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΠΑΛΑΜΑ	Κ ΚΟΚΚΙΝΑ	1.062,50	19.021,94	531,25	9.510,97
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΠΑΜΠΣΟΥ	Κ ΚΡΑΝΕΑΣ	272,00	4.869,62	136,00	2.434,81
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	253,72	4.542,44	126,86	2.271,22
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΝΕΒΡΟΠΟΛΗΣ ΑΓΡΑΦΩΝ	Κ ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΥ	11,90	213,05	5,95	106,52
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ ΚΡΥΟΠΗΓΗΣ	3,82	68,48	1,91	34,24
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Κ ΚΤΙΜΕΝΗΣ	549,10	9.830,54	274,55	4.915,27
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΑΡΗΣ	Κ ΚΥΒΕΛΗΣ	1.810,50	32.413,38	905,25	16.206,69
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ ΛΑΖΑΡΙΝΑΣ	44,20	791,31	22,10	395,66
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΤΑΜΑΣΙΟΥ	Κ ΛΕΟΝΤΑΡΙΟΥ	1.275,00	22.826,32	637,50	11.413,16
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΦΥΛΛΟΥ	Κ ΛΕΥΚΗΣ	892,50	15.978,43	446,25	7.989,21
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΙΘΩΠΗΣ	Κ ΛΟΒΑΔΑΣ	71,40	1.278,27	35,70	639,14
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΕΝΕΛΑΙΔΑΣ	Κ ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗΣ	5,86	105,00	2,93	52,50
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΕΝΕΛΑΙΔΑΣ	Κ ΛΟΥΤΡΟΥ	580,12	10.385,98	290,06	5.192,99
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ ΜΑΓΟΥΛΙΤΣΗΣ	25,50	456,53	12,75	228,26
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΚΑΜΠΟΥ	Κ ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	1.487,50	26.630,71	743,75	13.315,36
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Κ ΜΑΡΑΘΕΑΣ	170,00	3.043,51	85,00	1.521,76
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΠΑΛΑΜΑ	Κ ΜΑΡΚΟΥ	684,25	12.250,13	342,12	6.125,06
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ ΜΑΣΧΟΛΟΥΡΙΟΥ	1.530,00	27.391,59	765,00	13.695,80
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΑΡΗΣ	Κ ΜΑΤΑΡΑΓΚΑΣ	1.440,75	25.793,75	720,38	12.896,87
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ ΜΑΥΡΑΧΑΔΩΝ	1.411,00	25.261,13	705,50	12.630,57
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΙΟΥ	310,25	5.554,41	155,12	2.777,20
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΚΑΜΠΟΥ	Κ ΜΕΛΙΣΣΗΣ	178,50	3.195,69	89,25	1.597,84
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙΟΥ	595,00	10.652,28	297,50	5.326,14



✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΛΑΜΑ	Κ. ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ	642,60	11.504,47	321,30	5.752,23
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΕΩΣ	518,50	9.282,71	259,25	4.641,35
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΛΑΞΗΡΑ	Κ. ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙΟΥ	22,10	395,66	11,05	197,83
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΜΥΡΙΝΗΣ	442,00	7.913,13	221,00	3.956,56
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ. ΕΙΔΟΝΕΡΙΟΥ	314,50	5.630,49	157,25	2.815,25
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΦΥΛΛΟΥ	Κ. ΟΡΦΑΝΩΝ	553,35	9.906,63	276,68	4.953,31
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Κ. ΠΑΛΑΙΟΚΚΛΗΣΙΟΥ	308,12	5.516,36	154,06	2.758,18
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΜΠΙΟΥ	Κ. ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ	246,50	4.413,09	123,25	2.206,54
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	Κ. ΠΑΛΙΟΥΡΙΟΥ	1.173,00	21.000,22	586,50	10.500,11
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΠΑΙΣΧΑΛΤΗΣ	2.465,00	44.130,90	1.232,50	22.065,45
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Κ. ΠΕΔΙΝΟΥ	301,75	5.402,23	150,88	2.701,12
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΦΥΛΛΟΥ	Κ. ΠΕΤΡΙΝΟΥ	510,00	9.130,53	255,00	4.565,26
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	Κ. ΠΕΥΚΟΦΥΤΟΥ	2,12	38,04	1,06	19,02
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ. ΠΟΡΤΙΤΣΗΣ	114,75	2.054,37	57,38	1.027,18
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	Κ. ΠΡΟΑΣΤΙΟΥ	429,25	7.684,86	214,62	3.842,43
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ	348,50	6.239,20	174,25	3.119,60
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΠΤΕΛΟΠΟΥΛΑΣ	212,50	3.804,39	106,25	1.902,19
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΘΩΜΗΣ	Κ. ΠΥΡΓΟΥ ΙΘΩΜΗΣ	2,12	38,04	1,06	19,02
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΑΡΝΗΣ	Κ. ΠΥΡΓΟΥ ΚΙΕΡΙΟΥ	671,50	12.021,86	335,75	6.010,93
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΤΑΜΟΥ	Κ. ΡΑΧΟΥΛΑΣ	3,40	60,87	1,70	30,44
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	Κ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	3,40	60,87	1,70	30,44
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΜΠΙΟΥ	Κ. ΡΙΖΟΒΟΥΝΙΟΥ	258,82	4.633,74	129,41	2.316,87
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΤΑΜΟΥ	Κ. ΡΑΧΟΥΛΑΣ	3,40	60,87	1,70	30,44
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	Κ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	3,40	60,87	1,70	30,44
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΠΑΜΠΙΟΥ	Κ. ΡΙΖΟΒΟΥΝΙΟΥ	258,82	4.633,74	129,41	2.316,87
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Κ. ΡΟΥΣΣΟΥ	238,00	4.260,91	119,00	2.130,46
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΚΑΜΠΟΥ	Κ. ΣΤΑΥΡΟΥ	255,00	4.565,26	127,50	2.282,63
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΦΥΛΛΟΥ	Κ. ΣΥΚΕΩΝ	1.171,30	20.969,78	585,65	10.484,89
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΙΘΩΜΗΣ	Κ. ΦΑΝΑΡΙΟΥ	606,90	10.865,33	303,45	5.432,67
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	Κ. ΦΙΛΙΑΣ	2.230,40	39.930,85	1.115,20	19.965,43
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	Κ. ΦΡΑΓΚΟΥ	190,40	3.408,73	95,20	1.704,37
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΝΕΒΡΟΠΟΛΗΣ ΑΓΡΑΦΩΝ	Κ. ΦΥΛΑΚΤΗΣ	5,95	106,52	2,98	53,26
✓	N. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	Δ. ΦΥΛΛΟΥ	Κ. ΦΥΛΛΟΥ	2.580,60	46.200,48	1.290,30	23.100,24
<b>ΑΘΡΟΙΣΜΑ:</b>				<b>69.316,12</b>	<b>1.240.966,55</b>	<b>34.658,06</b>	<b>620.483,28</b>

ΝΟΜΟΣ ΤΡΙΚΑΛΩΝ



Χάρτης Π3: Περιοχές τροφοδοσίας της μονάδας στο Νομό Τρικάλων

Πίνακας Π3: Αριθμητικά στοιχεία τροφοδοσίας για τις περιοχές του Νομού Τρικάλων

<input checked="" type="checkbox"/>	<b>ΝΟΜΟΣ</b>	<b>ΔΗΜΟΣ</b>	<b>ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΘΕΩΡ. (m)</b>	<b>ΘΕΩΡ. (GJ)</b>	<b>ΔΙΑΘ. (m)</b>	<b>ΔΙΑΘ. (GJ)</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	184,88	3.309,82	92,44	1.654,91
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΧΑΣΙΩΝ	Κ. ΑΓΙΟΦΥΛΛΟΥ	209,73	3.754,78	104,86	1.877,39
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΧΑΣΙΩΝ	Κ. ΑΓΝΑΝΤΙΑΣ	95,90	1.716,84	47,95	858,42
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΧΑΣΙΩΝ	Κ. ΑΣΠΡΟΚΚΛΗΣΙΑΣ	177,43	3.176,51	88,71	1.588,26
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Κ. ΑΥΡΑΣ	249,05	4.458,74	124,52	2.229,37
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	Κ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	986,00	17.652,36	493,00	8.826,18
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΧΑΣΙΩΝ	Κ. ΓΑΒΡΟΥ	113,90	2.039,15	56,95	1.019,58
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΤΥΜΦΑΙΩΝ	Κ. ΓΕΡΑΚΑΡΙΟΥ	22,49	402,66	11,25	201,33
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΛΕΙΝΟΒΟΥ	Κ. ΓΛΥΚΟΜΗΛΕΑΣ	3,66	65,44	1,83	32,72
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Κ. ΔΙΑΒΑΣ	99,96	1.789,58	49,98	894,79
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	Κ. ΘΕΟΠΕΤΡΑΣ	391,00	7.000,07	195,50	3.500,04
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΛΕΙΝΟΒΟΥ	Κ. ΚΑΛΟΓΡΙΑΝΗΣ	3,91	70,00	1,96	35,00
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Κ. ΚΑΣΤΡΑΚΙΟΥ	49,30	882,62	24,65	441,31
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΤΥΜΦΑΙΩΝ	Κ. ΚΟΝΙΣΚΟΥ	29,93	535,89	14,97	267,94
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Κ. ΚΡΥΑΣ ΒΡΥΣΗΣ	28,90	517,40	14,45	258,70
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΤΥΜΦΑΙΩΝ	Κ. ΜΑΥΡΕΛΙΟΥ	6,54	117,18	3,27	58,59
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Κ. ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΕΡΑΣΕΑΣ	45,56	815,66	22,78	407,83
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΧΑΣΙΩΝ	Κ. ΟΕΥΝΕΙΑΣ	219,81	3.935,32	109,91	1.967,66
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	Κ. ΣΑΡΑΚΗΝΑΣ	102,00	1.826,11	51,00	913,05
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΧΑΣΙΩΝ	Κ. ΣΚΕΠΑΡΙΟΥ	34,49	617,41	17,24	308,70
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΣΠΑΘΑΔΩΝ	807,50	14.456,67	403,75	7.228,34
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΤΥΜΦΑΙΩΝ	Κ. ΦΛΑΜΠΟΥΡΕΣΙΟΥ	114,79	2.055,13	57,40	1.027,57
<input checked="" type="checkbox"/>	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ ΤΥΜΦΑΙΩΝ	Κ. ΦΩΤΕΝΟΥ	29,11	521,20	14,56	260,60

☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΛΗΣ	Δ. ΠΥΛΗΣ	14,45	258,70	7,22	129,35
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	2.412,72	43.195,02	1.206,36	21.597,51
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΡΚΑΔΟΝΑΣ	Δ. ΦΑΡΚΑΔΟΝΟΣ	612,00	10.956,64	306,00	5.478,32
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	Κ. ΑΓΙΑΣ ΚΥΡΙΑΚΗΣ	196,35	3.515,25	98,18	1.757,63
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΗΟΚΑΣΤΡΟΥ	Κ. ΑΓΡΕΛΙΑΣ	56,44	1.010,45	28,22	505,22
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΗΟΚΑΣΤΡΟΥ	Κ. ΑΡΔΑΝΙΟΥ	524,02	9.381,62	262,01	4.690,81
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΡΚΑΔΟΝΑΣ	Κ. ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙΟΥ	105,02	1.880,13	52,51	940,06
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	Κ. ΓΕΝΕΣΙΟΥ	59,50	1.065,23	29,75	532,61
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΟΙΚΑΛΙΑΣ	Κ. ΓΕΩΡΓΑΝΑΔΩΝ	194,31	3.478,73	97,16	1.739,37
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	Κ. ΓΑΙΝΟΥ	154,70	2.769,59	77,35	1.384,80
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΓΟΜΦΩΝ	Κ. ΓΟΜΦΩΝ	369,24	6.610,50	184,62	3.305,25
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	Κ. ΓΟΡΓΟΓΥΡΙΟΥ	105,74	1.893,06	52,87	946,53
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΡΚΑΔΟΝΑΣ	Κ. ΓΡΙΖΑΝΟΥ	459,00	8.217,48	229,50	4.108,74
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ	Κ. ΔΕΝΔΡΟΧΩΡΙΟΥ	65,45	1.171,75	32,72	585,88
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	Κ. ΔΙΑΛΕΚΤΟΥ	269,88	4.831,57	134,94	2.415,79
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	Κ. ΔΙΠΟΤΑΜΟΥ	221,00	3.956,56	110,50	1.978,28
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΓΟΜΦΩΝ	Κ. ΔΡΟΣΕΡΟΥ	141,57	2.534,48	70,78	1.267,24
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΕΙΩΝ	Κ. ΕΛΕΥΘΕΡΟΧΩΡΙΟΥ	146,50	2.622,74	73,25	1.311,37
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΕΛΛΗΝΟΚΑΣΤΡΟΥ	3,40	60,87	1,70	30,44
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΡΚΑΔΟΝΑΣ	Κ. ΖΑΡΚΟΥ	986,00	17.652,36	493,00	8.826,18
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΗΟΚΑΣΤΡΟΥ	Κ. ΖΗΛΕΥΤΗΣ	133,88	2.396,76	66,94	1.198,38
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ	Κ. ΚΑΤΩ ΕΛΑΤΗΣ	37,82	677,18	18,91	338,59
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΡΚΑΔΟΝΑΣ	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	134,13	2.401,33	67,06	1.200,66
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	Κ. ΚΕΦΑΛΟΒΡΥΣΟΥ	374,00	6.695,72	187,00	3.347,86
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΛΗΣ	Κ. ΚΟΤΡΩΝΙΟΥ	44,52	797,10	22,26	398,55
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΟΙΚΑΛΙΑΣ	Κ. ΚΡΗΝΗΣ	399,50	7.152,25	199,75	3.576,12
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΗΟΚΑΣΤΡΟΥ	Κ. ΛΙΟΠΡΑΣΟΥ	9,35	167,39	4,68	83,70
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	Κ. ΛΟΓΓΟΥ	36,98	661,96	18,49	330,98
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΓΟΜΦΩΝ	Κ. ΛΥΓΑΡΙΑΣ	162,94	2.917,20	81,47	1.458,60
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	Κ. ΜΕΓΑΛΟΥ ΚΕΦΑΛΟΒΡΥΣΟΥ	420,75	7.532,69	210,38	3.766,34
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	Κ. ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙΟΥ	250,75	4.489,18	125,38	2.244,59
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	Κ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	765,00	13.695,80	382,50	6.847,90
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	Κ. ΜΕΓΑΡΧΗΣ	616,25	11.032,72	308,12	5.516,36
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΓΟΜΦΩΝ	Κ. ΜΟΥΡΙΑΣ	136,85	2.450,03	68,42	1.225,01
☑	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΝΟΜΗΣ	246,84	4.419,18	123,42	2.209,59



✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	Κ. ΕΥΛΟΠΑΡΟΙΚΟΥ	7,14	127,83	3,57	63,91
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΟΙΚΑΛΙΑΣ	Κ. ΟΙΚΑΛΙΑΣ (ΝΕΟΟΙΚΟΥ)	661,30	11.839,25	330,65	5.919,63
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΛΗΣ	Κ. ΠΑΛΑΙΟΚΑΡΥΑΣ	,51	9,13	,26	4,57
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΓΟΜΦΩΝ	Κ. ΠΑΛΑΙΟΜΟΝΑΣΤΗΡΟΥ	468,05	8.379,54	234,03	4.189,77
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΗΟΚΑΣΤΡΟΥ	Κ. ΠΑΛΑΙΟΠΥΡΓΟΥ	221,00	3.956,56	110,50	1.978,28
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΕΙΩΝ	Κ. ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΥ	69,19	1.238,71	34,60	619,35
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΒΕΤΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	Κ. ΠΑΤΟΥΛΙΑΣ	170,00	3.043,51	85,00	1.521,76
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΠΕΤΡΟΠΟΥ	326,40	5.843,54	163,20	2.921,77
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΟΙΚΑΛΙΑΣ	Κ. ΠΕΤΡΩΤΟΥ	350,20	6.269,63	175,10	3.134,82
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΓΟΜΦΩΝ	Κ. ΠΗΓΗΣ	270,51	4.842,99	135,26	2.421,49
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΦΑΡΙΚΑΔΩΝΑΣ	Κ. ΠΗΝΕΙΑΔΟΣ	475,15	8.506,61	237,58	4.253,31
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΕΙΩΝ	Κ. ΠΑΛΕΙΑΣ	57,38	1.027,18	28,69	513,59
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΠΛΑΤΑΝΟΥ	267,75	4.793,53	133,88	2.396,76
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	Κ. ΠΡΙΝΟΥ	273,28	4.892,44	136,64	2.446,22
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	Κ. ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ	79,56	1.424,36	39,78	712,18
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΡΑΒΑΣ	340,00	6.087,02	170,00	3.043,51
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΡΙΖΩΜΑΤΟΣ	634,10	11.352,29	317,05	5.676,15
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΛΗΣ	Κ. ΡΟΠΟΤΟΥ	21,16	378,76	10,58	189,38
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΣΕΡΒΩΤΩΝ	340,51	6.096,15	170,26	3.048,08
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΝΔΑΙΩΝ	Κ. ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΪΚΩΝ	,76	13,70	,38	6,85
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΤΑΣΙΑΡΧΩΝ	535,47	9.586,45	267,73	4.793,22
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ	365,50	6.543,55	182,75	3.271,77
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΕΙΩΝ	Κ. ΦΗΚΗΣ	298,69	5.347,45	149,34	2.673,72
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΡΑΒΑΣ	340,00	6.087,02	170,00	3.043,51
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	Κ. ΡΙΖΩΜΑΤΟΣ	634,10	11.352,29	317,05	5.676,15
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΛΗΣ	Κ. ΡΟΠΟΤΟΥ	21,16	378,76	10,58	189,38
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΣΕΡΒΩΤΩΝ	340,51	6.096,15	170,26	3.048,08
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΥΝΔΑΙΩΝ	Κ. ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΪΚΩΝ	,76	13,70	,38	6,85
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΤΑΣΙΑΡΧΩΝ	535,47	9.586,45	267,73	4.793,22
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΕΛΙΝΝΑΙΩΝ	Κ. ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ	365,50	6.543,55	182,75	3.271,77
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΕΙΩΝ	Κ. ΦΗΚΗΣ	298,69	5.347,45	149,34	2.673,72
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΠΑΛΕΙΩΝ	Κ. ΦΛΥΡΑΣ	21,98	393,45	10,99	196,72
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ	Κ. ΦΩΤΑΔΑΣ	68,00	1.217,40	34,00	608,70
✓	N. ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Δ. ΒΕΤΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	Κ. ΧΡΥΣΑΥΓΗΣ	226,95	4.063,09	113,48	2.031,54
<b>ΑΘΡΟΙΣΜΑ:</b>				<b>21.432,14</b>	<b>383.699,66</b>	<b>10.716,07</b>	<b>191.849,83</b>

