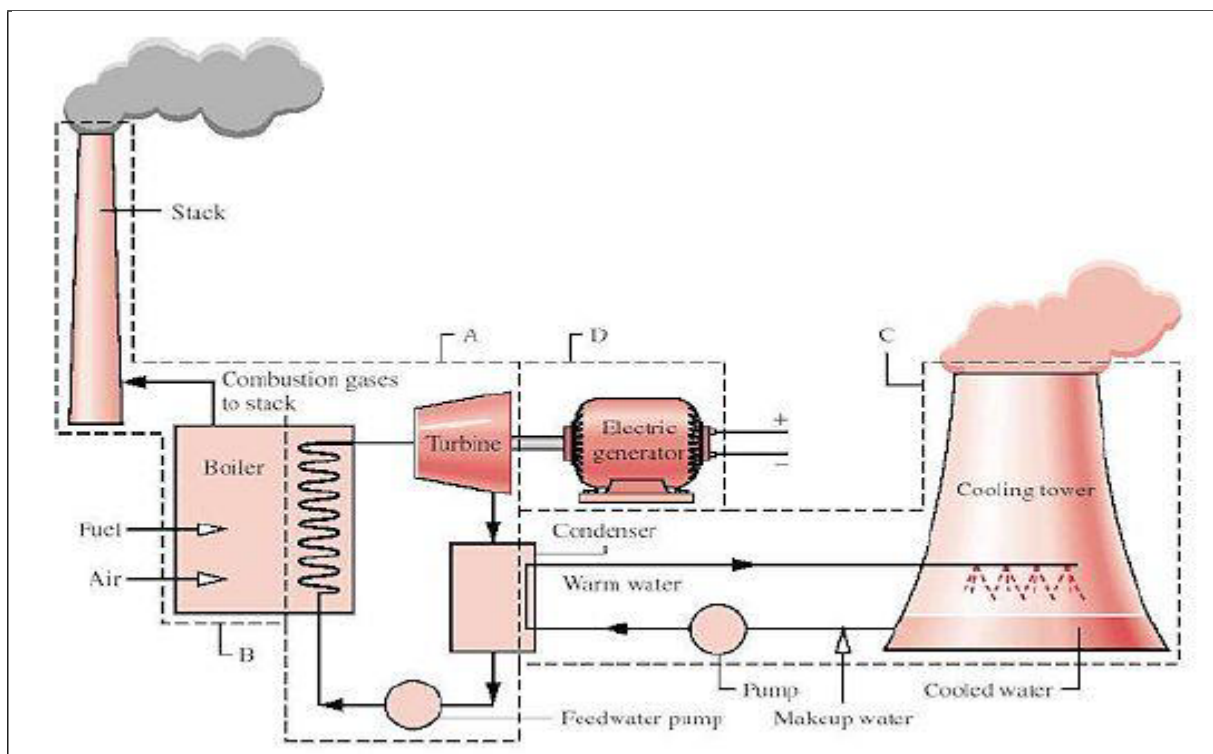




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προοπτικές Συνκαύσης Βιομάζας και Λιγνίτη σε Μεγάλες Μονάδες Παραγωγής Ισχύος.



ΠΑΠΑΚΡΙΒΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΟΥΛΖΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ

ΜΑΗΣ 2021



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας μελετώνται τα συστήματα συνκαύσης. Με την έννοια συνκαύση όπως υπονοεί και η λέξη νοείται η καύση δύο συστατικών, ενός βασικού καυσίμου, δηλ. κάποιου συνήθους ορυκτού καυσίμου (παράγωγο άνθρακα – λιγνίτης ή φυσικό αέριο) μαζί με κάποιον τύπο βιομάζας. Το σχήμα της συνκαύσης υλοποιείται στις μέρες μας κατά βάση σε ήδη υπάρχοντες λέβητες που προορίζονταν για το βασικό καύσιμο για λόγους οικονομίας με παράλληλη προσπάθεια άρσης των όποιων πιθανών προβλημάτων επιφέρει η καύση του δεύτερου συμπληρωματικού καυσίμου που είναι η βιομάζα στο λέβητα.

Το σύνθημα πρόβλημα που εμφανίζει ο λέβητας κατά την συνκαύση είναι η διάβρωση και η δημιουργία σκουριάς που αργά ή γρήγορα οδηγεί στην καταστροφή του λέβητα που επέρχεται λόγω της υψηλής υγρασίας που περικλείει η βιομάζα. Για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων συνήθως ακολουθούνται τεχνικές απομάκρυνσης της υψηλής υγρασίας όπως η αεριοποίηση ή η ξήρανση του βιοκαυσίμου (βιομάζα) πριν εισέλθει στο λέβητα με το βασικό καύσιμο για να πραγματοποιηθεί η συνκαύση.

Η συνκαύση ως τεχνική παραγωγής ισχύος είναι γνωστή και εφαρμόζεται σε προηγμένες χώρες με κουλτούρα ευθύνης – προστασίας του περιβάλλοντος όπως στον Καναδά, Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία. Η σημασία της συνκαύσης έχει διττή έννοια. Από τη μια πλευρά βοηθά και αναπτύσσει τη λεγόμενη κυκλική οικονομία και από την άλλη μπορεί να επιβαρύνει με λιγότερους ρύπους την ήδη επιβαρυσμένη ατμόσφαιρα του πλανήτη.

Ως προς την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας η βιομάζα που χρησιμοποιείται στην συνκαύση μπορεί να προέρχεται από κατάλοιπα ή υπολείμματα της βιομηχανίας παρασκευής άλλων προϊόντων όπως επίσης και συνηθέστερα από αγροτικά ή δασικά υπολείμματα ή και οργανικά απόβλητα. Έτσι σε αυτή την περίπτωση η πρώτη ύλη του δεύτερου καυσίμου (βιομάζα) υπάρχει χωρίς κόστος. Υπάρχει και η περίπτωση βιοκαλλιεργειών οπότε σε αυτή την περίπτωση δεσμεύονται εκτάσεις για την καλλιέργεια του βιοκαυσίμου που αυτό μπορεί να είναι συνηθέστερα καλαμπόκι, ή άλλα φυτά υψηλής ενεργειακής απόδοσης (θερμογόνου δύναμης / ισχύος) που έχουν καταγραφεί όπως ο μίσχανθος, η αγριαγγινάρα, ο ηλίανθος κλπ.

Το σχήμα της συνκαύσης αναμένεται επίσης να συμβάλλει στη μείωση εκπομπών ρύπων αντικαθιστώντας μέρος του βασικού καυσίμου, οδηγώντας στην πιο καθαρή παραγωγή ισχύος σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση η καύση της βιομάζας θεωρείται ότι δεν συμβάλλει ή συμβάλλει ελάχιστα στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου όπως CO<sub>2</sub>, οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), αφού για παράδειγμα η ποσότητα του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> κατά την καύση θεωρείται ότι ισούται με την ποσότητα CO<sub>2</sub> που απορρόφησε το φυτό – βιομάζα κατά τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξή του. Με άλλα λόγια η καύση της βιομάζας θεωρείται ότι έχει σχεδόν μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον από πλευράς ρύπων. Η προσπάθεια των ερευνητών και η ανάπτυξη της τεχνολογίας προχωρά προς την κατεύθυνση αυτή με την διερεύνηση της δυνατότητας ακόμα και αρνητικού αποτυπώματος.



Έτσι τα συστήματα συνκαύσης ή σχήματα συνκαύσης που έχουν αναπτυχθεί μπορούν να θεωρηθούν φιλικές τεχνικές καύσης προς το περιβάλλον, ακόμα και αν εξακολουθεί να συμμετέχει ως βασικό καύσιμο κάποιο ορυκτό (λιγνίτης ή φυσικό αέριο). Η προσπάθεια έγκειται στην ολοένα και αυξανόμενη συμμετοχή του ποσοστού της βιομάζας που μέχρι σήμερα δεν ξεπερνά τις περισσότερες φορές το 10%, ώστε κάποια στιγμή να γίνει εφικτή η πλήρης αντικατάσταση του ορυκτού καυσίμου.

Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι η συνκαύση ως τεχνική παραγωγής ισχύος στέκεται ανάμεσα στις διάφορες μορφές των ΑΠΕ που ήδη χρησιμοποιούνται προς αυτό το σκοπό (π.χ ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά) δηλ. για την παραγωγή ενέργειας και στην παραδοσιακή καύση των ορυκτών καυσίμων (λιγνίτες, φυσικό αέριο).

Στη μελέτη της συνκαύσης τρία είναι τα κύρια αντικείμενα που έχουν προτεραιότητα. Αρχικά μελετώνται οι διάφορες τεχνικές συνκαύσης που έχουν αναπτυχθεί τα πρόσφατα χρόνια ενώ παράλληλα καταγράφονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τεχνικών καθώς και τρόποι επεξεργασίας της βιομάζας ώστε να καταστεί κατάλληλη για τη συμμετοχή ως συμπληρωματικό καύσιμο στα σχήματα συνκαύσης. Συζητώνται επίσης τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την διεργασία της συνκαύσης σε υπάρχοντες λέβητες. Τέλος αναφέρονται θέματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αερίων ρύπων που παράγονται κατά την συνκαύση και τρόποι βελτιστοποίησης γενικότερα της λειτουργίας των εγκαταστάσεων συνκαύσης.

Από τη θέση αυτή ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Πολυζάκη Απόστολο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Παπακρίβου Απόστολος

Μάης 2021

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται τις τεχνολογίες συνκαύσης που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για την παραγωγή ισχύος και συνεπακόλουθα ηλεκτρικής ενέργειας με παράλληλη αναφορά σε δευτερογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία όπως τα κατασκευαστικά στοιχεία του λέβητα και τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Η δομή της εργασίας έχει ως ακολούθως:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση σε θέματα ενέργειας και πολιτικής ενώ δίνονται συνοπτικά αποτελέσματα της κατανάλωσης καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο συζητούνται οι ενεργειακοί πόροι τα είδη των καυσίμων ενώ γίνεται και μια σύντομη ανασκόπηση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως εναλλακτική λύση στην παραγωγή ισχύος. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η προοπτική της συνκαύσης σε μια ενεργειακή κλίμακα θα μπορούσε να τεθεί μεταξύ των ορυκτών καυσίμων και των ΑΠΕ ως μια ενδιαφέρουσα ενδιάμεση λύση αφού βοηθά στην κυκλική οικονομία, στην οικονομία ορυκτών καυσίμων και στη μείωση των εκπομπών ρύπων σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Στο τρίτο κεφάλαιο καταγράφονται και περιγράφονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες συνκαύσης δίνοντας αναλυτικά τα σχήματα άμεσης, έμμεσης και παράλληλης συνκαύσης ενώ ορίζονται τα επίπεδα συνκαύσης ως ποσοστό συμμετοχής της βιομάζας στο εκάστοτε σχήμα της συνκαύσης. Δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα συνκαύσης. Επίσης αναφέρονται χαρακτηριστικά που πρέπει να ικανοποιεί ο λέβητας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε σχήματα συνκαύσης καθώς και διαδικασίες προεπεξεργασίας του καυσίμου βιομάζας προκειμένου να καταστεί κατάλληλο για την συνκαύση με ορυκτό καύσιμο σε υπάρχοντες λέβητες. Περιγράφονται επίσης τεχνικές προεπεξεργασίας της βιομάζας ενώ δίνονται και σχήματα αεριοποίησης που χρησιμοποιούνται στους αντιδραστήρες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται συζήτηση για θέματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αερίων ρύπων που παράγονται κατά τα διάφορα σχήματα της συνκαύσης. Συζητούνται ξεχωριστά οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και θέματα που αφορούν την εναπομένουσα τέφρα που μπορεί επίσης να επαναχρησιμοποιηθεί και σημειώνονται τρόποι μείωσης των εκπομπών. Τέλος καταγράφονται κίνητρα που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην επιλογή της συνκαύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται σύντομα κύκλοι ισχύος στους οποίους θα μπορούσε να λάβει χώρα η τεχνολογία συνκαύσης ενώ συζητούνται και θέματα που αφορούν το συμπληρωματικό καύσιμο της βιομάζας θέματα αποθήκευσης και τροφοδοσίας.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο ανασκοπούνται τα βασικά σημεία της εργασίας και καταγράφονται τα κυριότερα συμπεράσματα της εργασίας.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Προοπτικές Συν καύσης βιομάζας και λιγνίτη σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ισχύος.  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Παπακρίβου Απόστολος Α.Μ 7200





## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
Περιεχόμενα.....	v
Εισαγωγή.....	1
<b>1. Ενεργειακή Πολιτική στην Ελλάδα – Βασικά χαρακτηριστικά.....</b>	<b>4</b>
1.1 Η Ενεργειακή Προσφορά.....	4
1.2 Ενεργειακή Ζήτηση.....	5
1.3 Ενέργεια και Περιβάλλον - Ανάπτυξη των ΑΠΕ.....	6
<b>2. Ενεργειακοί Πόροι.....</b>	<b>9</b>
2.1 Είδη Καυσίμων – Ορυκτά Καύσιμα.....	9
Διαδικασία εξόρυξης του λιγνίτη.....	13
Η χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας.....	15
2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	16
<b>3. Τεχνολογίες Συνκαύσης - Παράμετροι Μελέτης.....</b>	<b>21</b>
3.1 Σχήμα Άμεσης Συνκαύσης.....	22
3.2 Σχήμα Έμμεσης Συνκαύσης.....	24
3.3 Σχήμα Παράλληλης Συνκαύσης.....	26
3.4 Επίπεδα Συνκαύσης.....	27
3.5 Τεχνικές και Οικονομικές Προκλήσεις.....	29
3.5.1 Τύπος καυσίμου βιομάζας.....	30
3.5.2 Ιδιότητες καυσίμων βιομάζας.....	33
3.5.3 Το κόστος του καυσίμου.....	35
3.6 Ο τύπος του λέβητα.....	36
3.7 Συστήματα Καύσης – Τεχνολογίες Λέβητα.....	40
3.8 Αντιδραστήρες Αεριοποίησης (gasification).....	44
3.9 Διαδικασίες προεπεξεργασίας της βιομάζας.....	48
3.9.1 Περιγραφή πρώτης ύλης των pellets για βιομάζα.....	50
3.9.2 Πρότυπα συσκευασίας pellet για τη δημιουργία βιομάζας.....	51
3.10 Προηγμένη τεχνολογία συνκαύσης.....	52
3.11 Βιωσιμότητα – Δυναμικό – Εμπόδια στην Συνκαύση.....	53
3.12 Υφιστάμενη κατάσταση εφαρμογής συνκαύσης.....	54
<b>4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Συστημάτων Συνκαύσης.....</b>	<b>59</b>



4.1	Εκπομπές CO <sub>2</sub> .....	60
4.2	Εκπομπές NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> . ....	61
4.3	Εναπομένουσα Τέφρα. ....	63
4.4	Αέριοι Ρύποι Βιομάζας – Μέθοδοι Περιορισμού.....	64
4.5	Κίνητρα για την ενίσχυση συστημάτων συνκαύσης. ....	66
<b>5.</b>	<b>Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με εφαρμογή ΣυνΚαύσης.....</b>	<b>69</b>
5.1	Μεταφορά βιομάζας στον ΑΗΣ.....	70
5.2	Επεξεργασία – Αποθήκευση βιομάζας στον ΑΗΣ.....	71
5.3	Έλεγχος και Ρύθμιση Διεργασιών στον ΑΗΣ. ....	73
5.4	Αξιοποίηση της βιομάζας σε ΑΗΣ – Συμπαραγωγή.....	75
5.4.1	Κύκλος ατμού (Steam Rankine Cycle) .....	75
5.4.2	Οργανικός Κύκλος ατμού (Organic Rankine Cycle - ORC).....	77
5.4.3	Διαδικός κύκλος παραγωγής ισχύος. ....	78
5.4.4	Ανοικτός Κύκλος Brayton.....	80
5.4.5	Συνδυασμένος Κύκλος Αερίου – Ατμού.....	82
5.5	Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Βιομάζας.....	83
<b>6.</b>	<b>Συμπεράσματα - Ανασκόπηση.....</b>	<b>84</b>
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>91</b>





## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα 2018 (kalippos.gr) .....	10
Εικόνα 2: Μεταφορά γαιάνθρακα σε λιγνιτική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου.....	11
Εικόνα 3: Παγκόσμια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτά καύσιμα.....	12
Εικόνα 4: Εργοστάσια παραγωγής Πυρηνικής Ενέργειας και φυσικού αερίου .....	12
Εικόνα 5: ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. ....	14
Εικόνα 6: Πάρκο Φωτοβολταϊκών συστημάτων – Συγκεντρωτικό Ηλιακό Σύστημα...19	
Εικόνα 7: Σχήματα Τεχνολογίας Άμεσης Συνκαύσης. ....	24
Εικόνα 8: Σχήμα Τεχνολογίας έμμεσης συνκαύσης. ....	25
Εικόνα 9: Τεχνολογίες παράλληλης συνκαύσης βιομάζας.....	27
Εικόνα 10: Κύρια στερεά υλικά βιομάζας βιομηχανικού ενδιαφέροντος σε παγκόσμια κλίμακα [40]. ....	32
Εικόνα 11: Συστήματα αεριοποίησης βιομάζας που χρησιμοποιούνται σε έμμεση Συνκαύση στον ΑΗΣ KymiJanvi Φινλανδία [24] .....	36
Εικόνα 12: Διάταξη Καύσης Σταθερής κλίνης.[74].....	40
Εικόνα 13: Λέβητας με σύστημα Καύσης CFB [74].....	42
Εικόνα 14: Αντιδραστήρας Σταθερής Κλίνης, καθοδικής, ανοδικής και διασταυρούμενης ροής.(www.ems.psu.edu) [74].....	46
Εικόνα 15: Διάταξη αναβράζουσας κλίνης (αριστερά), κυκλοφορούσας κλίνης (δεξιά) [74] .....	47
Εικόνα 17: Αντιδραστήρας αεριοποίησης εξαναγκασμένης ροής (www.hindawi.com) .....	48
Εικόνα 18: Συστήματα συνκαύσης με ξήρανση βιομάζας [63]. ....	49
Εικόνα 19: Σχήματα των δύο βασικών αρχών καύσης: (a) συνήθης καύση, (b) ογκομετρική καύση [47]. ....	52
Εικόνα 20: Απώλεια μάζας ως συνάρτηση του χρόνου κα της θερμοκρασίας της καύσης του ξύλου (Baxter & Skreiberg)ι .....	59
Εικόνα 21: Οι συνέπειες συνκαύσης τύρφης λιγνίτη και λιγνίτη πεύκου ως προς τις εκπομπές NOx, SOx [44]. ....	62
Εικόνα 22:Διεργασίες μετατροπής τύπων βιομάζας σε ηλεκτρική ενέργεια. ....	70
Εικόνα 23: Προσωρινή αποθήκευση στερεής ακατέργαστης βιομάζας.....	71
Εικόνα 24: Αποθήκευση και μεταφορά στερεής βιομάζας σε σταθμό Συμπααραγωγής, πηγή <a href="http://www.agroenergy.gr">www.agroenergy.gr</a> .....	72
Εικόνα 25: Διαδικασία Αναερόβιας Ζύμωσης σε ΑΗΣ, πηγή <a href="http://www.renewenergy.dk">www.renewenergy.dk</a> ..	73
Εικόνα 26: Ίδανικός κύκλος Rankine .....	76
Εικόνα 27: Δυσδικός κύκλος παραγωγής ισχύος με κύκλο ατμού και ORC.....	79
Εικόνα 28: Οργανικός κύκλος Rankine με έλαιο σιλικόνης [74] .....	80
Εικόνα 29: Ανοικτός Κύκλος Brayton με Αναγέννηση [74] .....	81
Εικόνα 30: Σχηματική αναπαράσταση σταθμού ηλεκτροπαραγωγής μεγάλης κλίμακας (>30MWe) με εφαρμογή τεχνολογίας BIGCC [74].....	82
Εικόνα 31: Ατμοηλεκτρικός Σταθμός κατά κύκλο Rankine.(www.tankonyvtar.hu) [74] .....	83

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Προοπτικές Συν καύσης βιομάζας και λιγνίτη σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ισχύος.  
*ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών*

Παπακρίβου Απόστολος Α.Μ 7200





## Εισαγωγή

Αποτελεί γεγονός πως κατά το διάστημα 1973-2015, στην Ελλάδα η αποδοτικότητα των ενεργειακών καταναλώσεων όχι μόνο δεν βελτιώνεται, αλλά επιδεινώνεται κατά 15%. Και τούτο παρά το γεγονός ότι τα περιθώρια σαφώς υπάρχουν. Η ανά κάτοικο κατανάλωση είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τις άλλες χώρες της ΕΕ. Αλλά σε σχέση με το μέγεθος της, η ελληνική οικονομία είναι υπερβολικά ενεργοβόρος.

Ένα τυπικό παράδειγμα απεικονίζει πλήρως την κατάσταση, όπου η ανά κάτοικο κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα, είναι μόλις το 29% της αντίστοιχης κατανάλωσης στο Βέλγιο το 1975 και η αναλογία αυτή αυξάνεται σε 43% το 2015. Αλλά, ανά μονάδα προϊόντος, το 1975, η Ελλάδα καταναλώνει μόνο 16% λιγότερη ενέργεια σε σχέση με το Βέλγιο και το 2015 καταναλώνει 24% περισσότερο ( ). Στο διάστημα που μεσολάβησε, η ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα προϊόντος στην Ελλάδα, αυξάνεται κατά 11% ενώ στο Βέλγιο μειώνεται κατά 24%. Και επειδή το μέσο ατομικό εισόδημα αυξάνεται, η κατά κάτοικο κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα αυξάνεται κατά 32% ενώ στο Βέλγιο μειώνεται κατά 9%.

Η ελληνική οικονομία είναι σήμερα πολύ πιο ενεργοβόρος (7-40%) από αυτή των αναπτυγμένων χωρών (πλην των ΗΠΑ). Ειδικότερα, στον τομέα της βιομηχανίας, η τελική ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα προϊόντος είναι υψηλότερη στην Ελλάδα ακόμα και σε σύγκριση με τις ΗΠΑ. Η σημερινή κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα φτάνει τους 19 Εκατομμύρια Τόνους «ισοδύναμου» πετρελαίου, από τους οποίους 13,5 Εκατομμύρια Τόνους είναι πραγματικό πετρέλαιο. Αν από το 1975 μέχρι σήμερα, είχε ασκηθεί και στη χώρα μας πολιτική εξοικονόμησης, θα είχαμε μειώσει τη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 25% ή κατά 5,25 εκατ. τόνους πετρελαίου. Το όφελος για την εθνική οικονομία, σε «ισοδύναμες» τιμές πετρελαίου (70-80\$/βαρέλι, 65 Ευρώ/Βαρέλι), θα ήταν 140-210 δις. Ευρώ/χρόνο περίπου.

Αν η ελληνική οικονομία ακολουθήσει από κοντά τους ρυθμούς ανάπτυξης των κοινοτικών εταίρων της (3% το χρόνο περίπου), τότε η συνολική κατανάλωση της χώρας σε πρωτογενή ενέργεια θα φτάσει, με βάση τα σημερινά δεδομένα, τους 38 εκ. Τ ισοδύναμου πετρελαίου περίπου. Και με τις ίδιες λοιπές υποθέσεις (70-80\$/βαρέλι, 65 Ευρώ/Βαρέλι), το όφελος για την εθνική οικονομία, από μια εξοικονόμηση κατά 25%, θα κυμανθεί σε 280-420 δις. ευρώ/χρόνο. Ειδικότερα για το εισαγόμενο πετρέλαιο, η συναλλαγματική ωφέλεια που θα προέκυπτε θα ήταν 500-750 εκ.\$/χρόνο με τα σημερινά δεδομένα και 1000-1500 εκ.\$/χρόνο το 2020.

Πρόκειται για ποσό εξαιρετικά σημαντικό για χρόνια ελλειμματικό εξωτερικό μας ισοζύγιο, το έλλειμμα του οποίου κυμαίνεται στα 1-2 δις.\$ υπό κανονικές συνθήκες. Το ετήσιο αυτό όφελος δικαιολογεί βεβαίως σημαντική επενδυτική προσπάθεια. Με τη δυσμενή υπόθεση ότι το κόστος του χρήματος θα είναι 25% (όσο και τα ομόλογα του Δημοσίου), το ύψος της κοινωνικά αποδέκτης επένδυσης φτάνει τα 600-1200 δις. Ευρώ. Αλλά οι ιδιώτες δανείζονται με 30% και δικαιολογημένα θα είχαν απαίτηση μεγαλύτερης αποδοτικότητας, ας πούμε 35% (θετικό επιτόκιο 5%). Η διαφορά αποτελεί



τη δημόσια δαπάνη (υποδομές και κίνητρα) που θα ήταν δικαιολογημένη για να κινητοποιηθεί η κοινωνία με κατεύθυνση την εξοικονόμηση ενέργειας.

Σήμερα στον ευρωπαϊκό χώρο περίπου το 30% της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) λόγω των περιβαλλοντικών απαιτήσεων καταρχήν (μείωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης – μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος σε παγκόσμια κλίμακα) και λόγω της μεγάλης τεχνολογικής ανάπτυξης των ΑΠΕ που έχει επέλθει τα τελευταία χρόνια. Προφανώς η απεριόριστη διαθεσιμότητα των πολλών μορφών ΑΠΕ αποτελεί σημαντικό παράγοντα εκμετάλλευσης αυτών σε όλο τον κόσμο.

Η ενέργεια ήταν είναι και θα είναι το ζητούμενο και το αναγκαίο όχημα για τη δραστηριότητα του ανθρώπου σε όλες τις εκφάνσεις της καθημερινότητας σε τέτοιο βαθμό που η έλλειψή της καθιστά πρόδηλη την αναγκαιότητά της. Στο σύνολο της καθημερινότητας ο άνθρωπος δεσμεύει, παράγει, καταναλώνει, μετατρέπει, αποθηκεύει και υποβαθμίζει τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενέργεια εμφανίζεται με πολλές μορφές και στα πλαίσια της εξέλιξης και της τεχνολογικής προόδου, έχουν αναπτυχθεί πολλοί μηχανισμοί μετατροπής ώστε όλο και μεγαλύτερα ποσά ενέργειας να είναι διαθέσιμα και οικονομικότερα για τον άνθρωπο.

Σε αυτό το πλαίσιο επιζητείται στις μέρες μας η όλο και μεγαλύτερη ανάπτυξη των λεγόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) όπως και τον ήπιων μορφών ενέργειας (ΗΜΕ) και η μετατροπή αυτών σε ηλεκτρική ενέργεια με στόχο πάντα τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα η χρήση των οποίων συμβάλλει αποφασιστικά και έντονα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στην υπερθέρμανση του πλανήτη και γενικότερα σε αυτό που ονομάζουμε σήμερα κλιματική αλλαγή.

Παραδοσιακά ο κύκλος παραγωγής - κατανάλωσης ενέργειας ξεκινά από τις αρχικές μορφές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το αργό πετρέλαιο, ο άνεμος, το ηλιακό φως ή το φυσικό αέριο. Αυτές οι μορφές ενέργειας χαρακτηρίζονται ως πρωτογενείς. Σκοπός πάντα είναι σε επόμενο βήμα η μετατροπή των πρωτογενών μορφών σε ηλεκτρική συνήθως που αποτελεί κινητήρια δύναμη για ένα μεγάλο πλήθος δραστηριοτήτων. Η μετατροπή ενέργειας συγκεντρώνει πολλά ενδιάμεσα στάδια ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας. Εξόρυξη άνθρακα ή πετρελαίου, μεταφορά με αγωγούς, χρήση δεξαμενόπλοιων, καύση σε μεγάλους θερμικούς σταθμούς, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και πολλά άλλα. Όλη αυτή η πολυσύνθετη αλυσίδα είναι γνωστή ως ενεργειακό σύστημα.

Ένας γενικότερος ορισμός που θα μπορούσε να δοθεί για την συν – καύση ή διαφορετικά για τη συνδυασμένη καύση βιομάζας με ορυκτά καύσιμα και ειδικότερα άνθρακα ή και φυσικό αέριο σε ένα σταθμό ηλεκτροπαραγωγής είναι η «χρήση βιομάζας προς αντικατάσταση μέρους του ορυκτού καυσίμου». Με τον τρόπο αυτό μέρος της θερμικής ισχύος του ορυκτού καυσίμου αντικαθίσταται από τη θερμική ισχύ της βιομάζας. Βέβαια λόγω του ότι αναμένεται η θερμική ισχύς της χρησιμοποιούμενης βιομάζας να είναι φτωχότερη καταρχήν του ορυκτού καυσίμου θα πρέπει για μια ποσότητα καυσίμου που αντικαθίσταται να χρησιμοποιείται αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας που θα αποδώσει την θερμική ισχύ του προς αντικατάσταση ορυκτού καυσίμου.



Η απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας από την άλλη πλευρά οδηγεί στη λεγόμενη κυκλική οικονομία στο σχήμα της συν καύσης μια διαδικασία που στο μέλλον θα αποτελεί βασικό σκοπό στη βιομηχανική παραγωγή.

Στα πλεονεκτήματα της συνκαύσης μπορούν να συμπεριληφθούν:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται από τους ΑΗΣ με κύριο το CO<sub>2</sub> και επομένως και μείωση της εξαγοράς δικαιωμάτων CO<sub>2</sub> καθώς και αναμενόμενη μείωση του μοναδιαίου κόστους παραγωγής για κάθε kWh σε ΑΗΣ.
- Αύξηση της χρήσης τοπικών καυσίμων (βιομάζας) αφού ο αγροτικός τομέας και η αγροτική παραγωγή κάθε περιοχής μπορεί να συμβάλλει με τον δικό της τύπο βιομάζας ανάλογα με τις καλλιέργειες που συναντώνται στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Αντιμετώπιση των εποχικών διακυμάνσεων που είναι εγγενείς στα βιοκαύσιμα και της απόστασης μεταφοράς.
- Μετατροπή της βιομάζας με υψηλή απόδοση και υπό ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Η αρχική επένδυση είναι σημαντικά χαμηλότερη και δυνητικά συμφέρουσα.



## 1. Ενεργειακή Πολιτική στην Ελλάδα – Βασικά χαρακτηριστικά.

Την περίοδο που ακολούθησε την ενεργειακή κρίση του 1973, συνειδητοποιήθηκε ο πολυδιάστατος χαρακτήρας της ενέργειας που συμμετέχει στην οικονομία όχι μόνο ως πρώτη ύλη αλλά και ως βασικός συντελεστής παραγωγής και καταναλωτικό αγαθό. Σ' αυτό το πλαίσιο, αναγνωρίστηκε η ανάγκη για έναν ενεργειακό προγραμματισμό με βραχυπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους, χωρίς ιδιαίτερη αναφορά στην περιβαλλοντική διάσταση της ενέργειας. Σήμερα όμως, εξήντα χρόνια μετά, το περιβαλλοντικό πρόβλημα έχει αναδειχθεί σε κυρίαρχο και σχεδόν υπαγορεύει τις ενεργειακές αποφάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ελλάδα η απουσία ενεργειακής στρατηγικής είναι πασίδηλη, καθώς δεν έχει γίνει καμία ουσιαστική προσπάθεια ιεράρχησης των προτεραιοτήτων, ούτε μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρωτοβουλιών στους τομείς της ενέργειας, των μεταφορών και του περιβάλλοντος.

Η ενεργειακή πολιτική που ακολουθεί η χώρα εδώ και χρόνια σημειώνει μεν κάποια σχετική πρόοδο, αποδεικνύεται όμως τελείως άκαρπη εν συγκρίσει με αυτήν που ακολουθούν οι άλλες χώρες. Η Ελλάδα, παρά τις κοινοτικές οδηγίες και τις διεθνείς τάσεις, δεν κατόρθωσε να διαμορφωθεί κατάλληλα και έτσι η ελληνική οικονομία έχει τον πιο ενεργοβόρο χαρακτήρα σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Όπως προκύπτει από τον δείκτη ενεργειακής έντασης, δηλαδή τη σχέση κατανάλωσης ενέργειας προς ΑΕΠ, το 1991 δαπανούνται κατά 50% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το 1970 για την παραγωγή μιας μονάδας ΑΕΠ. Αυτή η εξέλιξη φανερώνει ότι η ελληνική οικονομία δεν κατάφερε να προχωρήσει στην αποσύνδεση της ενέργειας από την οικονομική ανάπτυξη.

Οι δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας στη βιομηχανία, τις μεταφορές και τα κτίρια παραμένουν ανεκμετάλλευτες, οι ήπιες μορφές ενέργειας δεν προωθούνται (με πιθανή εξαίρεση την κατασκευή των υδροηλεκτρικών έργων της ΔΕΗ), ενώ το έργο του φυσικού αερίου (Φ.Α.) μόλις τώρα φαίνεται πως «ξεμπλοκάρει» οριστικά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο Φ.Α. συμμετέχει κατά 20,7% στην πρωτογενή ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως και κατά 11,4% στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Μ' αυτά τα δεδομένα, όπως επίσης και την ανυπαρξία μέτρων ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αλλά και την ενίσχυση της ηλεκτροπαραγωγής (ετήσια αύξηση 4,4%, κατά το διάστημα 1975-2010), η σαφής επιδείνωση της αποδοτικότητας του ενεργειακού συστήματος της χώρας είναι αναπόφευκτη.

### 1.1 Η Ενεργειακή Προσφορά.

Η μελέτη της εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας κατά την περίοδο 1970-1990 αναδεικνύει τα βασικά χαρακτηριστικά του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και αποκαλύπτει τις διαρθρωτικές του αδυναμίες. Έτσι, η πρωτογενής ζήτηση ενέργειας αυξάνεται κατά 2,6 φορές, από 8,38 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΜΤΙΠ) το 1970 σε 16,24 ΜΤΙΠ, το 1980 και 21,46 το 1991 Αντίστοιχα, η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται κατά 2,1 φορές, από 6,61 ΜΤΙΠ το 1970 11,65



ΜΤΙΠ το 1980 και σε 13,77 το 1991. Η διαφορά στο ρυθμό αύξησης των δύο μεγεθών φανερώνει τη μείωση της αποδοτικότητας του ενεργειακού μας συστήματος.

Επισημαίνεται επίσης ότι ο ετήσιος ρυθμός ανόδου κατά την περίοδο 1980-2011, είναι ο μισός από αυτόν της δεκαετίας 1970-1980, καθώς μόνο μετά το 1980 η χώρα προσπαθεί να αντιδράσει στις συνθήκες που δημιουργήσαν οι δυο ενεργειακές κρίσεις (το 1973 και το 1979), προς την κατεύθυνση της διασφάλισης της ενεργειακής τροφοδοσίας και της μείωσης της συμμετοχής των (εισαγόμενων) υγρών καυσίμων στην κατανάλωση ενέργειας. Σ' αυτό το πλαίσιο, ο βαθμός εξάρτησης του ενεργειακού μας ισοζυγίου από εισαγόμενες μορφές ενέργειας περιορίζεται από 84% το 1980, σε 73% το 1991, ενώ, όπως προκύπτει από τα στοιχεία των πινάκων 1 & 2, μεταβάλλεται σημαντικά και το ενεργειακό μείγμα που καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της χώρας.

Η εντατικοποίηση μετά το 1980, της εκμετάλλευσης των εγχώριων κοιτασμάτων λιγνίτη έχει ως αποτέλεσμα, το 2011, το 74,5% των απαιτήσεων της ηλεκτροπαραγωγής να καλύπτεται από στερεά καύσιμα. Παράλληλα, η σημαντική εξάρτηση της ηλεκτροπαραγωγής από τον εγχώριο λιγνίτη δημιουργεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα σε τοπικό επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα, ο χαμηλότερος βαθμός ενεργειακής απόδοσης των λιγνιτικών μονάδων οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη ΚWh. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα ανέρχεται, το 2011, στο 60% του μέσου όρου των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ελληνική οικονομία απέχει σημαντικά από το σημείο κορεσμού της κάλυψης των βασικών ενεργειακών αναγκών της.

## 1.2 Ενεργειακή Ζήτηση.

Η παρατηρούμενη εξέλιξη της ενεργειακής ζήτησης, οφείλεται κυρίως στην σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για μεταφορές. Έτσι, η συμμετοχή του τομέα μεταφορών στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας αυξάνεται σε 43,4%, το 1991, ως αποτέλεσμα της θεαματικής αύξησης του αριθμού αυτοκινήτων στην Ελλάδα. (Το μέγεθος του στόλου των οχημάτων περίπου διπλασιάστηκε κατά τη δεκαετία 1980-2010). Βέβαια η διακύμανση της σχέσης κατανάλωσης υγρών καυσίμων του αριθμού αυτοκινήτων δεν είναι γραμμική εξαιτίας της αλληλεπίδρασης αφ' ενός μεν της βελτιωμένης απόδοσης των κινητήρων, αφ' ετέρου δε της επιδείνωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών). Πάντως, ο δείκτης του 43,4% για τις μεταφορές είναι εξαιρετικά υψηλός, υψηλότερος ακόμα και από τον αντίστοιχο δείκτη των ΗΠΑ, επισημαίνεται δε πως το 87% της κατανάλωσης αφορά τις οδικές μεταφορές και μόλις το 1,5% τα τρένα.

Η κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία παρουσιάζει μια πτωτική τάση, μετά το 1980, τόσο σε απόλυτα μεγέθη (ΜΤΙΠ) όσο και σε σχετικά (%), ως αποτέλεσμα της γενικότερης κρίσης που αντιμετωπίζει ο βιομηχανικός τομέας. Έτσι, η συμμετοχή της βιομηχανίας στην τελική κατανάλωση ενέργειας μειώνεται το 1991 σε 25,3%, από 35,7% το 1980. Συγκριτικά, αναφέρεται πως στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ως σύνολο, η συμμετοχή της βιομηχανίας στην κατανάλωση ενέργειας μειώνεται επίσης και ανέρχεται, το 2011, σε 29,1%, άλλα τούτο οφείλεται κυρίως στα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και στη στροφή σε λιγότερα ενεργοβόρες βιομηχανίες. Παράλληλα,



το ελληνικό ενεργειακό σύστημα εμφανίζει μια πολύ έντονη ανισοκατανομή μεταξύ των βιομηχανικών κλάδων, καθώς η μεταλλουργία και τα μη μεταλλικά ορυκτά απορροφούν το 55% της ενέργειας, ενώ η βιομηχανία τροφίμων και η υφαντουργία, από τους πιο δυναμικούς κλάδους της ελληνικής οικονομίας, συμμετέχουν με πολύ μικρότερα ποσοστά στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Σημειώνεται επίσης ότι τα δέκα πιο ενεργοβόρα εργοστάσια καταναλώνουν το 50% του συνολικού μαζούτ στη βιομηχανία, τα δε σαράντα πιο ενεργοβόρα καταναλώνουν το 70% (του συνολικού μαζούτ στη βιομηχανία), ενώ αντίστοιχες διαπιστώσεις ισχύουν και για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο οικιακός-τριτογενής τομέας εμφανίζει μια σταθερή αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και απορροφά, το 2011, το 31,2% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης (έναντι 20,8% το 1980). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ως σύνολο, το ποσοστό συμμετοχής του οικιακού τομέα στην τελική κατανάλωση ενέργειας είναι αρκετά υψηλότερος και ανέρχεται, 2011, σε 39,9%. Η παρατηρούμενη διαφορά οφείλεται τόσο στις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες όσο και στο χαμηλότερο βιοτικό επίπεδο. Έτσι, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας του οικιακού τομέα προκύπτει όχι μόνο από την αύξηση του αριθμού των κτιρίων αλλά και από την αύξηση των 'ανέσεων'. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι ανάγκες για δροσισμό (air conditioning) στην Ελλάδα διπλασιάζονται από το 1986 μέχρι σήμερα, από 20 KWH/m<sup>2</sup>.

Από την άλλη πλευρά, η κακή ποιότητα των κατασκευών οδηγεί σε αύξηση των αναγκών θέρμανσης (και ψύξης). Ενδεικτικά δε σημειώνεται ότι στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των χώρων ανέρχονται σε 85 KWH/m<sup>2</sup>, ενώ στη Σουηδία, χώρα με πολύ πιο αντίξοες κλιματικές συνθήκες, οι αντίστοιχες ανάγκες είναι 65 KWH/m<sup>2</sup>. Σ' αυτό αφορά το ενεργειακό μείγμα, επισημαίνεται ο υπερδιπλασιασμός της συμμετοχής του ηλεκτρικού στον οικιακό τομέα, ως αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης του εξηλεκτισμού της χώρας και της αύξησης του βιοτικού επιπέδου, καθώς επίσης και η μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη βιομηχανία, κυρίως εξαιτίας της ακολουθούμενης τιμολογιακής πολιτικής. Σ' αυτό το πλαίσιο και με δεδομένη τη χαμηλή κατά κεφαλήν κατανάλωση στην Ελλάδα, γίνεται φανερό πως απαιτούνται άμεσες παρεμβάσεις στο ενεργειακό σύστημα της χώρας, με στόχο την ορθολογική διάρθρωση του ενεργειακού ισοζυγίου και τη συνακόλουθη μείωση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων.

### 1.3 Ενέργεια και Περιβάλλον - Ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Η ενέργεια αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Ένα πλήθος αέριων ρύπων προέρχεται σε μεγάλο βαθμό ή και αποκλειστικά από τα διάφορα στάδια ενεργειακών μετατροπών. Σε τοπικό επίπεδο οι κύριοι ρύποι (από βιομηχανίες, κεντρικές θερμάνσεις, αυτοκίνητα) είναι:

- ✓ Διοξείδιο του θείου, SO<sub>2</sub>
- ✓ Αιωρούμενα σωματίδια
- ✓ Οξείδια του αζώτου, NO<sub>x</sub>

Το SO<sub>2</sub> και το NO<sub>x</sub>, αποτελούν τις όξινες εκπομπές, χωρίς, πάντως το φαινόμενο της όξινης βροχής να είναι ιδιαίτερα οξύ στην Ελλάδα. Από την άλλη πλευρά, βέβαια, η ευθύνη για την καταστροφή των μαρμάρων της Ακρόπολης αποδίδεται κυρίως στις





εκπομπές  $\text{NO}_x$  από την κυκλοφορία. Το αυτοκίνητο θεωρείται επίσης ο βασικός ένοχος και για τη φωτοχημική ρύπανση που αντιμετωπίζει η Αθήνα και ορισμένες άλλες ελληνικές πόλεις με έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα.

Αντίστοιχα, σε πόλεις όπως Πτολεμαΐδα, η Μεγαλόπολη κ.α. το πρόβλημα από τις εκπομπές στερεών σωματιδίων (κυρίως) είναι εντονότατο. Για την ικανοποίηση των προδιαγραφών της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τις εκπομπές από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης η ΔΕΗ εγκαθιστά ηλεκτροστατικά φίλτρα στις μονάδες της, όμως η μη σταθερή ποιότητα του λιγνίτη οδηγεί σε λειτουργία των φίλτρων με μειωμένο βαθμό απόδοσης. Εκτός, όμως, από τους αέριους ρύπους που εκπέμπονται κατά τη καύση, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ευθύνεται επίσης για :

- ✓ Καταστροφή της χλωρίδας και πανίδας, καθώς και αλλοίωση του τοπίου στα ορυχεία επιφανειακής εξόρυξης του λιγνίτη,
- ✓ Καταστροφή της χλωρίδας και πανίδας, καθώς αλλοίωση του τοπίου στην περιοχή των ταμιευτήρων νερού των υδροηλεκτρικών έργων.

Σε αντίθεση με τους άλλους αέριους ρύπους, η μείωση εκπομπών  $\text{CO}_2$  συνδέεται άμεσα και αποκλειστικά με τον περιορισμό των ενεργειακών καταναλώσεων. Η κατά κεφαλήν εκπομπή  $\text{CO}_2$  για την Ελλάδα είναι 7,2 τόνοι, ενώ για την Ευρωπαϊκή Ένωση ανέρχεται σε 8,7% και για τις ΗΠΑ σε 19,6. Σχετικά με τη συμμετοχή των διαφόρων ρυπαντών στις εκπομπές  $\text{CO}_2$  σημειώνεται πως η εντατική χρήση λιγνίτη στους σταθμούς της ΔΕΗ έχει ως αποτέλεσμα η ηλεκτροπαραγωγή να αναγνωρίζεται ως ένοχος για το 48% των εκπομπών  $\text{CO}_2$  στον ελληνικό χώρο, ενώ ακολουθούν οι μεταφορές και η βιομηχανία, με μερίδια ευθύνης 25% και 12%, αντίστοιχα.

Επισημαίνεται επίσης ότι εκτός από την εκπομπή αέριων ρύπων, η χρήση ορισμένων μορφών ενέργειας προκαλεί και άλλες μορφές περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Τα στερεά και υγρά απόβλητα από την παραγωγή και μετατροπή των συμβατικών καυσίμων, οι κίνδυνοι ατυχήματος, η δημιουργία πετρελαιοκηλίδων, ο θόρυβος, καθώς και παράμετροι αισθητικής υποβάθμισης συμβάλλουν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στο συνολικό περιβαλλοντικό κόστος.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ελληνικού ενεργειακού συστήματος δεν παρουσιάζουν καμία ουσιαστική μεταβολή κατά το διάστημα από το 1991 μέχρι σήμερα. Τα βασικά υποσυστήματα της ελληνικής ενεργειακής αγοράς παραμένουν δύο, δηλ. το υποσύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και το υποσύστημα υγρών καυσίμων.

Το Φ.Α. είναι το πιο φιλικό προς το περιβάλλον από τα συμβατικά καύσιμα και μπορεί να υποκαταστήσει, με οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο, σχεδόν κάθε ενεργειακή πηγή που χρησιμοποιείται σήμερα (από βενζίνη στο αυτοκίνητο μέχρι το μαζούτ ή τον άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή). Ιδιαίτερα δε στην ηλεκτροπαραγωγή, η απόδοση των μονάδων συνδυασμένου κύκλου με Φ.Α. είναι της τάξης του 50%, σε σύγκριση με απόδοση της τάξης του 30-35% για συμβατικούς θερμικούς σταθμούς.

Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πολύ υψηλό και εκτιμάται ότι μπορεί να καλύψουν έως και 35% της συνολικής ζήτησης ενέργειας. Όμως, η



ανάπτυξη τους δεν ακολουθεί εντατικούς ρυθμούς, με εξαίρεση την αιολική ενέργεια. Έτσι, η συνολικά εγκατεστημένη αιολική ισχύς ανέρχεται σήμερα σε 26,725 KW, έναντι 880 KW το 2015, και η Ελλάδα κατέχει την Πέμπτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη στον κόσμο, σ' ότι αφορά την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

Η ευρύτερη διάδοση των ήπιων μορφών ενέργειας, σε συνδυασμό και με την διείσδυση του Φ.Α. στο ενεργειακό σύστημα της χώρας, μπορεί να ανακουφίσει αισθητά τις περιβαλλοντικές πιέσεις από τη χρήση της ενέργειας. Σύμφωνα με το αναπτυξιακό πρόγραμμα της ΔΕΗ, προβλέπεται πως, μέχρι το 2015, ταυτόχρονα με την κατασκευή 13 νέων υδροηλεκτρικών έργων, συνολικής ισχύος 1105,5 MW, θα καταστεί δυνατή η (επιπλέον) εκμετάλλευση 150 MW αιολικής ενέργειας, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου, 50 MW γεωθερμικής ενέργειας στη Μήλο και τη Νίσυρο, 1 MW από φωτοβολταϊκά στοιχεία σε νησιά του Αιγαίου και 150 MW από μικρά υδροηλεκτρικά έργα.



## 2. Ενεργειακοί Πόροι.

### 2.1 Είδη Καυσίμων – Ορυκτά Καύσιμα.

Η πρόοδος και η ανάπτυξη της τεχνολογίας του ανθρώπινου πολιτισμού ξεκινά πάντα από την αξιοποίηση της ενέργειας. Η ενέργεια αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την εξέλιξη του πολιτισμού μας διαχρονικά. Η θερμική η ηλεκτρική αλλά πριν από αυτές τις μορφές η κινητική χρησιμοποιούνται καθημερινά από τον άνθρωπο. Είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι το επίπεδο αξιοποίησης της ενέργειας κάθε χώρας παγκοσμίως καθορίζει και το βιοτικό επίπεδο του λαού της. Για παράδειγμα στις μέρες μας είναι αποδεκτό ότι οι λαοί των Σκανδιναβικών χωρών απολαμβάνουν ένα βιοτικό επίπεδο από τα υψηλότερα παγκοσμίως. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα η Σουηδία αγοράζει σκουπίδια από άλλες χώρες προκειμένου να τα χρησιμοποιήσει ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας σε θερμικούς σταθμούς που διαθέτει, ενώ εδώ και πολλά χρόνια η Κοπεγχάγη πρωτεύουσα της Δανίας «ζεσταίνεται» από τα σκουπίδια της!

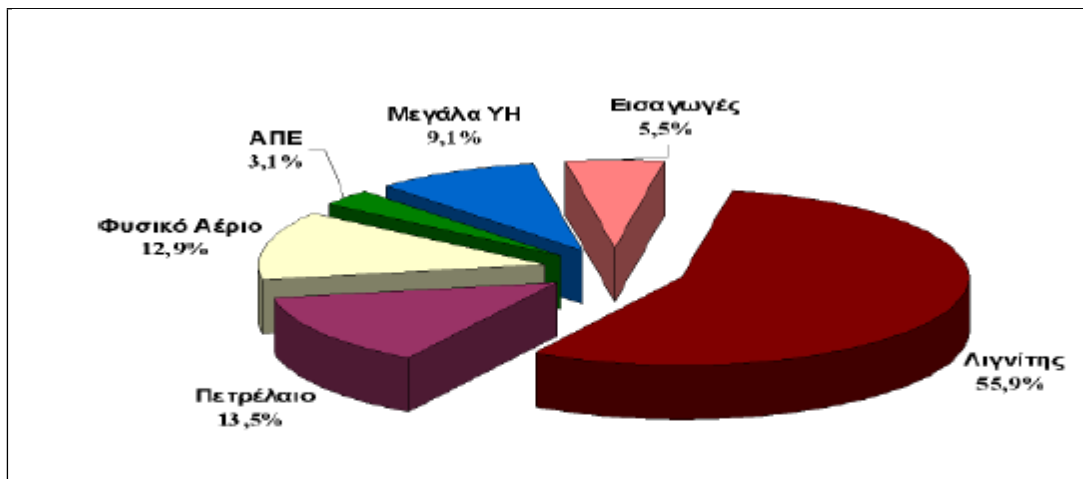
Τα ορυκτά καύσιμα βρίσκονται στο ανώτερο στρώμα του φλοιού της γης. Σχηματίστηκαν από απολιθωμένα υπολείμματα οργανικών ενώσεων και την έκθεσή τους σε θερμότητα και πίεση στο φλοιό της γης επί εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Από την άλλη πλευρά η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων γίνεται με πολύ γρήγορο ρυθμό. Για το λόγο αυτό τα ορυκτά καύσιμα θεωρούνται μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Είναι προφανές στις μέρες μας ότι απαιτείται η μείωση της χρήσης τέτοιων μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αφού οι εκπομπές των παραγόμενων ρύπων οδηγούν σε ένταση τα αποτελέσματα του φαινομένου του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή.

Παραδοσιακά καύσιμα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι τα λεγόμενα συμβατικά (conventional) ή ορυκτά καύσιμα (fossil fuels). Είναι ένας γενικός ορισμός που αποδίδεται σε καύσιμα που σχηματίζονται στην γη από υπολείμματα φυτικών ή ζωικών οργανισμών και περιέχουν οργανικές ουσίες (άνθρακα). Οι υδρογονάνθρακες είναι τα κυριότερα ορυκτά καύσιμα που ακόμα διατηρούν σημαντικό κομμάτι στην παραγωγή ενέργειας. Γενικότερα μέχρι και σήμερα ο μεγαλύτερος ενεργειακός πόρος είναι τα ορυκτά καύσιμα, που περιλαμβάνουν το πετρέλαιο, τον άνθρακα, το φυσικό αέριο, το λιγνίτη και την τύρφη. Αυτά τα είδη καυσίμων αποτελούν πάντα μια καλή ενεργειακή ύλη αφού η καύση τους οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσών ενέργειας. Μια αξιοσημείωτη εγχώρια πηγή ενέργειας προερχόμενη από ορυκτά καύσιμα είναι ο λιγνίτης. Παρά το φτωχό ενεργειακό περιεχόμενο (θερμογόνος ισχύς) αποτελεί ακόμα σήμερα την κύρια ενεργειακή πηγή για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο λιγνίτης είναι πέτρωμα οργανικής προέλευσης που κύριο στοιχείο του είναι ο άνθρακας. Περιέχει ακόμα μικρές ποσότητες υδρογόνου, αζώτου και οξυγόνου όπως και τύρφη. Στην Ελλάδα ορυχεία λιγνίτη βρίσκονται στη Μεγαλόπολη, στην Πτολεμαΐδα, στο Αμύνταιο, στο Αλιβέρι.

Τα βιομηχανικά αξιοποιήσιμα κοιτάσματα υπολογίζονται σε περίπου 3 δις τόνους ορυκτού ή σε 450εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Συνολικότερα τα



γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα μας εκτιμώνται σε 5 δις τόνους ορυκτού και υπολογίζεται ότι επαρκούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μας για περισσότερο από 40 χρόνια ακόμα ([www.dei.gr](http://www.dei.gr))



Εικόνα 1: Παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα 2018 ([kalippos.gr](http://kalippos.gr))

Τα συμβατικά ή ορυκτά καύσιμα περιλαμβάνουν καταρχήν τους γαιάνθρακες. Υπάρχουν πολλές μορφές γαιανθράκων και κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Η περισσότερο γνωστή μορφή είναι ο λιγνίτης. Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή οι γαιάνθρακες χαρακτηρίζονται από την χαμηλή απόδοση μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια που φτάνει στην καλύτερη περίπτωση το 35%. Το πετρέλαιο λόγω της μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας, της εύκολης σχετικά μεταφοράς και των δεκάδων χρήσεων του είναι η πιο σημαντική ενεργειακή πηγή από την δεκαετία του 1950 και μετά με τις σημαντικότερες χρήσεις του σαν υγρό καύσιμο να βρίσκεται στις μεταφορές και στη θέρμανση.

Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και είναι το καθαρότερο από τα ορυκτά καύσιμα αναφορικά με τις επιπτώσεις στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Οι μεγαλύτερες υπόγειες δεξαμενές φυσικού αερίου βρίσκονται στο Ιράν και την Ρωσία. Εκτιμάται ότι τα αποθέματα του φυσικού αερίου θα εξαντληθούν το 2085. Η αύξηση του πληθυσμού της γης αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, οδήγησαν τα τελευταία χρόνια στη ραγδαία αύξηση κατανάλωση ενέργειας κυρίως στις επανομαζόμενες αναπτυσσόμενες αφρικανικές χώρες όσο και σε χώρες πληθυσμιακούς γίγαντες όπως η Ινδία και η Κίνα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η καύση των ορυκτών καυσίμων που κατά βάση χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για θέρμανση αλλά και στις μεταφορές συμβάλλει πολύ σημαντικά στην αύξηση των συγκεντρώσεων των λεγόμενων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Εκφράζεται από τους επιστήμονες ότι στο μέλλον είναι δυνατό ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας να αυξηθεί τόσο που οι εξορύξεις να μην αρκούν για την κάλυψη της ζήτησης σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία.

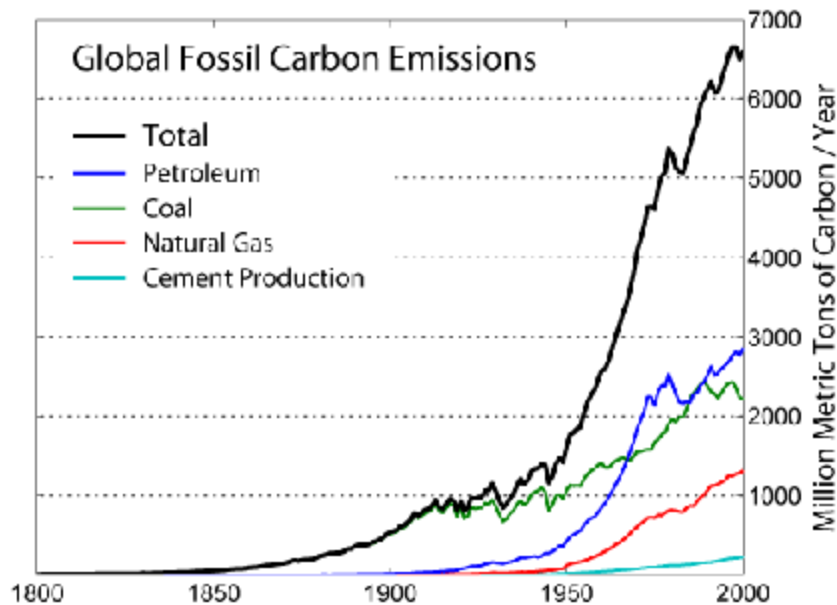


Εικόνα 2: Μεταφορά γαιάνθρακα σε λιγνιτική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου.

Πηγή	Τοις εκατό
Πετρέλαιο	33,5%
Ανθρακα	26,8%
Φυσικό αέριο	20,9%
Πυρηνική	5,8%
Υδροηλεκτρική	2,2%
Άλλες Α.Π.Ε.	10,6%
Άλλο	0,2%

Πίνακας 1: Παγκόσμια πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας για το 2008  
Πηγή: Energy in Sweden, 2010

Όλες οι παγκόσμιες οικονομίες εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα ενεργειακά από τα ορυκτά καύσιμα μέχρι και σήμερα. Εντούτοις κυβερνήσεις και οργανισμοί σε παγκόσμια κλίμακα, αναλογιζόμενοι τις αρνητικές επιπτώσεις των παραγόμενων ρύπων από την καύση των ορυκτών καυσίμων συνιστούν τη μείωση της χρήσης αυτών και την παράλληλη αύξηση της παραγωγής άλλων μορφών ενέργειας (ΑΠΕ – ΗΜΕ) με σκοπό την μείωση της επιβάρυνσης των αποτελεσμάτων του φαινομένου του θερμοκηπίου, την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και την αντιστροφή της κλιματικής αλλαγής που προκύπτει ως αποτέλεσμα της χρήσης των ορυκτών καυσίμων που αποτελούν την πρωταρχική πηγή του προβλήματος με τις υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 3: Παγκόσμια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτά καύσιμα.

Μια πολύ προηγμένη μορφή και σημαντική πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική που αναφέρεται ως ορυκτό καύσιμο αφού το ουράνιο είναι ορυκτό. Η μετατροπή της πυρηνικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι πλέον στις μέρες μας πολύ ανεπτυγμένη, σημαντικά ποσοστά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε Γαλλία και Γερμανία προκύπτουν από πυρηνικούς σταθμούς. Ειδικότερα τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρισμού από πυρηνική ενέργεια παγκοσμίως έχει η Γαλλία με 59 αντιδραστήρες και ποσοστό ενεργειακής κάλυψης 78%. Πλέον όμως το πιθανά χαμηλό κόστος παραγωγής αντισταθμίζεται πάντα από τις δραματικές επιπτώσεις που θα προκύψουν από την πρόκληση ενός ατυχήματος. Ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι τα απόβλητα μιας τέτοιας παραγωγικής διαδικασίας είναι ιδιαίτερα ραδιενεργά με αποτέλεσμα να απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις για την επ' αόριστων αποθήκευση των αποβλήτων.



Εικόνα 4: Εργοστάσια παραγωγής Πυρηνικής Ενέργειας και φυσικού αερίου .



### Διαδικασία εξόρυξης του λιγνίτη.

Ο λιγνίτης βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος που κυμαίνεται από 60 – 250 μ. περίπου και για να τον εξορύξουμε πρέπει πρώτα να διακινήσουμε τα υλικά που βρίσκονται πάνω από αυτών .δηλαδή τα υπερκείμενα. Η εξόρυξη των υπερκειμένων και στη συνέχεια του λιγνίτη, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα συνεχούς λειτουργίας τους καδοφόρους εκσκαφείς.

Από τα υλικά που εξορύσσονται, ο μεν λιγνίτης μεταφέρεται στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς, τα δε υπερκείμενα και ενδιάμεσα υλικά, μεταφέρονται και αποτίθενται κυρίως στις περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί εξόρυξη ,ώστε μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, η επίπτωση στο τοπίο της περιοχής να είναι η ελάχιστη δυνατή. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων, γίνεται με τους Ταινιόδρομους οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν συνεχώς σε μακρινές αποστάσεις μεγάλες ποσότητες υλικών. Τέλος, η απόθεση των στείρων υλικών στις περιοχές όπου έχει αποληφθεί ο λιγνίτης, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα – τα συνεχούς λειτουργίας που ονομάζονται Αποθέτες. Αυτός είναι ο κύκλος για την εξόρυξη και εκμετάλλευση του λιγνίτη. Στη διαδικασία, συμμετέχουν και άλλα μικρότερα μηχανήματα τα οποία υποστηρίζουν τα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα στη λειτουργία τους.



Μέχρι και σήμερα στο λιγνιτικό κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου λειτουργούν :

- 42 ηλεκτροκίνητοι καδοφόροι εκσκαφείς,
- 16 ηλεκτροκίνητοι αποθέτες υλικών,
- 213 περίπου μηχανήματα (φορτωτές, μπουλντόζες).

Στο λιγνιτικό κέντρο απασχολούνται περίπου 5.000 εργαζόμενοι .Είναι ειδικευμένο προσωπικό στις προσπάθειες του οποίου στηρίζεται η μεγάλη ανάπτυξη που εμφανίζει το πρώτο Λιγνιτικό Κέντρο της χώρας μας τα τελευταία χρόνια. Η ανάπτυξη αυτή επιτρέπει στη ΔΕΗ να συγκαταλέγεται μεταξύ των μεγαλύτερων παραγωγών άνθρακα παγκόσμια ,κατέχοντας σήμερα την δεύτερη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση, την τέταρτη στην Ευρώπη και την πέμπτη στον κόσμο. Τέλος, το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου αποτελεί τη μεγαλύτερη υπηρεσιακή Μονάδα της ΔΕΗ και αποτελείται σήμερα από τα εξής λιγνιτωρυχεία :



- Λιγνιτωρυχείο ΚΥΡΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ
- Λιγνιτωρυχείο ΚΑΡΔΙΑΣ
- Λιγνιτωρυχείο ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ
- Λιγνιτωρυχείο ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Αποτελεί γεγονός πως στη τάφρο που αναπτύσσεται στον άξονα Φλώρινα – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη – Ελασσόνα, είναι συγκεντρωμένα τα μεγαλύτερα αποθέματα λιγνίτη που διαθέτει ο Ελλαδικός χώρος. Συγκεκριμένα, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της ευρύτερης λεκάνης Πτολεμαΐδας που με τις σημερινές συνθήκες μπορούν να εκμεταλλευθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανέρχονται σε 2.700 εκ. τόνους που ισοδυναμούν με 400 εκ. τόνους πετρελαίου αξίας. Θα πρέπει δε να σημειωθεί πως η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην περιοχή ξεκίνησε το έτος 1956 και ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας εξορύσσεται και χρησιμοποιείται κυρίως ως καύσιμη ύλη στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ) της περιοχής και οι οποίοι παράγουν το 65% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σήμερα σε όλη την Ελλάδα.

Οι Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί του Ενεργειακού κέντρου Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου, είναι οι εξής ακόλουθοι:

- |                        |      |    |
|------------------------|------|----|
| ➤ ΑΗΣ Πτολεμαΐδας      | 620  | MW |
| ➤ ΑΗΣ Καρδιάς          | 1200 | MW |
| ➤ ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου  | 1580 | MW |
| ➤ ΑΗΣ Αμυνταίου        | 600  | MW |
| ➤ ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ           | 43   | MW |
| ➤ ΑΗΣ Μελίτης Φλώρινας | 330  | MW |

Η αξιοποίηση όμως του λιγνίτη εδώ και πολλά χρόνια προσφέρει και στη θέρμανση περιοχών όπως της Πτολεμαΐδας και Κοζάνης. Δηλ. εξασφαλίζεται στους κατοίκους η χρήση ζεστού νερού το οποίο προσφέρεται από τους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς της περιοχής (Τηλεθέρμανση). Μ' αυτό τον τρόπο οι κάτοικοι των παραπάνω πόλεων έχουν φτηνή οικιακή θέρμανση και ταυτόχρονα δεν επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα από την λειτουργία των κεντρικών θερμάνσεων που λειτουργούν με πετρέλαιο. Τέλος, ένα μέρος της τέφρας που παράγουν οι Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί από την καύση του λιγνίτη, αναμιγνύεται με τα Ελληνικά τσιμέντα για να βελτιώσει τις ιδιότητες τους.



Εικόνα 5: ΑΗΣ Πτολεμαΐδας.





Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων από την λειτουργία των ατμοηλεκτρικών, είναι ιδιαίτερα έντονη τα τελευταία χρόνια. Θα πρέπει αντίστοιχα να σημειωθεί πως για τα έτη 2017 και 2018, το τμήμα περιβάλλοντος και νομαρχιακής αυτοδιοίκησης έχει συντάξει 12 περιπτώσεις οι οποίες αφορούν υπερβάσεις και κυρώσεις στην επιχείρηση της ΔΕΗ στη Κοζάνη. Τα πρόστιμα αφορούν ποσό 600.000 ευρώ και συγκεκριμένα για μόλυνση που προκαλείται στο περιβάλλον λόγω της εξόρυξης λιγνίτη. Το συγκεκριμένο ποσό ορίσθηκε από τους επιθεωρητές περιβάλλοντος και αφορούν τις υπερβάσεις ορίων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων στους νομούς Κοζάνης και Πτολεμαΐδας. Μόνο το πρώτο εξάμηνο του 2017, έπειτα από μετρήσεις, προέκυψε ότι η μέση ετήσια συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων ήταν παραπάνω από το επιτρεπτό. Η μέγιστη ημερήσια ήταν για την ίδια περίοδο 110  $\mu\text{g}/\text{km}^3$  και η ελάχιστη 12  $\mu\text{g}/\text{km}^3$ . Η μέση ετήσια συγκέντρωση δεν πρέπει να είναι πάνω από 40  $\mu\text{g}/\text{km}^3$ .

### Η χρήση του λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας.

Ο σταθμοί που είναι εγκατεστημένοι στην περιοχή της Δ. Μακεδονίας ειδικότερα στις περιοχές Κοζάνης και Πτολεμαΐδας, είναι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βασικό καύσιμο τον λιγνίτη. Η ισχύς αυτών των σταθμών είναι 4.500 MW και υπάρχουν και επιμέρους μονάδες. Με την βοήθεια ταινιοδρόμων, ο λιγνίτης μεταφέρεται στους σταθμούς αυτούς και αποθηκεύεται. Μπορεί όμως και να μπει σε σπαστήρες όπου θα θρυμματισθεί.

Ο θρυμματισμός του γίνεται σε κομμάτια με διάμετρο 4cm και μετά μεταφέρονται σε σιλό λιγνίτη μονάδων. Στον λέβητα της μονάδας γίνεται η καύση του πετρώματος και στο σημείο αυτό η θερμική ενέργεια που δημιουργείται από την καύση του λιγνίτη ατμοποιεί το νερό και στην συνέχεια δημιουργείται υπέρθερμος ατμός. Ο ατμός αυτός συγκεντρώνεται στο λέβητα και αναθερμαίνεται. Έτσι η θερμοκρασία αυξάνεται και εκτονώνεται στον στρόβιλο μέσης και χαμηλής πίεσης. Ο ατμός μεταφέρεται σε ψυγείο όπου και με την βοήθεια ψυκτικού υγρού συμπυκνώνεται.

Στην συνέχεια προθερμαίνεται με την βοήθεια αντλιών και με την χρήση εναλλακτών θερμότητας και εισάγεται και πάλι στον λέβητα αφού έχει ήδη ολοκληρώσει έναν θερμικό κύκλο. Στον πύργο ψύξης αποβάλλεται η θερμική ενέργεια η οποία απάγεται από το ψυκτικό υγρό. Στον πύργο ψύξης μια ποσότητα νερού χάνεται, με την μέθοδο του καταιονισμού. Ο άξονας του στρόβιλου ο οποίος περιστρέφεται με 300 στρ. / λεπτό υπάρχει μια γεννήτρια η οποία και μετατρέπει την κινητική σε ηλεκτρική ενέργεια.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί η φτωχή ενεργειακή απόδοση του λιγνίτη αφού για την παραγωγή 1KWh απαιτείται καύση 1,85 Kg λιγνίτη περίπου και η κατανάλωση 2,5 λίτρων ψυκτικού νερού. Αντίστοιχα, είναι σημαντικό το γεγονός πως όσα από τα καυσαέρια δημιουργούνται από την καύση του λιγνίτη, μεταφέρονται σε μεγάλες διατάξεις κατακράτησης αιωρούμενων σωματιδίων και ονομάζονται ηλεκτροστατικά φίλτρα.

Μέχρι και 60 εκατομμύρια τόνοι υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο παράγονται στη Κοζάνη. Περίπου 1,2 δις τόνοι έχουν εξορυχτεί και τα αποθέματα λιγνίτη τα οποία έχουν



υπολογισθεί με τις νέες τεχνικές και τα νέα οικονομικά δεδομένα είναι περίπου 2,4 δις. τόνοι. Η Ελλάδα σήμερα διαθέτει την 2η θέση στην Ευρώπη ανάμεσα σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες που παράγουν λιγνίτη. Οι περιοχές που έχουν μεγάλη παραγωγή είναι η Κοζάνη και η Μεγαλόπολη. Σε παγκόσμια κλίμακα η Ελλάδα, είναι στην 5η θέση. Παρόλα αυτά η ποιότητα του ελληνικού λιγνίτη είναι χαμηλή. Ο λιγνίτης της Πτολεμαΐδας έχει μέση υγρασία 50-60%, η τέφρα 35%, και η πιο χαμηλή θερμική ικανότητα είναι 1.300 Kcal/kg. Η περιεκτικότητά του σε θείο όμως είναι χαμηλή, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τη περιοχή της Κοζάνης.

## 2.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Στις μέρες μας ολοένα και αυξανόμενη είναι η χρήση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, οι οποίες ως διαθέτουν ένα ισχυρό πλεονέκτημα: θα διαρκούν για όσο χρόνο θα υπάρχει και ο πλανήτης σε μορφή που να μπορεί να ζει άνθρωπος. Οι ΑΠΕ ως καθαρή μορφή ενέργειας εκπέμπουν περιορισμένα ή καθόλου αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η τεχνολογία των ΑΠΕ αποτελεί σήμερα μια βιώσιμη και τεχνολογικά εφικτή λύση αφού ενέργεια μπορεί να παράγεται από τη μετατροπή φυσικών πόρων σε άλλου είδους χρήσιμες μορφές ενέργειας.

Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα καταναμημένων δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις περισσότερες ΑΠΕ δεν υπάρχει κόστος πρώτης ύλης ενώ και το κόστος συντήρησης θα πρέπει να περιορίζεται όσο το δυνατόν ώστε να αποτελούν συμφέρουσα λύση ως προς τα ορυκτά καύσιμα.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο συμφωνήθηκε το 2008 ότι μέχρι το 2020 θα πρέπει να μειωθεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, οι συναρτώμενες εκπομπές ρύπων θα πρέπει επίσης να μειωθούν τουλάχιστον κατά 20%, ενώ το 20% της ενέργειας σε όλα τα κράτη μέλη θα πρέπει να παράγεται από ΑΠΕ ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)). Λίγο αργότερα το 2011 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έδωσε στη δημοσιότητα έναν οδικό χάρτη για το 2050, με σενάρια για τη μείωση κατά 85% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκειμένου να αποτραπούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής που πλέον αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος με πληθώρα φαινομένων – καταστροφών σε όλο τον πλανήτη ([www.energypress.gr](http://www.energypress.gr) , <http://ec.europa.eu>).

Ειδικά για την Ελλάδα ο στόχος για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου τέθηκαν στο 4% στον ενεργειακό τομέα για το 2008 με παράλληλη διείσδυση των ΑΠΕ κατά 18% ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)). Η Ελλάδα το 2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος εξειδικεύτηκε σε 40% στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% στη θέρμανση – ψύξη και 10% στις μεταφορές. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα ποσοστά χρήσης των ΑΠΕ για το 2005 και το απαιτούμενο ποσοστό για το 2020 στις ευρωπαϊκές χώρες.

Οι ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τα ορυκτά καύσιμα και θα συνεχίσουν να εξαρτώνται από αυτά για αρκετές δεκαετίες ακόμα. Η ανάγκη όμως της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει γίνει αντιληπτή σε όλο τον κόσμο και οι περισσότερες χώρες έχουν υπογράψει αντίστοιχες δεσμεύσεις – συνθήκες για χρήση των ΑΠΕ (Συνθήκη του Κιότο). Επιπρόσθετα σε κάποιες χώρες ήδη υπάρχουν ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα από την χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ. Αυτές οι χώρες (Γερμανία Ιαπωνία, Καναδάς) εφάρμοσαν καινοτόμες μεθόδους και οδηγήθηκαν σε ερευνητικά προγράμματα εκμετάλλευσης εναλλακτικών πηγών



ενέργειας αρχικά και στην συνέχεια σε εντατικοποιημένη βιομηχανική παραγωγή μηχανισμών παραγωγής ανανεώσιμης, ηλεκτρικής κυρίως, ενέργειας. Για παράδειγμα, η Γερμανία και η Ιαπωνία πρωτοπορούν στην εκμετάλλευση φωτοβολταϊκών συστημάτων ενέργειας είτε με τις εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε με την υψηλή τεχνογνωσία τους στον κλάδο των εξαρτημάτων και μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Χώρα	Ποσοστό χρήσης ανανεώσιμων πηγών το 2005	Απαιτούμενο ποσοστό χρήσης ανανεώσιμων πηγών το 2020
Σουηδία	39.8%	49%
Λετονία	32.6%	40%
Φινλανδία	28.5%	38%
Αυστρία	23.3%	34%
Πορτογαλία	20.5%	31%
Εσθονία	18%	25%
Ρουμανία	17.8%	24%
Δανία	17%	30%
Σλοβενία	16%	25%
Λιθουανία	15%	23%
Γαλλία	13%	23%
Βουλγαρία	9.4%	16%
Ισπανία	8.7%	20%
Πολωνία	7.2%	15%
<b>Ελλάδα</b>	<b>6.9%</b>	<b>18%</b>
Σλοβακία	6.7%	14%
Τσεχία	6.1%	13%
Γερμανία	5.8%	18%
Ιταλία	5.2%	17%
Ουγγαρία	4.3%	13%
Ιρλανδία	3.1%	16%
Κύπρος	2.9%	13%
Ολλανδία	2.4%	14%
Βέλγιο	2.2%	13%
Ην. Βασίλειο	1.3%	15%
Λουξεμβούργο	0.9%	11%
Μάλτα	0%	10%

Πίνακας 2: Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα  
Πηγή: Renewables Global Status Report, 2010

Υπενθυμίζεται ότι με τον όρο ΑΠΕ νοούνται οι μορφές ενέργειας που προέρχονται από φυσικούς πόρους που βρίσκονται διαθέσιμοι σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον, δεν εξαντλούνται και συνεχώς μπορούν να ανανεώνονται. Επίσης για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση (π.χ εξόρυξη, άντληση ή καύση) και μπορούν να μετατρέπονται σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια. Οι μορφές των ΑΠΕ είναι:

- Ηλιακή Ενέργεια (θερμικά Ηλιακά, Φωτοβολταϊκά),
- Αιολική Ενέργεια,
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια,
- Στοιχεία καυσίμου (υδρογόνο),
- Γεωθερμική Ενέργεια,



- Βιομάζα,
- Κυματική Ενέργεια.

Με τον όρο κυματική ενέργεια νοείται η μετατροπή και εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων, της παλίρροιας, των θερμοκρασιακών διαφορών του νερού των ωκεανών καθώς και των θαλασσίων ρευμάτων. Συνοπτικά λίγα λόγια για τις περισσότερες γνωστές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δίνονται στη συνέχεια.

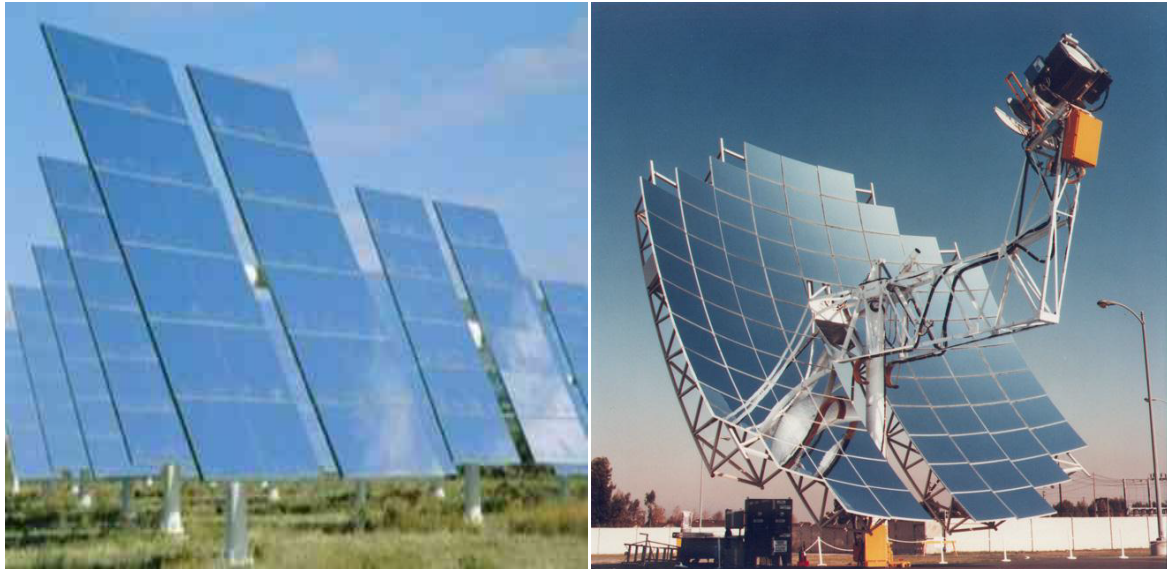
#### ➤ **Ηλιακή Ενέργεια**

Είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας διακρίνεται σε πολλές υποκατηγορίες.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (photovoltaic) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι μια τεχνολογία ημιαγωγών με τεράστια πλεονεκτήματα αλλά μεγάλο κόστος. Είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναπτύσσεται με ραγδαίο ρυθμό τα τελευταία χρόνια με μεγάλη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος. Επίσης μια πολύ σπουδαία εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας είναι τα συστήματα συλλεκτών για θέρμανση ζεστού νερού καθώς και ο ηλιακός θερμοσίφωνας (solar water heating SWH). Τέλος τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα (solar concentrators) παραγωγής ενέργειας διακρίνονται σε αρκετές υποκατηγορίες και εκμεταλλεύονται την ανάκλαση του φωτός σε συνδυασμό με διάφορες τεχνικές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

#### ➤ **Αιολική Ενέργεια**

Ως Αιολική Ενέργεια χαρακτηρίζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή δεν εκπέμπει ή δεν προκαλεί ρύπους. Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό και η ισχύ της, μέσω των αιολικών εγκαταστάσεων, αυξάνεται τα τελευταία χρόνια με μεγάλο ρυθμό. Οι χώρες με την μεγαλύτερη χρήση αιολικής ενέργειας είναι η Γερμανία, η Ισπανία και οι ΗΠΑ. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η Δανία αποτέλεσε την πρωτοπόρο στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με τη μετατροπή της σε ηλεκτρική από πολύ νωρίς από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, διατηρώντας ανεμογεννήτριες στη Βόρεια θάλασσα, μια σπουδαία καινοτομία για την εποχή που αποτελεί πρόκληση ακόμα και σήμερα.



Εικόνα 6: Πάρκο Φωτοβολταϊκών συστημάτων – Συγκεντρωτικό Ηλιακό Σύστημα.

### ➤ Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Έτσι οι ζωικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν αυτή την ενέργεια από την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Η βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση. Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων συνιστούν τη βιομάζα.

### ➤ Γεωθερμική ενέργεια

Είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που πηγάζει από το εσωτερικό της γης, μεταφέρεται στην επιφάνεια με θερμική επαγωγή και με την είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της. Το ζεστό νερό που αντλείται χρησιμοποιείται για την θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων κ.α. Υπάρχουν δύο κύριες εφαρμογές της Γεωθερμικής ενέργειας.

Η πρώτη βασίζεται στη χρήση της θερμότητας της γης για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες χρήσεις (θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων). Αυτή η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από γεωθερμικά γκαίγκερ που φθάνουν με φυσικό τρόπο ως την επιφάνεια της γης ή γεώτρηση στον φλοιό της γης σε περιοχές που η θερμότητα βρίσκεται αρκετά κοντά στην επιφάνεια. Αυτές οι πηγές είναι συνήθως από μερικές εκατοντάδες μέχρι 3000 m κάτω από την επιφάνεια της γης.



Η δεύτερη εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας εκμεταλλεύεται τις θερμές μάζες εδάφους ή υπογείων υδάτων για να κινήσουν θερμικές αντλίες και έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε εφαρμογές θέρμανση και ψύξης.

#### ➤ **Υδροδυναμική ενέργεια**

Ονομάζεται η ενέργεια που παρέχεται στον άνθρωπο από τη δύναμη του νερού στη φύση. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος χρήσης της, είναι μέσω των υδατοπτώσεων αλλά και των φραγμάτων. Αρκετά σημαντικά ποσοστά παραγόμενης ενέργειας μπορούν να προκύψουν από την εκμετάλλευση της υδροδυναμικής ενέργειας και της μετατροπής σε ηλεκτρική ειδικότερα τους χειμερινούς μήνες μεγάλες ποσότητες νερού μπορούν να συσσωρευτούν σε φράγματα και επομένως στη συνέχεια μπορούν να θέτουν σε κίνηση υδροδυναμικές μηχανές. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι και η υδροδυναμική ενέργεια είναι μια καθαρή ανεξάντλητη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που δεν μολύνει το περιβάλλον και παρέχεται από τη φύση.



### 3. Τεχνολογίες Συνκαύσης - Παράμετροι Μελέτης.

Στις υπάρχουσες τεχνολογίες συνκαύσης η βιομάζα μπορεί να αναμειγνύεται με το λιγνίτη έξω από τον λέβητα ή μπορεί να προστίθεται στο λέβητα ξεχωριστά. Οι τεχνολογίες Συνκαύσης συνήθως εφαρμόζονται σε υπάρχοντες Ατμοηλεκτρικούς ή Θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Υπάρχουν 3 τεχνολογικές προσεγγίσεις αναφορικά με τα σχήματα συνκαύσης με λιγνίτη ή φυσικό αέριο σε ένα σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Οι προσεγγίσεις αυτές διαφέρουν ως προς το σχεδιασμό του λέβητα καθώς και με την ποσότητα βιομάζας ως ποσοστό επί του καυσίμου μείγματος και αυτές είναι η άμεση συνκαύση, έμμεση συνκαύση και η παράλληλη συνκαύση.

Η ταυτόχρονη καύση βιομάζας με λιγνίτη, αποτελείται από καύση βιομάζας και άνθρακα σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η από κοινού καύση μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της χρήσης βιομάζας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) επειδή απαιτείται μόνο μια σχετικά μέτρια επταυξητική επένδυση για τον εκσυγχρονισμό υφιστάμενων εγκαταστάσεων άνθρακα ή την κατασκευή νέων εργοστασίων.

Σε σύγκριση με τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καίνε 100% βιομάζα, η από κοινού καύση με λιγνίτη προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, υψηλότερη αποδοτικότητα, βελτιωμένες οικονομίες κλίμακας και χαμηλότερο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους και της ανώτερης απόδοσης των σύγχρονων μονάδων παραγωγής ενέργειας άνθρακα. Προς το παρόν, περίπου 230 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΘ) χρησιμοποιούν συμπαραγωγή, κυρίως στη βόρεια Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες, με ισχύ 50-700 MWe.

Η σύνκαυση βιομάζας με λιγνίτη περιλαμβάνει τρεις συγκεκριμένες τεχνολογίες :

- ✓ Η άμεση σύνκαυση είναι η απλούστερη, φθηνότερη και πιο κοινή επιλογή. Η βιομάζα μπορεί είτε να αλεσθεί από κοινού με λιγνίτη (δηλ. Συνήθως λιγότερο από 5% όσον αφορά την ενεργειακή περιεκτικότητα) ή στη συνέχεια να τροφοδοτηθεί χωριστά στον ίδιο λέβητα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινόχρηστοι ή ξεχωριστοί καυστήρες, με τη δεύτερη επιλογή να επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά τον τύπο και την ποσότητα της βιομάζας.
- ✓ Η έμμεση ταυτόχρονη καύση είναι μια λιγότερο συνηθισμένη διαδικασία κατά την οποία ένας αεριοποιητής μετατρέπει τη στερεή βιομάζα σε αέριο καύσιμο που στη συνέχεια καίγεται με λιγνίτη στον ίδιο λέβητα. Αν και πιο ακριβό λόγω του πρόσθετου τεχνικού εξοπλισμού (δηλαδή του αεριοποιητή), αυτή η επιλογή επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερης ποικιλίας και υψηλότερων ποσοστών βιομάζας. Απαιτείται καθαρισμός και φιλτράρισμα αερίου για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών αερίου πριν από την καύση και η στάχτη των δύο καυσίμων παραμένει ξεχωριστή.



- ✓ Η παράλληλη πυροδότηση απαιτεί χωριστό λέβητα στον ίδιο κύκλο ατμού. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει υψηλά ποσοστά βιομάζας και χρησιμοποιείται συχνά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις χαρτοπολτού και χαρτιού για χρήση υποπροϊόντων από την παραγωγή χαρτιού, όπως φλοιός και απόβλητα ξύλου. Η από κοινού ενεργοποίηση περισσότερο από το 20% της βιομάζας όσον αφορά το ενεργειακό περιεχόμενο είναι τεχνικά διαθέσιμη σήμερα (IEA Bioenergy Task 32, 2009b).

Ανάλογα με την εγκατάσταση του εργοστασίου και την επιλεγμένη τεχνολογία συμπαραγωγής, μπορεί επίσης να επιτευχθεί αντικατάσταση άνω του 50% του άνθρακα (DENA, 2011, Vattenfall 2011). Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, τα επίπεδα συμπαραγωγής είναι κάτω του 5%, ξεπερνώντας το 10% σε συνεχή βάση μόνο σε περίπου δώδεκα μονάδες με καύση άνθρακα παγκοσμίως (IEA Clean Coal Center, 2012). Το μείγμα συμπαραγωγής εξαρτάται επίσης από τον τύπο του διαθέσιμου λέβητα.

Σε γενικές γραμμές, οι λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να υποκαταστήσουν υψηλότερα επίπεδα άνθρακα με βιομάζα από ό,τι λέβητες κονιοποιημένου λιγνίτη (Leckner 2007). Έχει αποδειχθεί 100% μετατροπή από άνθρακα σε βιομάζα (IEA Bioenergy Task 32, 2009b). Στις Κάτω Χώρες και στο Ηνωμένο Βασίλειο, εξετάστηκε η πλήρης μετατροπή μεγάλων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με άνθρακα σε βιομάζα 100%. Ωστόσο, οι υλικοτεχνικοί και οικονομικοί περιορισμοί περιορίζουν τη μετατροπή σε λίγες μονάδες με κατάλληλη υποδομή.

### 3.1 Σχήμα Άμεσης Συνκαύσης.

Η άμεση συνκαύση είναι μια απλή προσέγγιση και η πιο κοινή και η φθηνότερη μέθοδος συνκαύσης βιομάζας με λιγνίτη σε ένα λέβητα που το καύσιμο είναι σε μορφή σκόνης (pulverized coal – PC). Όπως υποδεικνύει και ο τύπος της άμεσης συνκαύσης στην τεχνολογία αυτή η βιομάζα τροφοδοτείται άμεσα στον λέβητα – καυστήρα αφού πρώτα περάσει από σχάρες και αναμειχθεί σε μύλους μαζί με το λιγνίτη που χρησιμοποιείται ως το βασικό καύσιμο. Η κονιοποίηση της βιομάζας μπορεί να γίνεται και ανεξάρτητα από το λιγνίτη, στη συνέχεια να γίνεται η ανάμειξη των δύο καυσίμων και η τροφοδοσία στο λέβητα να γίνεται ταυτόχρονα από βιομάζα και λιγνίτη. Στη συνέχεια το καύσιμο ως ενιαίο καίγεται στον καυστήρα. Ο ρυθμός συνκαύσης είναι συνήθως σε ποσοστό 3 – 5%, το οποίο μπορεί να αυξηθεί και να φθάσει σε ποσοστό 20% όταν χρησιμοποιούνται λέβητες κυκλώνες, αν και τα καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν με λέβητες PC.

Το μέγεθος των σωματιδίων – καυσίμων παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της συνκαύσης και στη βιβλιογραφία υπάρχει εκτενής συζήτηση επί του θέματος. Έτσι για παράδειγμα ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας της βιομάζας, η κονιοποίηση – θρυμματισμός σε σπαστήρες (μύλους - mills) σε σωματίδια των 20 – 25mm σε μήκος (pellets) οδηγεί σε πιο αποδοτική καύση. Επίσης τμήματα φλοιού ή ίνες του φυτού που χρησιμοποιείται ως βιοκαύσιμο μπορεί να επηρεάζουν τη διαδικασία κονιοποίησης. Ακόμα όταν δεν χρησιμοποιείται μύλος για την κονιοποίηση (παρασκευή σκόνης) οι λέβητες κυκλώνα συνιστώνται αν και τα σωματίδια μπορεί να φθάσουν σε ένα μέγεθος ίνας των 6mm. Υπάρχει πάντως ένα όριο χωρητικότητας που εμποδίζει τη την





ποσότητα βιομάζας που θα συμμετέχει στην καύση όταν χρησιμοποιούνται καυστήρες – κυκλώνες. Αυτός ο περιορισμός σχετίζεται με την υψηλή θερμογόνο ισχύ της βιομάζας που τροφοδοτεί τον καυστήρα και η οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα όρια αντοχής του κυκλώνα. Συνήθως το όριο αντοχής μπορεί να φθάσει τα 20 MJ/kg. Επίσης η συγκέντρωση τέφρας που συνήθως οφείλεται σε ατελή καύση που μπορεί να φθάσει σε ένα ποσοστό 5% από τους διάφορους τύπους καύσιμης βιομάζας μπορεί να έχει μέγεθος έως και 0.44in.

Στον Πίνακα 3.1 φαίνονται καταρχήν δύο διαφορετικά καύσιμα, οι διάφοροι τύποι βιομάζας και ο άνθρακας - λιγνίτης. Οι τύποι βιομάζας που καταγράφονται στον πίνακα είναι (sawdust – πριονίδι, urban wood waste – αστικά υπολείμματα ξύλου, γρασίδι – switchgrass, καλάμια καλαμποκιού – corn stover, λευκό πεύκο – whiterpine). Εδώ υπενθυμίζεται ότι οι λιγνίτες γενικά είναι μείγματα άνθρακα και άλλων στοιχείων με τέφρα και πιθανή υγρασία. Διαφέρουν ως προς τα ποσοστά άνθρακα που γενικά είναι και τα μεγαλύτερα ποσοστά (συνήθως άνω του 60 – 70%) του συνολικού μείγματος. Στους τύπους βιομάζας δίνονται στοιχεία για 5 χαρακτηριστικά είδη βιομάζας, ενώ για τον άνθρακα δίνεται ένας τύπος λιγνίτη και τύρφη (peat).

Η ανάλυση του μείγματος βιομάζας περιγράφεται στις 4 πρώτες γραμμές του πίνακα και αναφέρεται σε άνθρακα, πτητικές ύλες (Volatile matter) τέφρα (ash) και υγρασία. Το άθροισμα ως ποσοστό θα πρέπει να είναι 100%. Φαίνεται ότι ως προς τους τύπους άνθρακα (λιγνίτη – τύρφη) δίνεται η στοιχειομετρία του ξηρού άνθρακα και τα ποσοστά υγρασίας ξεχωριστά.

Στο δεύτερο τμήμα του πίνακα δίνεται η στοιχειομετρική ανάλυση των καυσίμων σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο, θείο τέφρα και υγρασία. Στην προτελευταία γραμμή δίνεται η τιμή της Ανώτερης Θερμογόνου Δύναμης (High – Heat Value) που δείχνει το ενεργειακό περιεχόμενο που μπορεί να απελευθερώσει ως θερμότητα το κάθε καύσιμο κατά την καύση του.

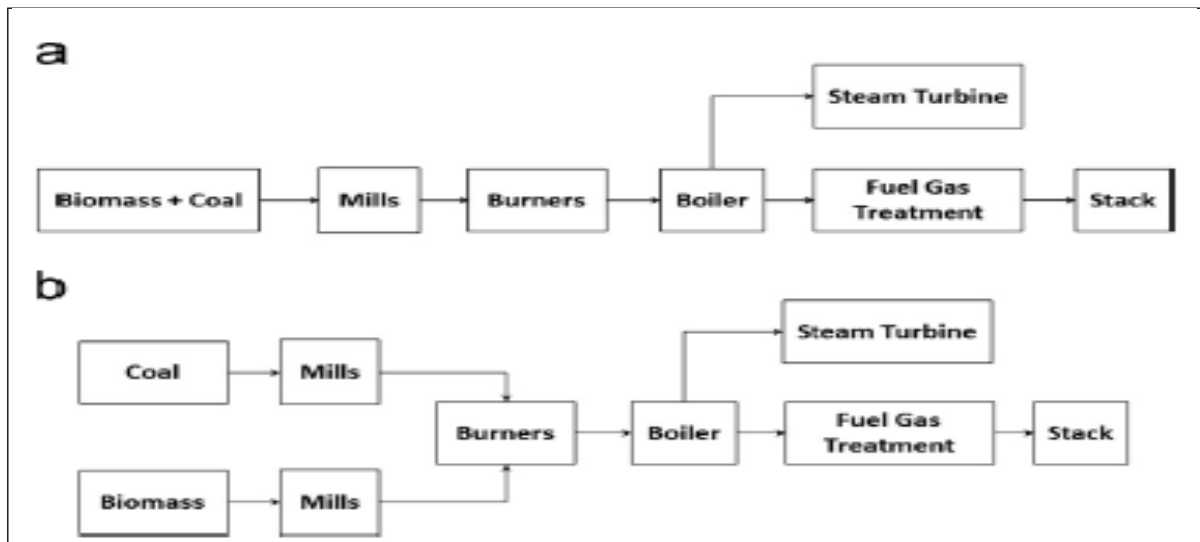
Στον Πίνακα 3.1 επίσης δίνεται μια σύγκριση της τυπικής σύνθεσης αρκετών καυσίμων βιομάζας και άνθρακα με βάση την στοιχειομετρία τους. Σε σύγκριση με αυτά τα ορυκτά καύσιμα, τα περισσότερα καύσιμα βιομάζας περιέχουν [42,43] λιγότερο άνθρακα, περισσότερο υδρογόνο και οξυγόνο, λιγότερο θείο και άζωτο, πιο πτητικές ουσίες μικρότερη θερμογόνο δύναμη / ισχύ και μικρότερη πυκνότητα.

Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί δίνεται η διαδικασία καύσης που ακολουθείται για δύο σχήματα συνκαύσης (a) το καύσιμο εισέρχεται προαναμεμειγμένο σε σπαστήρες πριν την είσοδο στους καυστήρες ενώ στο (b) ο άνθρακας και η βιομάζα περνούν από σπαστήρες ξεχωριστά και η ανάμειξή τους γίνεται κατά την εισαγωγή στους καυστήρες.

Πίνακας 3.1: Τυπικά είδη βιοκαυσίμων σε σύγκριση με δύο μείγματα αναφοράς άνθρακα.



	Typical biomass					Coal	
	Sawdust	Urban wood waste	Switchgrass	Corn stover	White pine	lignite	peat
<i>Proximate analysis (wt%)</i>							
Fixed carbon	9.34	12.5	12.18	15.36	15.1	23.9	29.4
Volatile matter	55.03	52.56	65.19	69.74	84.5	54.0	68.6
Ash	0.69	4.08	7.63	6.90	0.44	22.0	2.0
Moisture	34.93	30.78	15.00	8.00	38	30	35.8
<i>Ultimate analysis (wt%)</i>							
Carbon	32.06	33.22	39.68	42.00	52.5	58.8	56.1
Hydrogen	3.86	3.84	4.95	5.06	6.32	4.17	5.67
Oxygen	28.19	27.04	31.93	36.52	40.6	13.6	35.2
Nitrogen	0.26	1.00	0.65	0.83	0.10	0.91	0.81
Sulfur	0.01	0.07	0.16	0.09	< 0.05	0.50	0.23
Ash	0.69	3.99	7.63	6.90	0.44	22.0	2.0
Moisture	34.93	30.84	15.00	8.00	38	30	35.8
HHV—as received (Btu/lb)	5431	5788	6601	7000	8856	9372	9200
Volatile/fixed carbon ratio	5.89	4.20	5.35	4.54	5.60	2.26	2.33



Εικόνα 7: Σχήματα Τεχνολογίας Άμεσης Συνκαύσης.

### 3.2 Σχήμα Έμμεσης Συνκαύσης.

Η τεχνολογία έμμεσης συνκαύσης επιτρέπει στη βιομάζα να συνκαίγεται σε ένα σύστημα ελαίου ή αερίου. Το σχήμα έμμεσης συνκαύσης μπορεί να υποδιαιρείται και να υφίσταται σε δύο τύπους έναν τύπο που βασίζεται στην αεριοποίηση (gasification based) και έναν τύπο πυρόλυσης. Ειδικότερα:



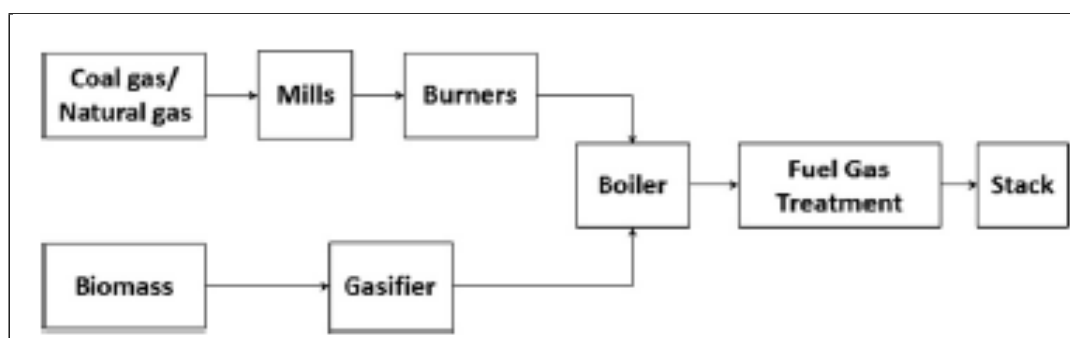
Αναφορικά με τον τύπο έμμεσης συνκαύσης που βασίζεται στην αεριοποίηση (gasification) η τροφοδοσία της βιομάζας γίνεται στον αεριοποιητή στα πρώτα στάδια της διαδικασίας ώστε να παραχθεί καταρχήν το συνθετικό αέριο (syngas) που αναμένεται να είναι πλούσιο σε CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> καθώς και κάποιους άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες (π.χ αιθάνιο, προπάνιο).

Το συνθετικό αέριο (syngas) στη συνέχεια καίγεται μαζί με είτε φυσικό αέριο είτε με αεριοποιημένο άνθρακα σε έναν κατάλληλο καυστήρα. Η θερμογόνος δύναμη του syngas έχει σχέση αντιστρόφως ανάλογη με το περιεχόμενο υγρασίας του καυσίμου. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στον Πίνακα ελάχιστη υγρασία 8% διαθέτει το καλαμπόκι ενώ η μέγιστη τιμή υγρασίας καταγράφεται για το λευκό πεύκο 38%.

Οι αρνητικές επιπτώσεις των υψηλών ποσοστών υγρασίας σχετίζονται με:

- Τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας καταναλώνουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για την ξήρανση του βιοκαυσίμου, που έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη ενέργεια που θα περιλαμβάνει το αεριοποιημένο συνθετικό αέριο,
- Τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας κατά την τροφοδοσία οδηγεί σε υψηλότερο περιεχόμενο υδρατμών στο syngas που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ποσοστών αερίων της καύσης του syngas (CO, H<sub>2</sub>).

Ο δεύτερος τύπος έμμεσης συνκαύσης βασίζεται στην διαδικασία της πυρόλυσης, κατά την οποία το καύσιμο βιομάζας ακολουθεί μια διεργασία διάσπασης – καταστροφής για την παραγωγή ενός υγρού καυσίμου ή ενός συμπυκνωμένου στερεού (solid char). Στη συνέχεια το παραγόμενο βιοντίζελ όπως χαρακτηρίζεται πλέον χρησιμοποιείται σε σχήματα συνκαύσης με ένα άλλο βασικό καύσιμο σε ένα σταθμό παραγωγής ισχύος [24]. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η τεχνολογία αυτή βρίσκεται στο στάδιο της αξιολόγησης ως προς την εμπορική εκμετάλλευση και βρίσκεται ακόμα στο στάδιο ανάπτυξης.



Εικόνα 8: Σχήμα Τεχνολογίας έμμεσης συνκαύσης.

Η συνκαύση που βασίζεται στην αεριοποίηση σε λέβητες με κονιοποιημένο λιγνίτη έχει παρουσιαστεί με επιτυχία στη Φιλανδία με χρήση διαφόρων τύπων καυσίμων βιομάζας (πριονίδι, υπολείμματα ξυλείας κλπ [25]. Η εμπορική χρήση και αποδοχή έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω και της επιτυχούς εμπορικής λειτουργίας ενός αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed gasifier).



Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η καταλληλότερη τεχνολογία αεριοποίησης για σχήματα έμμεσης συνκαύσης είναι η αεριοποίηση ρευστοποιημένης κλίνης είτε στη μορφή αεριοποίησης φυσσαλίδων είτε στη μορφή αεριοποίησης με ανακυκλοφορία αφού και στις δύο περιπτώσεις δίνεται η δυνατότητα χρήσης πολλών τύπων βιοκαυσίμων.

Η τεχνολογία έμμεσης συνκαύσης βασισμένη στην αεριοποίηση διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα συγκρινόμενη με άλλες συμβατικές τεχνολογίες όπως:

- Δεν επιτρέπει την τροφοδοσία υλικού βιομάζας στο λέβητα σε στερεή μορφή που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σκουριάς και τέφρας στα τοιχώματα,
- Η αεριοποίηση συνδυάζει πλήρη καύση στον κλίβανο με που μικρούς χρόνους παραμονής του βιοκαυσίμου [26]

Η αεριοποίηση μπορεί να δυναμικά να αντικαταστήσει υψηλότερα ποσοστά απαιτούμενου αερίου βιομάζας στο σχήμα της έμμεσης συνκαύσης αν και ακόμα μένει να ελεγχθεί η αποδοτικότητα, η απόδοση του λέβητα και οι εκπομπές ρύπων.

Η αεριοποίηση ως διαδικασία προσφέρει ένα μοναδικό πλεονέκτημα ως προς το ότι μπορεί να διαχειριστεί συνδυασμούς πληθώρας βιοκαυσίμων και βασικών καυσίμων. Η αεριοποίηση ειδικότερα ως προς το βασικό καύσιμο μπορεί να επιτευχθεί με χρήση άνθρακα, διαφόρων τύπων λιγνίτη και φυσικού αερίου [20].

Παρά ταύτα το κύριο ενδιαφέρον και η ανησυχία των ερευνητών ως προς την τεχνολογία αυτή ειδικά σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές, είναι η επίτευξη και διατήρηση πολύ υψηλών επιπέδων παραγωγής καθαρού αερίου καθώς και το υψηλό κόστος της διαδικασίας. Τα ερωτήματα αυτά καθιστούν το σχήμα έμμεσης συνκαύσης τη λιγότερο εμπορικά επιτυχημένη τεχνολογία.

### 3.3 Σχήμα Παράλληλης Συνκαύσης.

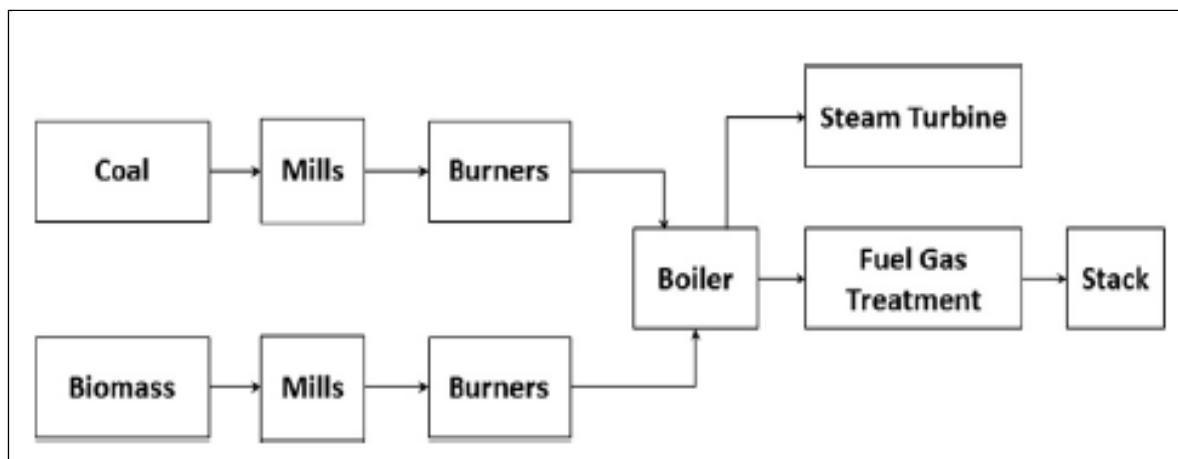
Στην τεχνολογία παράλληλης συνκαύσης οι διεργασίες της προεπεξεργασίας της βιομάζας, της τροφοδοσίας και της καύσης γίνονται σε ξεχωριστούς καυστήρες αποκλειστικά για τις παραπάνω διεργασίες.

Το σχήμα αυτό της παράλληλης συνκαύσης περιλαμβάνει την εγκατάσταση ενός εντελώς ξεχωριστού καυστήρα βιομάζας με στόχο την παραγωγή ατμού που θα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σταθμό παραγωγής ισχύος [27]. Αντί της χρήσης ατμού υψηλής πίεσης από τον κύριο λέβητα, ο χαμηλής πίεσης ατμός που θα παράγεται στο λέβητα βιομάζας θα χρησιμοποιείται κατά τρόπο που να εκπληρώνει τις απαιτήσεις του σταθμού ισχύος με λιγνίτη.

Το σχήμα παράλληλης συνκαύσης προσφέρει μεγαλύτερη δυνατότητα για τη χρήση υψηλότερων ποσοστών καυσίμων βιομάζας στον καυστήρα. Αυτή η τεχνολογία επίσης προσφέρει χαμηλότερα ρίσκα και υψηλότερη αξιοπιστία λόγω της παράλληλης ακριβώς λειτουργίας των καυστήρων βιομάζας προς τον κύριο λέβητα.



Υπάρχει μειωμένη τάση ως προς το σχηματισμό εναπόθεσης, όπως ρύπανση και σκωρίαση, καθώς και διάβρωση, αφού ο σχεδιασμός του συστήματος εμποδίζει τα καυσαέρια βιομάζας να έρθουν σε επαφή με τις επιφάνειες θέρμανσης του λέβητα ενώ ακόμα και η διαδικασία καύσης βελτιστοποιείται. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία είναι μεγαλύτερης έντασης κεφαλαίου από το σχήμα άμεσης συνκαύσης λόγω του απαιτούμενου αποκλειστικού συστήματος λέβητα [28]. Η εφαρμογή του είναι κοινή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις χαρτοπολλτού και χαρτιού στις οποίες χρησιμοποιούνται παραπροϊόντα από την παραγωγή χαρτιού, όπως φλοιού και άλλα υπολείμματα.



Εικόνα 9: Τεχνολογίες παράλληλης συνκαύσης βιομάζας.

### 3.4 Επίπεδα Συνκαύσης.

Γενικά υπάρχει μεγάλη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> με την εφαρμογή τεχνολογιών συνκαύσης βιομάζας με κάποιο βασικό καύσιμο όπως το λιγνίτη σε ένα καυστήρα.

Η ποσότητα του καυσίμου βιομάζας που συμμετέχει στο σχήμα της συνκαύσης λέγεται επίπεδο ή ρυθμός συνκαύσης. Αν και πιστεύεται ότι η βιομάζα μπορεί δυναμικά να αντικαταστήσει πάνω από το 50% του λιγνίτη που χρησιμοποιείται στο σχήμα συνκαύσης σήμερα το ποσοστό συμμετοχής της βιομάζας δεν ξεπερνά ένα ποσοστό 5 – 10% [10]. Ο Πίνακας 3.2 δείχνει το εύρος των επιπέδων συμπαραγωγής για διαφορετικούς τύπους λέβητα καθώς και μια τεχνική σύγκριση των λεβήτων.

Αυτό το σημαντικό έλλειμμα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην τρέχουσα αδυναμία στη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics) ως προς στατιστικά, τεχνικά και οικονομικά θέματα. Επίσης άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εφοδιαστική αλυσίδα είναι η προέλευση και η ποιότητα της χρησιμοποιούμενης βιομάζας, η εγκατάσταση του εργοστασίου ο τύπος και η απόδοση του λέβητα, περιβαλλοντικά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών από οξείδια θείου και αζώτου, καθώς και η συνολική ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των υποπροϊόντων (π.χ.



ιπτάμενη τέφρα, τέφρα πυθμένα και γύψος), ο σχηματισμός διάβρωσης και η επιδείνωση των συστημάτων καθαρισμού αερίων κατόντη [10].

Τα υψηλότερα επίπεδα συνκαύσης βιομάζας γενικά επιτυγχάνονται με χρήση λέβητα ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed) ή λέβητα κυκλώνα παρά με χρήση λέβητα σχάρα (pulverized coal – fired) [29, 30]. Αυτό συμβαίνει γιατί οι λέβητες κόνεος με σχάρα έχουν τον περιορισμό του μεγέθους των σωματιδίων βιομάζας προς καύση και μπορούν να διαχειριστούν σωματίδια καυσίμου με μεγέθη μικρότερα των 10 – 20mm λιγνίτη τα οποία μπορούν να αλέσουν έως 75 – 300μm.

Πίνακας 3.2: Τυπικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών συστημάτων συνκαύσης [16, 31].

Co-combustion system	Operation requirements	Co-firing percentage (% heat)	Technical features
Pulverized combustion	Fuel type: coal, sawdust, and fine shavings; Particle size: < 10-20 mm; Moisture content: < 20 wt%	1-40%	Can decrease NO <sub>x</sub> significantly; Limited by biomass particle size and moisture content.
Fluidized-bed combustion	Fuel type: various fuels, better suited for woody biomass than for herbaceous biomaterial; Particle size: < 80 mm (BFB), < 40 mm (CFB); Temperature: < 900 °C	CFB: 60-95.3% BFB: 80%	The fluidized bed combustion system is the most suitable boiler for biomass co-firing. The soot formation is problematic, especially in CFB.
Packed-bed combustion	Fuel Type: wide range of fuels, including coal, peat, straw and woody residues; Particle size: fairly large pieces < 30 mm	3-70%	Not suitable for direct co-firing, although can be used for parallel or in-direct co-firing.
Cyclone combustion	Ash content: > 6%; volatiles: > 15%; except in a dried form, moisture content: > 20%.	10-15% by heat input or 20-30% by mass	Suitable for co-firing since minimal modifications are needed for feeding and mixing the biomass and the coal

Αυτή η ανισότητα οδηγεί σε σοβαρές προκλήσεις καθώς αυξάνεται το επίπεδο της συνκαύσης σημαντικά. Ενώ αυτή η πρόκληση εξαλείφεται τόσο μέσω του λέβητα ρευστοποιημένης κλίνης όσο και του λέβητα κυκλώννα, οι λέβητες προσφέρουν άλλα πλεονεκτήματα όπως η αύξηση της επιλογής και της φύσης του καυσίμου βιομάζας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθώς και η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub> [9].

Ο Πίνακας 3.2 δείχνει το εύρος των επιπέδων συνκαύσης που μπορούν να επιτευχθούν με αυτές τις τεχνολογίες λέβητα [16,31,32]). Συνήθως, οι τύποι λέβητα που χρησιμοποιούνται για την ταυτόχρονη καύση βιομάζας καταγράφουν μικρή ή καθόλου απώλεια στην συνολική απόδοση του λέβητα μετά τη ρύθμιση της παραγωγής καύσης για το νέο μείγμα καυσίμου. Επομένως, η αποδοτικότητα της καύσης πρώτων υλών βιομάζας στην ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να κυμαίνεται από 33% έως 37% όταν η πρώτη ύλη βιομάζας συμψηφίζεται με άνθρακα. Ωστόσο, ένα υψηλό ποσοστό συνκαύσης βιομάζας οδηγεί γενικά σε μείωση της απόδοσης και της ισχύος εξόδου του συστήματος.

Εκτιμάται ότι περίπου 150 GW ισχύος (δηλαδή, έως και 2,5 φορές περισσότερο από την τρέχουσα παγκοσμίως εγκατεστημένη ισχύ βιομάζας) μπορεί να παραχθεί εάν η τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί με άνθρακα συμψηφιστεί με έναν ρυθμό βιομάζας σε ποσοστό 10% [7,10].



Η καθαρή απόδοση ηλεκτροπαραγωγής μιας τυπικής μονάδας συνκαύσης βιομάζας συνήθως κυμαίνεται από 35-44%. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η τεχνολογία άμεσης συνκαύσης είναι συνήθως ελαφρώς πιο αποτελεσματική με απόδοση μεγαλύτερη κατά περίπου 2% ως προς τις άλλες τεχνολογίες συνκαύσης λόγω των απωλειών μετατροπής που συμβαίνουν στους αεριοποιητές και στους λέβητες βιομάζας [10].

Ωστόσο, ο βαθμός απόδοσης εγκαταστάσεων άμεσης συνκαύσης μειώνεται όταν τα ποσοστά βιομάζας αυξάνονται λόγω επικαθίσεων τέφρας και σκωρίας που μπορεί να εμφανιστούν στο λέβητα. Τα πιο κοινά - συνηθισμένα σημεία που παρατηρείται το πρόβλημα είναι οι θερμαντήρες της εγκατάστασης.

Επιπλέον, μοντέρνοι, μεγάλοι και υψηλής απόδοσης σταθμοί παραγωγής ενέργειας επιτυγχάνουν σημαντικά υψηλότερη απόδοση μετατροπής βιομάζας σε σύγκριση με τις μικρές που φθάνουν στα 10-50 MW. Σύμφωνα με την οικονομία κλίμακας των μεγάλων εγκαταστάσεων συνκαύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα προκύπτει μειωμένο κόστος παραγόμενης ενέργειας ανά μονάδα μάζας καυσίμου βιομάζας [1,10,33].

### 3.5 Τεχνικές και Οικονομικές Προκλήσεις.

Στην πορεία μείωσης των εκπομπών σε σημαντικό βαθμό θα πρέπει να καταναλώνονται μεγαλύτερες ποσότητες βιομάζας. Το πρόβλημα που ανακύπτει έγκειται στην ασταθή τροφοδοσία. Μεγάλες ποσότητες βιομάζας ποιότητας μπορούν να επιτευχθούν όταν οι μονάδες συνκαύσης βρίσκονται κοντά σε άφθονες πηγές επιθυμητών τύπων καυσίμων βιομάζας, δηλ. όταν χρησιμοποιούνται αξιόπιστες, ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες ή υπάρχει διεθνές εμπόριο βιομάζας σε περιπτώσεις όπου η τοπική υποδομή δεν υποστηρίζει επαρκή παροχή βιομάζας. Επίσης θα πρέπει να εφαρμόζονται τεχνολογίες προεπεξεργασίας βιομάζας, όπως ο θρυματισμός - σφαιροποίηση, που οδηγεί σε κομμάτια πέλλετ ή και σε μεγαλύτερα κομμάτια όπως μπριγκέτες στα οποία καταρχήν θα έχουν αφαιρεθεί τα μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας. Το καύσιμο βιομάζας δηλ. θα πρέπει κατά την προεπεξεργασία να έχει ξηρανθεί και να στη συνέχεια να μεταφέρεται στον καυστήρα [34].

- Η από κοινού καύση βιομάζας με λιγνίτη μπορεί να επηρεαστεί μια σειρά τεχνικών θεμάτων παραγόντων και υποδομών όπως οι ακόλουθοι:
- Ως προς τον τύπο του καυσίμου βιομάζας, σημαντικοί παράγοντες είναι η διαθεσιμότητα και η ποιότητα κατά την εφοδιαστική αλυσίδα. Απαιτείται κατάλληλος χειρισμός και μεταφορά καυσίμων, προεπεξεργασία (ξήρανση και άλεση) και μεγάλες χωρητικότητες αποθήκευσης.
- Η τιμή της βιομάζας ως πρώτη ύλη, σε σύγκριση με το λιγνίτη είναι χαμηλού κόστους ενώ το μέγεθος των σωματιδίων βιομάζας για καύση σε λέβητες εναιωρήματος ή σε σκόνη σχετίζονται με τις δυνατότητες έγχυσης βιομάζας στο λέβητα.
- Η χωρητικότητα και η απόδοση του λέβητα / καυστήρα, ως προς την καθαρή ισχύ εξόδου, τη διαμόρφωση του καυστήρα, τη θέση της φλόγας και τις πιθανές



διαφορετικές συμπεριφορές συνκαύσης με διαφορετικούς τύπους καυσίμων βιομάζας καθώς και υπάρχοντες περιορισμοί λέβητα αποτελούν σημαντικές παραμέτρους που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης.

- Ο σχηματισμός εναπόθεσης (σκωρία και ρύπανση), διάβρωση (corrosion / erosion) και συνεπώς αλλαγές στη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, η συσσωμάτωση κομματιών καυσίμου αποτελούν σημαντικούς παράγοντες.
- Ως προς τις εκπομπές ρύπων, η ορθή λειτουργία και υψηλή απόδοση του λέβητα για την οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παραπάνω παράγοντες / παράμετροι σχετίζεται με καθαρά όσο το δυνατόν καυσαέρια. Σχετικά με την ορθή λειτουργία επίσης θα πρέπει να επιδιώκονται συνθήκες που οδηγούν σε μειωμένες ποσότητες τέφρας και γενικότερα τα έξοδα καθαρισμού να είναι μειωμένα. [1,8,13,28,35].

### 3.5.1 Τύπος καυσίμου βιομάζας.

Η βιομάζα είναι ένα καύσιμο υλικό που συνήθως καίγεται για την παραγωγή θερμότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κίνησης σε οχήματα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής [5]. Σύμφωνα με τον Parry et al. [36], η βιομάζα είναι οργανικό υλικό ή υποπροϊόν ανόργανου υλικού. Όταν η βιομάζα συμμετέχει σε σχήματα συνκαύσης με άλλους τύπους καυσίμου όπως λιγνίτη, είναι απαραίτητη η επαρκής κατανόηση των ιδιοτήτων των καυσίμων.

Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες κάθε ομάδας τύπου καυσίμου. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η βιομάζα ποικίλλει δραστικά ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους π.χ ως προς τη θερμογόνο ισχύ που αποτελεί την κύρια παράμετρο ενώ ακόμα και οι διάφοροι λιγνίτες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ως προς τις ιδιότητές τους και ειδικότερα πάλι ως προς τη θερμογόνο ισχύ τους. Εδώ υπενθυμίζεται ότι η θερμογόνο ισχύς / δύναμη είναι το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος ενός καυσίμου ως προς την ενέργεια / θερμότητα που μπορεί να αποδώσει κατά την καύση του και είναι έτσι πρωταρχικής σημασίας για την επιλογή των καυσίμων. Θα πρέπει δηλ. τα σχήματα συνκαύσης να σχεδιάζονται με βάση τη θερμογόνο ισχύ τους αφού η κύρια ιδιότητα που υποδεικνύει την απόδοση της συνκαύσης πέρα από την ποιότητα των υλικών καυστήρα και λέβητα [7].

Έτσι γενικότερα η βιομάζα μπορεί να ταξινομηθεί με βάση την προέλευσή της και τις συνεπαγόμενες ιδιότητές της. Με βάση την προέλευσή της, η βιομάζα μπορεί να ταξινομηθεί σε:

- Πρωτεύοντα υπολείμματα: Αυτά περιλαμβάνουν βιομάζα όπως ξύλο, άχυρο, δημητριακά, αραβόσιτος κ.λπ., που λαμβάνονται από τα υποπροϊόντα των δασικών προϊόντων και είδη διατροφής.
- Δευτερεύοντα υπολείμματα: Αυτά περιλαμβάνουν βιομάζα όπως πριονίδι και υπολείμματα χαρτιού από βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, σπόρους από





βερίκοκα κ.λπ., που προέρχονται από την επεξεργασία υλικού βιομάζας για βιομηχανική και παραγωγή τροφίμων.

- Τριτογενή υπολείμματα: Αυτά περιλαμβάνουν απορρίμματα και υλικά ξυλείας από κατεδαφίσεις που προέρχονται από άλλα χρησιμοποιημένα υλικά βιομάζας.
- Ενεργειακές καλλιέργειες [3]. Πρόκειται δηλ. για καλλιέργειες συγκεκριμένων φυτών υψηλού ενεργειακού περιεχομένου τα οποία στη συνέχεια θα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μετά από προεπεξεργασία για την τροφοδοσία των σταθμών παραγωγής ισχύος προσφέροντας τις κατάλληλες ποσότητες βιοκαυσίμου.

Επιπλέον, τα καύσιμα βιομάζας μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τις ιδιότητές τους [37–39] σε:

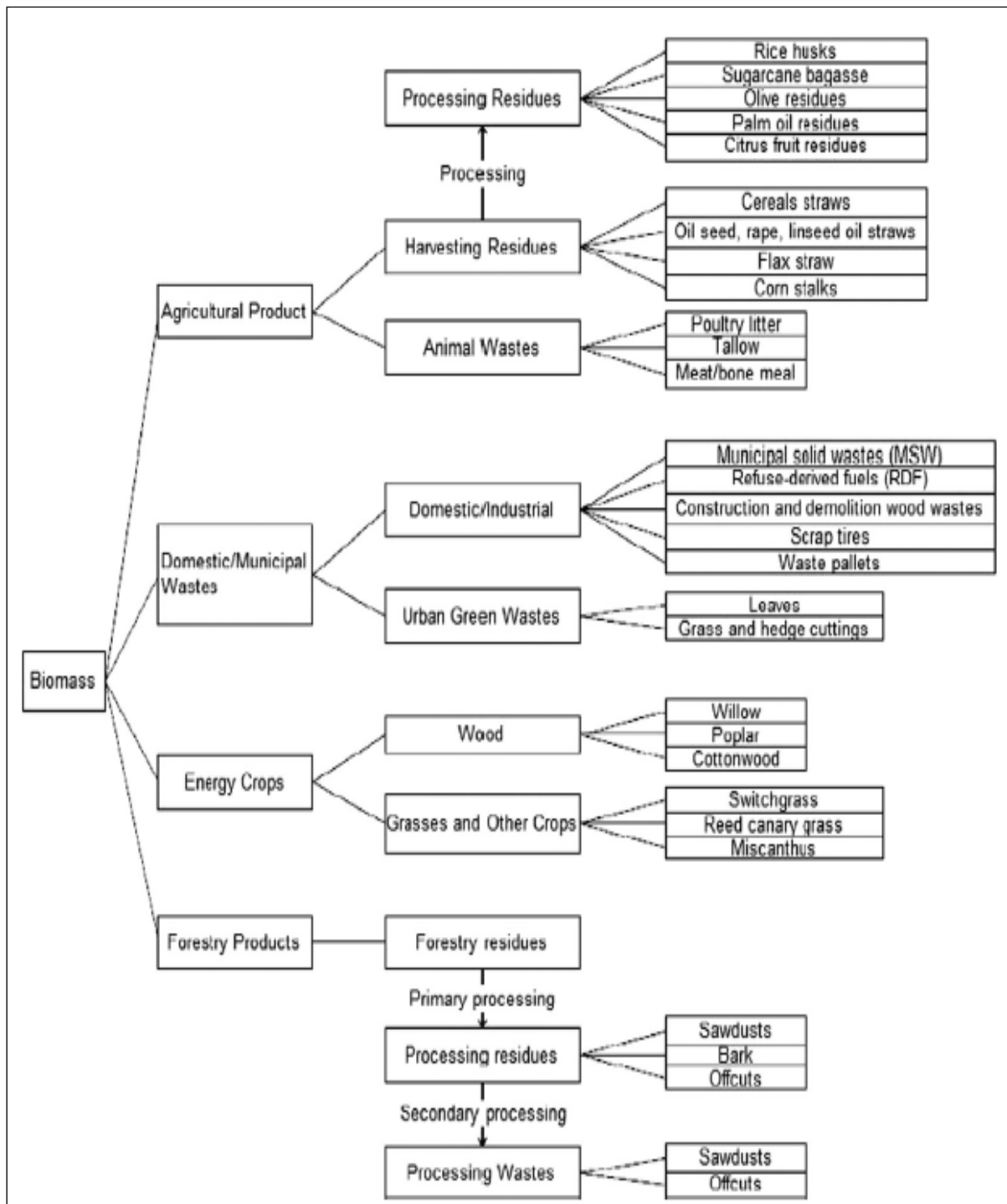
- ξυλώδη βιομάζα.
- πτώδη βιομάζα;
- απόβλητα και παράγωγα
- υδατική βιομάζα (φύκια, κ.λπ.).

Τα κυριότερα στερεά υλικά βιομάζας όταν εξετάζονται τόσο η ταξινόμηση προέλευσης όσο και η ταξινόμηση ιδιοτήτων στην Εικ. 9.

Η ξυλώδης βιομάζα θεωρείται η πιο βολική επιλογή για το σχήμα της συνκαύσης. Η καλής ποιότητας βιομάζα θεωρείται εξαιρετικό καύσιμο βιομάζας επειδή είναι φυσικά χαμηλή σε τέφρα, θείο και άζωτο, ουσίες οι οποίες είναι εξαιρετικά αντιδραστικές και πτητικές. Επομένως, τα ξυλώδη καύσιμα βιομάζας, όπως δασικά υπολείμματα καθώς και τα υπολείμματα άλεσης τροφών από τη βιομηχανία τροφίμων είναι τα πιο υποσχόμενα ως καύσιμα τροφοδοσίας στο σχήμα της συνκαύσης. Επίσης η σκόνη από πριονίδι είναι από τις πιο ευνοϊκές πρώτες ύλες βιομάζας [8].

Μέχρι σήμερα τόσο δασικά όσο και υπολείμματα άλεσης έχουν επιτυχώς χρησιμοποιηθεί ως το δευτερεύον καύσιμο στα συστήματα συνκαύσης στην Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη [19].

Άλλα υλικά βιομάζας που έχουν χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στη συνκαύση είναι τα αγροτικά υπολείμματα όπως άχυρο, ή αγροτικά προϊόντα όπως ζαχαροκάλαμο, καλαμπόκι, φλοιός ρυζιού ή άλλων δημητριακών καθώς και η ελιά [28]. Κυρίαρχα όμως επιδιώκεται η χρήση ξυλώδους και πτώδους βιομάζας ως καύσιμα δεδομένου ότι αυτά τα είδη ανταποκρίνονται στον κεντρικό στόχο της συνκαύσης τόσο από πλευράς ανάπτυξης τεχνολογίας όσο και από πλευράς εύκολης γεωγραφικής θέσης. Η γεωγραφική θέση σχετίζεται με την έννοια ότι σε ήδη υπάρχοντες σταθμούς παραγωγής ισχύος (ατμοηλεκτρικούς σταθμούς – ΑΗΣ), που παραδοσιακά είναι εγκατεστημένοι εκτός των πόλεων πιο κοντά σε αγροτικές περιοχές είναι πιο εύκολη η μεταφορά και επεξεργασία ξυλώδους και πτώδους βιομάζας από τις γύρω περιοχές.



Εικόνα 10: Κύρια στερεά υλικά βιομάζας βιομηχανικού ενδιαφέροντος σε παγκόσμια κλίμακα [40].



### 3.5.2 Ιδιότητες καυσίμων βιομάζας.

Οι ιδιότητες των υλικών βιομάζας (υπολειμμάτων) διαφέρουν πολύ λόγω της διαφορετικής φύσης τους και τα καύσιμα βιομάζας διαφέρουν σημαντικά από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα όπως οι διαφορετικοί τύποι λιγνίτη - άνθρακες ή το φυσικό αέριο. Η διαφορά έγκειται τόσο ως προς τις φυσικές και χημικές ιδιότητες όπως και στη σύνθεση και το ενεργειακό περιεχόμενο [41].

Για παράδειγμα, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο δεν θεωρούνται βιομάζα αν και η προέλευσή τους ιχνηλατείται σε φυτικά και ζωικά υπολείμματα. Ο λόγος για αυτό είναι ότι ο «άνθρακας» στον οποίο βασίζονται τα ορυκτά καύσιμα δεν ήταν στον «καθιερωμένο κύκλο άνθρακα» για εκατομμύρια χρόνια. Ως εκ τούτου, ο άνθρακας που απελευθερώνεται τελικά κατά την καύση του λιγνίτη ή του φυσικού αερίου διακόπτει τον κύκλο του άνθρακα. Ορισμένες τυπικές στοιχειώδεις συνθέσεις διαφόρων μορφών βιομάζας και άνθρακα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

**Πίνακας 3.3 Τυπικές στοιχειώδεις συνθέσεις (%) διαφόρων τύπων βιομάζας και λιγνίτη. [41]**

Fuel	C	H	O	N	S	Si	K	Ca
Anthracite coal	91-94	2-4	2-5	0.6-1.2	0.6-1.2	2-6	0.1-0.5	0.03-0.2
Bituminous coal	83-89	4-6	3-8	1.4-1.6	1.4-1.7	2-3	0.1-0.2	0.1-0.3
Wood (clean and dry)	50	6.1	43	0.2	-	0.05	0.1	0.04
Switchgrass	48	5.5	43	0.2	-	1.4	0.4	0.2

Note: C=Carbon; H=Hydrogen; O=Oxygen; N=Nitrogen; S=Sulfur; Si=Silicon; K=Potassium; Ca=Calcium; Cl=Chlorine.

Τα καύσιμα βιομάζας τείνουν να συμπεριφέρονται παρόμοια με την τύρφη, έναν άνθρακα χαμηλού επιπέδου, (χαμηλής θερμογόνου ισχύος – χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου) καθώς και με τον λιγνίτη. Τα καύσιμα βιομάζας έχουν πολύ λιγότερο άνθρακα και υψηλότερο κλάσμα υδρογόνου και οξυγόνου σε σύγκριση με τύρφη και τον λιγνίτη, αφήνοντας τη βιομάζα με πολύ λιγότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης.

Μια τυπική βιομάζα έχει περίπου το ένα δέκατο του συνολικής ενεργειακής πυκνότητας του άνθρακα [5]. Ως εκ τούτου, ένα επίπεδο (ποσοστό) 10% συνκαύσης με βιομάζα θα είναι πολύ ευνοϊκό όσον αφορά το μέγεθος, αφού ο όγκος του λιγνίτη που θα συμμετέχει τότε θα είναι συγκρίσιμος με τον παροχετευόμενο λιγνίτη που θα περιέχει η τροφοδοτούμενη βιομάζα. [9].

Ωστόσο, η σχέση συνκαύσης δείχνει ότι η εφοδιαστική αλυσίδα και οι τεχνολογίες που συνδέονται με το πακετάρισμα την αποστολή, την αποθήκευση και τον χειρισμό της βιομάζας γίνεται πολύπλοκη σε σύγκριση με την τροφοδοσία μόνο των ορυκτών καυσίμων σε λέβητα. Απαιτούνται δηλ. μεγαλύτερες ποσότητες βιομάζας λόγω του χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου. Εμφανίζεται πιο συχνά σχηματισμός επικαθίσεων με καύση βιομάζας παρά με καύση άνθρακα ή φυσικού αερίου.



Τέτοιες επικαθίσεις στο λέβητα μπορεί να είναι δύσκολο να αφαιρεθούν, ακόμη και να απαιτηθούν πρόσθετα προσπάθειες καθαρισμού. Ακόμα οι εκπομπές σωματιδίων που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της συνκαύσης βιομάζας είναι πολύ υψηλότερες από αυτές με την καύση φυσικού αερίου ή αεριοποιημένου άνθρακα [9,34].

Ωστόσο, τόσο ο άνθρακας όσο και η βιομάζα έχουν παρόμοιες διαδικασίες ανάφλεξης αν και τα καύσιμα βιομάζας μπορούν να υποβάλλονται σε μια πιο ομοιογενή καύση λόγω υψηλότερων πτητικών υλικών (volatile materials - VM). Η παρουσία περισσότερων πτητικών στα καύσιμα βιομάζας μπορεί να επηρεάσει το βέλτιστο μέγεθος και σχεδιασμό του θαλάμου καύσης και άλλων ιδιοτήτων όπως της ιδανικής παροχής και τη θέση του τροφοδοτούμενου αέρα της καύσης. Η εμπειρία δείχνει ότι ο εξοπλισμός για την καύση του λιγνίτη μπορεί να διαχειριστεί στερεά υπολείμματα βιομάζας πολύ εύκολα. Το ίδιο ισχύει και για τον εξοπλισμό όταν το βασικό καύσιμο είναι το φυσικό αέριο και αέρια βιομάζα αν και τα τελευταία δύο καύσιμα μπορεί να έχουν διαφορετική χημική σύσταση [8,9,34].

Ενώ τα γεωργικά και ποώδη προϊόντα (π.χ., καλαμπόκι και το ξερόχορτο) αποδίδουν μεγάλες ποσότητες τέφρας και πτητικά περιεχόμενα, το ίδιο δεν συμβαίνει για την ξυλώδη βιομάζα (π.χ. σκόνη από πριονίδι και αστικά απόβλητα ξύλου) (βλ. Πίν. 2). Επίσης, οι τιμές θερμογόνου δύναμης της ξυλώδους βιομάζας και του ξυλόχορτου είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή των γεωργικών υπολειμμάτων όπως υπολείμματα από ορυζώνες, βαμβάκι, κλαδέματα αμπελώνων κ.λπ. Από την άλλη πλευρά, η συγκέντρωση υγρασίας της ξυλώδους βιομάζας εξαρτάται από κοινού από τις ζωντανές και διαδικασίες ανάπτυξης των δέντρων ως ζωντανών οργανισμών και από τη διαδικασία διαχείρισης που επιβάλλεται στο ξύλο.

Το περιεχόμενο υγρασίας στη σκόνη από πριονίδι προκύπτει συνήθως από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία. Σε σύγκριση με τους περισσότερους άλλους τύπους βιομάζας, το περιεχόμενο υγρασίας στα ποώδη φυτά - καύσιμα όπως το χορτάρι είναι γενικά χαμηλότερο. Ωστόσο, το άχυρο έχει σημαντικά υψηλά επίπεδα πτητικής ύλης όπως το χλώριο και τα αλκαλικά, αλλά οικολογικοί παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους και οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν το περιεχόμενο σε τέφρα και την περιεκτικότητα του αζώτου στο καύσιμο [7].

Η τιμή θέρμανσης της βιομάζας διακυβεύεται από την υψηλότερη αναλογία οξυγόνου και υδρογόνου σε άτομα άνθρακα. Αυτό είναι γιατί το σπάσιμο των δεσμών C – H και C – O της βιομάζας απελευθερώνει λιγότερο ενέργειας σε σύγκριση με τους κυρίως δεσμούς C-C που βρίσκονται στον άνθρακα. Επίσης, η βιομάζα έχει πολύ μεγαλύτερη αντιδραστικότητα σε σύγκριση στον άνθρακα λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο, και αυτό συνήθως οδηγεί σε ένα χαμηλότερο ενεργειακό φράγμα ενεργοποίησης για την αποπύρωση και οξείδωση [16,45].

Η τιμή θερμογόνου δύναμης της βιομάζας καθορίζεται από την αναλογία οξυγόνου και υδρογόνου σε άτομα άνθρακα. Αυτό συμβαίνει γιατί το σπάσιμο των δεσμών C – H και C – O της βιομάζας απελευθερώνει λιγότερο ενέργειας σε σύγκριση με τους κυρίως δεσμούς C - C που βρίσκονται στο λιγνίτη. Επίσης, η βιομάζα έχει πολύ μεγαλύτερη αντιδραστικότητα σε σύγκριση στον άνθρακα λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς



της σε οξυγόνο, και αυτό συνήθως οδηγεί σε ένα χαμηλότερο ενεργειακό φράγμα ενεργοποίησης για την οξείδωση αυτής [16,45].

Διάφορα άλλα ζητήματα που σχετίζονται με την καύση βιομάζας σε έναν λέβητα που έχει προδιαγραφές για να χρησιμοποιεί λιγνίτη ως πρώτη ύλη, όπως η χαμηλή πυκνότητα της χύδην βιομάζας, το υψηλό περιεχόμενο υγρασίας, η απόθεση τέφρας και προβλήματα ρύπανσης σε θερμές επιφάνειες, η υδρόφιλη φύση, της βιομάζας κ.λπ., μπορούν να μετριάσουν τα μειονεκτήματα κατά τη λειτουργία με ανάμειξη καλύτερης ποιότητας βιομάζας, και καλύτερης προεπεξεργασίας (ξήρανση) με ορυκτό λιγνίτη. Παρά ταύτα ακόμα και βιομάζα που έχει ξηρανθεί πρώτα αν και μπορεί να αποδίδει χαρακτηριστικά που μοιάζουν με το λιγνίτη, εντούτοις μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αποδοτικότητας καθώς και σε διακυμάνσεις στο φορτίο του λέβητα [46,47].

### 3.5.3 Το κόστος του καυσίμου.

Η τιμή της βιομάζας εξαρτάται ισχυρά από παράγοντες όπως: την προέλευση της πρώτης ύλης, τον τύπο και τη σύνθεση της βιομάζας, το κόστος διαχείρισης, προετοιμασίας επεξεργασίας και μεταφοράς καθώς και τη γεωγραφική θέση ως προς το σημείο του ατμοηλεκτρικού σταθμού [48].

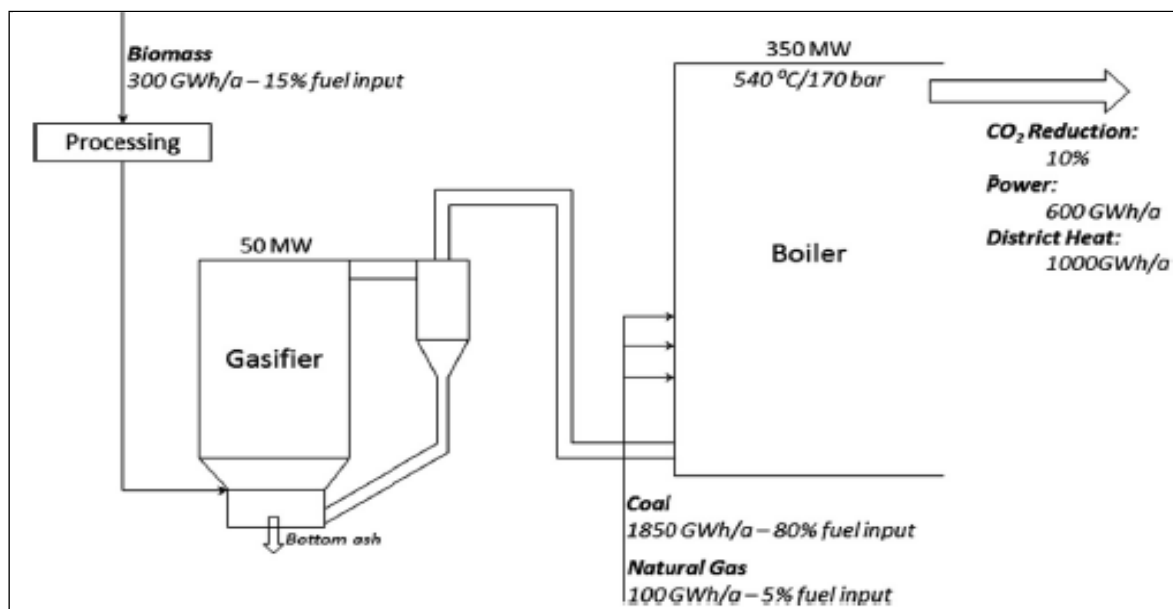
Το κόστος των μεταφορικών σε μεγάλες αποστάσεις επηρεάζεται ισχυρά από την πυκνότητα ενέργειας ή τη θερμογόνο δύναμη – ισχύ της πρώτης ύλης της βιομάζας. Οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται όπως η πελετοποίηση ή η συμπύκνωση σε μπριγκέτες μετά και από ξήρανση της πρώτης ύλης της βιομάζας μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερες τιμές θερμογόνου ισχύος απορροφώντας ένα μέρος του κόστους των μεταφορικών. Οι παραπάνω τεχνολογίες από την άλλη πλευρά έχουν επιπλέον κόστος και τελικά είναι δυνατό το κόστος λειτουργίας ενός σταθμού παραγωγής ισχύος μεγάλης κλίμακας με συνκαύση βιομάζας να υπερβαίνει το κόστος λειτουργίας του σταθμού όταν χρησιμοποιεί αποκλειστικά λιγνίτη. Βέβαια το επιπλέον κόστος μπορεί να αντισταθμιστεί από την εξοικονόμηση τους κόστους των εκπομπών CO<sub>2</sub> αφού οι εκπομπές από βιομάζα δεν προσμετρώνται [8,9].

Το μέγεθος και η φύση της τροφοδοτούμενης βιομάζας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης συνκαύσης. Αυτό γιατί η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να αλεθεί μαζί με λιγνίτη πριν την συνκαύση εξαρτάται από τη φύση της βιομάζας. Για παράδειγμα βιομάζα ινώδους τύπου είναι πιο δύσκολο να αλεθεί με λιγνίτη για να γίνει σκόνη ή να φτάσει σε κόκκους κατάλληλους για την τροφοδοσία σε ένα λέβητα άμεσης συνκαύσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις η λύση μπορεί να έρθει με την άλεση της βιομάζας ξεχωριστά και με την τροφοδοσία αυτής στο λέβητα από διαφορετική ανεξάρτητη γραμμή [1,34].



### 3.6 Ο τύπος του λέβητα.

Στις περισσότερες εγκαταστάσεις σχημάτων συνκαύσης συνήθως χρησιμοποιούνται ήδη υπάρχοντες λέβητες λιγνίτη ή τεχνολογίες αεροποιημένης καύσης (δηλ. με χρήση κυκλώνων για την τροφοδοσία της πρώτης ύλης). Αυτό συμβαίνει πέρα από λόγους οικονομίας γιατί δεν απαιτούνται νέες τεχνολογίες κατά την καύση. Με μικρές και μόνο τροποποιήσεις του υπάρχοντος λέβητα που χρησιμοποιεί ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να γίνει κατάλληλος και λειτουργικός για σχήματα συνκαύσης. Παραδείγματα εγκαταστάσεων λεβήτων τυπικής καύσης που μπορούν εύκολα να γίνουν λειτουργικές σε σχήματα συνκαύσης με βιομάζα και αρκετά αποδοτικές είναι οι λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης (fluidized bed combustion boiler – FBC), οι λέβητες κονιοποίησης λιγνίτη (pulverized coal combustion boiler – PCC), οι λέβητες πολλών επιπέδων (πακέτων καύσης), καθώς τέλος και λέβητες κυκλώνων [7, 28,49].



Εικόνα 11: Συστήματα αεριοποίησης βιομάζας που χρησιμοποιούνται σε έμμεση Συνκαύση στον ΑΗΣ KymiJarvi Φινλανδία [24]

Μια σύγκριση συστημάτων συνκαύσης λιγνίτη – βιομάζας δίνεται στον πίνακα.

Ένας λέβητας καύσης κόνεος (Pulverized Coal Combustion boiler – PCC) είναι μια κοινά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την μετατροπή ενέργειας από λιγνίτη και άλλα ορυκτά καύσιμα σε θερμότητα συνήθως με μια ελεγχόμενη ποσότητα αέρα στο λέβητα. Κατά τη συγκεκριμένη περίπτωση το καύσιμο τελικά πέφτει στο έδαφος πριν εισαχθεί στον καυστήρα. Έρευνες έχουν δείξει ότι όταν χρησιμοποιείται ένας αντιδραστήρας PCC για ένα σύστημα συνκαύσης οι εκπομπές NOx μειώνονται σημαντικά.



Πίνακας 3.4 Τυπικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών καύσης λιγνίτη σε συστήματα συνκαύσης με βιομάζα (16,31,32).

Co-combustion system	Operation requirements	Co-firing percentage (% heat)	Technical features
Pulverized combustion	Fuel type: coal, sawdust, and fine shavings; Particle size: < 10-20 mm; Moisture content: < 20 wt%	1-40%	Can decrease NO <sub>x</sub> significantly; Limited by biomass particle size and moisture content.
Fluidized-bed combustion	Fuel type: various fuels, better suited for woody biomass than for herbaceous biomaterial; Particle size: < 80 mm (BFB), < 40 mm (CFB); Temperature: < 900 °C	CFB: 60-95.3% BFB: 80%	The fluidized bed combustion system is the most suitable boiler for biomass co-firing. The soot formation is problematic, especially in CFB.
Packed-bed combustion	Fuel Type: wide range of fuels, including coal, peat, straw and woody residues; Particle size: fairly large pieces < 30 mm	3-70%	Not suitable for direct co-firing, although can be used for parallel or in-direct co-firing.
Cyclone combustion	Ash content: > 6%; volatiles: > 15%; except in a dried form, moisture content: > 20%.	10-15% by heat input or 20-30% by mass	Suitable for co-firing since minimal modifications are needed for feeding and mixing the biomass and the coal

Παρά ταύτα η τεχνολογία αυτή απαιτεί υψηλής ποιότητας καύσιμο αφού το μέγιστο των κόκκων στερεού καυσίμου δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 10 – 20 mm ενώ το περιεχόμενο σε υγρασία δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 20%. Αυτοί οι παράγοντες ή διαφορετικά τα όρια λειτουργίας του αντιδραστήρα FCC μειώνουν τις δυνατότητες εφαρμογής του σε ένα σύστημα συνκαύσης.

Οι λέβητες κόνεος δεν επηρεάζονται από προβλήματα σχηματισμού επικαθίσεων σκουριάς και διάβρωσης (slagging, fouling, corrosion) από υψηλής συγκέντρωσης ποτάσα (ΚΟΗ) και χλωρίνη στη βιομάζα σε σύγκριση με λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης.

Ο κίνδυνος σκωρίας, ρύπανσης, εναποθέσεων και διάβρωσης που προκύπτει από τη συμμετοχή της βιομάζας στο σύστημα της συνκαύσης μπορεί να αντιμετωπιστεί με την επιλογή των σωστών τεχνολογιών και της πρώτης ύλης. Επίσης, το πλύσιμο και η έκπλυση της πρώτης ύλης βιομάζας σε οξύ, νερό ή αμμωνία μειώνει τα περιεχόμενα αλκαλίων και τέφρας της πρώτης ύλης, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σχηματισμού εναπόθεσης και διάβρωσης. Αυτές οι διαδικασίες γίνονται πιο σημαντικές όταν χρησιμοποιείται πωδή βιομάζα, επειδή είναι πιο πλούσια σε αλκαλικές ενώσεις. Το πλύσιμο και η έκπλυση της βιομάζας, που μειώνουν την ποσότητα των ενώσεων αλκαλίων στο καύσιμο βιομάζας, μπορούν να μειώσουν το κόστος συντήρησης των εγκαταστάσεων από την άλλη πλευρά [10].

Το σύστημα καύσης με λέβητα ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Combustion – FBC) είναι σχεδιασμένο για λειτουργία σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο εύρος (800 – 900) °C. Σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών οι εκπομπές NO<sub>x</sub>, Sox είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες καύσης [14].

Ένας καυστήρας ρευστοποιημένης κλίνης είναι ο πιο κατάλληλος αντιδραστήρας για συστήματα συνκαύσης. Οι τύποι καυσίμου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε



συστήματα τεχνολογίας FBC μπορούν να είναι χαμηλής ποιότητας βιομάζα όπως ξυλώδης βιομάζα φλοιοί καρπών όπως δασώδη υπολείμματα ή και βιομηχανικά [51].

Η τεχνολογία λέβητα ρευστοποιημένης κλίνης που λειτουργεί σε ένα σχήμα άμεσης συνκαύσης είναι λιγότερο ευαίσθητη σε όποιες αλλαγές στην ολική απόδοση με την αύξηση του επιπέδου της βιομάζας αν και αυτό μπορεί να απαιτεί έναν καλύτερα σχεδιασμένο λέβητα και ένα σύστημα ελέγχου διαχείρισης του καυσίμου της βιομάζας. Ακόμα οι λέβητες FBC είναι πιο κατάλληλοι για τη διαχείριση της βιομάζας που φέρει υψηλότερη υγρασία της τάξης του (10 – 50)%, αντί ποσοστών κάτω του 25%, ενώ οι λέβητες αυτού του τύπου μπορούν να διαχειριστούν και μεγαλύτερης διαμέτρου κόκκους καυσίμου έως και 72 mm αντί των 6mm που μπορεί να διαχειριστεί ένας λέβητας κόνεος [10].

Το μείγμα σωματιδίων καυσίμου αναστέλλεται από μια ανοδική ροή αέρα καύσης εντός της κλίνης, η οποία αποκτά περισσότερες ιδιότητες που μοιάζουν με ρευστό καθώς αυξάνονται οι ταχύτητες. Ενώ οι λέβητες καύσης ρευστοποιημένης κλίνης φυσσαλίδων (Bubble Fluidized Bed Combustion boilers) λειτουργούν συνήθως με χαμηλότερη ταχύτητα αέρα σε σύγκριση με την ταχύτητα μεταφοράς των σωματιδίων καυσίμου, οι λέβητες κυκλοφορίας ρευστοποιημένης καύσης (Circulating Fluidized Bed Combustion boilers) έχουν σχεδιαστεί για να έχουν σημαντικά υψηλές ταχύτητες αέρα που συμπαρασύρεται στο καύσιμο ενώ τα σωματίδια του λέβητα εξερχόμενα από το θάλαμο καύσης με τον αέρα, θα διαχωριστούν σε ένα κυκλώνα - διαχωριστή δέσμης και στη συνέχεια ανακυκλοφορούνται πίσω στο σύστημα [49,51].

Το σύστημα καύσης συνήθως χρησιμοποιεί έναν αναμείκτη εντός του λέβητα καύσης και έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει την τροφοδοσία καυσίμου πάνω σε μια κινούμενη σχάρα καθώς μια ελεγχόμενη ποσότητα αέρα εισέρχεται σταθερά στο λέβητα με το καύσιμο. Κατά τη λειτουργία του λέβητα, τα σωματίδια καυσίμου κινούνται σταθερά στο μπροστινό μέρος του λέβητα από το πίσω μέρος, καθώς τα μεγαλύτερα σωματίδια καίγονται απευθείας στη σχάρα, ενώ τα μικρότερα σωματίδια καυσίμου καίγονται στον αέρα της σχάρας.

Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει κατά την καύση καύσιμα διαφορετικών τύπων, όπως τύρφη, λιγνίτη ή πρώτες ύλες βιομάζας, όπως άχυρο και ξυλώδη υπολείμματα σε διάφορα μεγέθη (έως 3 εκατοστά), γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για συνκαύση βιομάζας. Ορισμένοι ερευνητές έχουν δώσει προσοχή στην τεχνολογία άμεσης συνκαύσης σε ένα σύστημα καύσης διαμερισμάτων - χώρων καύσης [52]. Ωστόσο, αυτό το σύστημα έχει μερικά τεχνικά ελαττώματα, όπως χαμηλότερες θερμικές αποδόσεις, την τάση της τέφρας να συσσωματώνεται στον κλίβανο, την ανάγκη τροφοδοσίας του καυσίμου στον καυστήρα με μεγάλο ρυθμό, τη συσσωμάτωση σωματιδίων και το κόστος καθαρισμού σωματιδίων τέφρας από τα καυσαέρια. Όλα τα παραπάνω καθιστούν λιγότερο επιθυμητή την συνκαύση βιομάζας με λιγνίτη [3,28,52].

Επιπλέον, μια μεγάλη τεχνική δυσκολία του συστήματος καύσης σε διαμερίσματα εντός του λέβητα είναι ότι δεν είναι κατάλληλη για άμεση συνκαύση, αν και μπορεί να εφαρμοστεί σε παράλληλες ή έμμεσες τεχνολογίες συνκαύσης. Τέλος, μολονότι ο λέβητας καύσης διαχωριζόμενων διαμερισμάτων μπορεί να παράγει υψηλή ηλεκτρική ισχύ και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι χαμηλό, η χαμηλή θερμική του





απόδοση σε σύγκριση με τις τεχνολογίες FBC και PCC περιορίζει την εκτεταμένη εφαρμογή αυτού του συστήματος. Το σύστημα λέβητα – κυκλώνα είναι σχεδιασμένο με μεγάλους υδρόψυκτους καυστήρες που τοποθετούνται σε οριζόντια θέση ενώ ο εξωτερικός φούρνος μπορεί να φθάσει θερμοκρασίες καύσης στο εύρος (1650 – 2000)°C.

Ο λέβητας επιτρέπει στο ορυκτό υλικό του καυσίμου να σχηματίσει σκουριά που συλλαμβάνει τα σωματίδια μεγάλου μεγέθους και αφήνει να καίγονται τα λεπτά και πτητικά σωματίδια καυσίμου που αναρτώνται στη σχάρα. Η έντονη θερμότητα που ακτινοβολείται κατά αυτό το σχεδιασμό επιτρέπει την καύση του στρώματος σκουριάς που σχηματίζεται [49]. Τα καύσιμα που μπορούν να καούν σε ένα λέβητα κυκλώνα περιλαμβάνουν μια ποικιλία πρώτων υλών άνθρακα – λιγνίτη και βιομάζας τα οποία καίγονται πιο αποδοτικά όταν συνθλίβονται.

Αυτή η τεχνολογία είναι κατάλληλη για σχήματα συνκαύσης βιομάζας, αν και μερικές τροποποιήσεις μπορεί να είναι απαραίτητες για την ενίσχυση της τροφοδοσίας και της ανάμειξης της βιομάζας με το λιγνίτη. Για βέλτιστη απόδοση, καθορίζονται ορισμένες απαιτήσεις για τα καύσιμα που μπορούν να συμμετέχουν στο σχήμα της καύσης σε λέβητα κυκλώνων. Με βάση αυτές τις ειδικές προδιαγραφές, η περιεκτικότητα σε τέφρα πρέπει να υπερβαίνει το 6%, οι πτητικές ουσίες αναμένεται να είναι περισσότερες από 15% του καυσίμου και, εκτός από ξηρή μορφή, η περιεκτικότητα σε υγρασία του καυσίμου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 20%. Αυτές οι απαιτήσεις μπορεί να είναι λίγο απαιτητικές για ορισμένους τύπους καθαρής βιομάζας [28,32].

Πέρα από τις τεχνολογίες άμεσης συνκαύσης σε υπάρχον σχήμα καύσης ορυκτών καυσίμων η αεριοποίηση είναι μια τεχνολογία που εφαρμόζεται σε συστήματα έμμεσης συνκαύσης. Οι αεριοποιητές γενικά χρησιμοποιούνται σε μικρής κλίμακας εφαρμογές που περιλαμβάνουν καύσιμα με ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά. Γενικά οι αεριοποιητές εφαρμόζονται σε περιορισμένης ισχύος σταθμούς των (10 – 15) MWe παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος.

Η αεριοποίηση ρευστοποιημένης κλίνης είναι μια τεχνολογία που έχει αποδειχθεί η ποιο αποδοτική για συστήματα έμμεσης συνκαύσης. Η τεχνολογία αυτή όπως και άλλες μπορεί να χρησιμοποιεί μια ευρεία γκάμα τύπων βιοκαυσίμων όπως υπολείμματα – υποπροϊόντα καυσίμων που διαφέρουν ως προς την θερμογόνο ισχύ, την πυκνότητα.

Ένα παράδειγμα εμπορικού συστήματος αεριοποίησης βιομάζας είναι εγκατεστημένη στον ΑΗΣ του Kymijarvi στο Λάχι της Φινλανδίας. Η διάταξη φαίνεται στο σχήμα. Το σύστημα βασίζεται σε ένα CFB αεριοποιητή και χρησιμοποιεί λιγνίτη και φυσικό αέριο ως βασικά καύσιμα καθώς και βιομάζα. Οι καυστήρες είναι εφοδιασμένοι με κυκλοφορητές καυσαερίων και σταδιακή καύση για τον έλεγχο των εκπομπών NOx. Ωστόσο, δεδομένου ότι η περιεκτικότητα του άνθρακα σε θείο είναι σχετικά μικρή (0,3-0,4%), το σύστημα δεν διαθέτει σύστημα αφαίρεσης θείου (αποθειώσης). Άλλα μεγάλα ζητήματα στη βιομάζα είναι η διάβρωση των επιφανειών του λέβητα και οι σχηματισμοί εναπόθεσης λόγω της αντίδρασης του χλωρίου με αλκαλικά μέταλλα όπως το κάλιο και το νάτριο. Αυτό είναι συνηθισμένο όταν χρησιμοποιείται πωδής βιομάζα αφού είναι πλούσια σε χλώριο και αλκάλια. Η ξυλώδης βιομάζα είναι λιγότερο πιθανό να



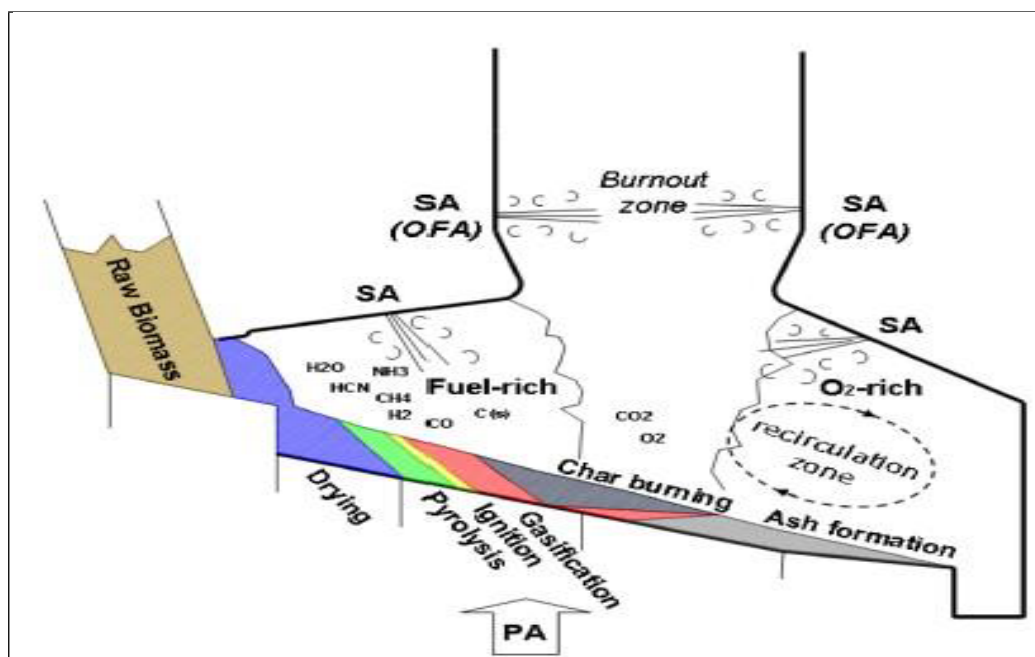
συμβάλει στη διάβρωση και την εναπόθεση δεδομένου ότι είναι χαμηλότερη σε αλκαλικά (ΚΟΗ, CaOH) και χλώριο.

### 3.7 Συστήματα Καύσης – Τεχνολογίες Λέβητα.

Η παραγωγή ισχύος με στερεά βιοκαύσιμα, ξεκινάει στον θάλαμο καύσης του λέβητα. Οι λέβητες βιομάζας και τα συστήματα καύσης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι,

#### ➤ Σύστημα Καύσης Σταθερών Κλινών (Fixed Bed Combustion Systems).

Τα συστήματα καύσης σταθερής κλίνης στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας από βιομάζα συνήθως πραγματοποιούνται με εσχάρα πρόσθιας προώθησης (Grate – Firing). Η εσχάρα αυτή έχει σκαλωτή μορφή με επίπεδα που ανά δύο μετακινούνται, ενώ παρουσιάζει ελαφριά κλίση, με κορύφωση το τελευταίο επίπεδο στο οποίο καταλήγουν τα παραπροϊόντα καύσης (στάχτη, θράκα). Η κίνηση των επιπέδων γίνεται υδραυλικά με αποτέλεσμα να προκαλείται ανάδευση της στερεής βιομάζας που έχει πυρακτωθεί με το άκαυστο μέρος. Η θερμική φόρτιση της σχάρας είναι περίπου  $1 \text{ MW/m}^2$  και χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομάζα με υγρασία πάνω από 60%, με την τάση να σχηματίζει στερεή θράκα και διαστάσεις μεγαλύτερες από 2 mm.



Εικόνα 12: Διάταξη Καύσης Σταθερής κλίνης.[74]

Στην καύση σταθερής κλίνης, η τροφοδοσία του αέρα γίνεται κάτω από την σχάρα και η διαδικασία καύσης συμβαίνει πάνω στην σχάρα. Τα καύσιμα αέρια που παράγονται καίγονται όταν παρέχεται δευτερεύων αέρας, συνήθως σε μια ζώνη καύσης που διαχωρίζεται από την κλίνη καυσίμου. Οι θερμοκρασίες στα συστήματα σταθερής κλίνης συνήθως φτάνουν στους 900°C – 1400°C. Η θερμότητα που εκλύεται από την καύση, θερμαίνει τις δέσμες των σωλήνων νερού. Οι σωλήνες είναι τοποθετημένες σε διάφορα σημεία του λέβητα, με σκοπό την πλήρη εκμετάλλευση της θερμότητας και



της ακτινοβολίας. Η διαμόρφωση αυτή επιτρέπει το 90% της εξάτμισης να γίνεται στην περιοχή της ακτινοβολίας και να επιτυγχάνεται φυσική ανακυκλοφορία.

### ➤ **Σύστημα Καύσης Ρευστοποιημένων Κλινών (Fluidized Bed Combustion – FBC )**

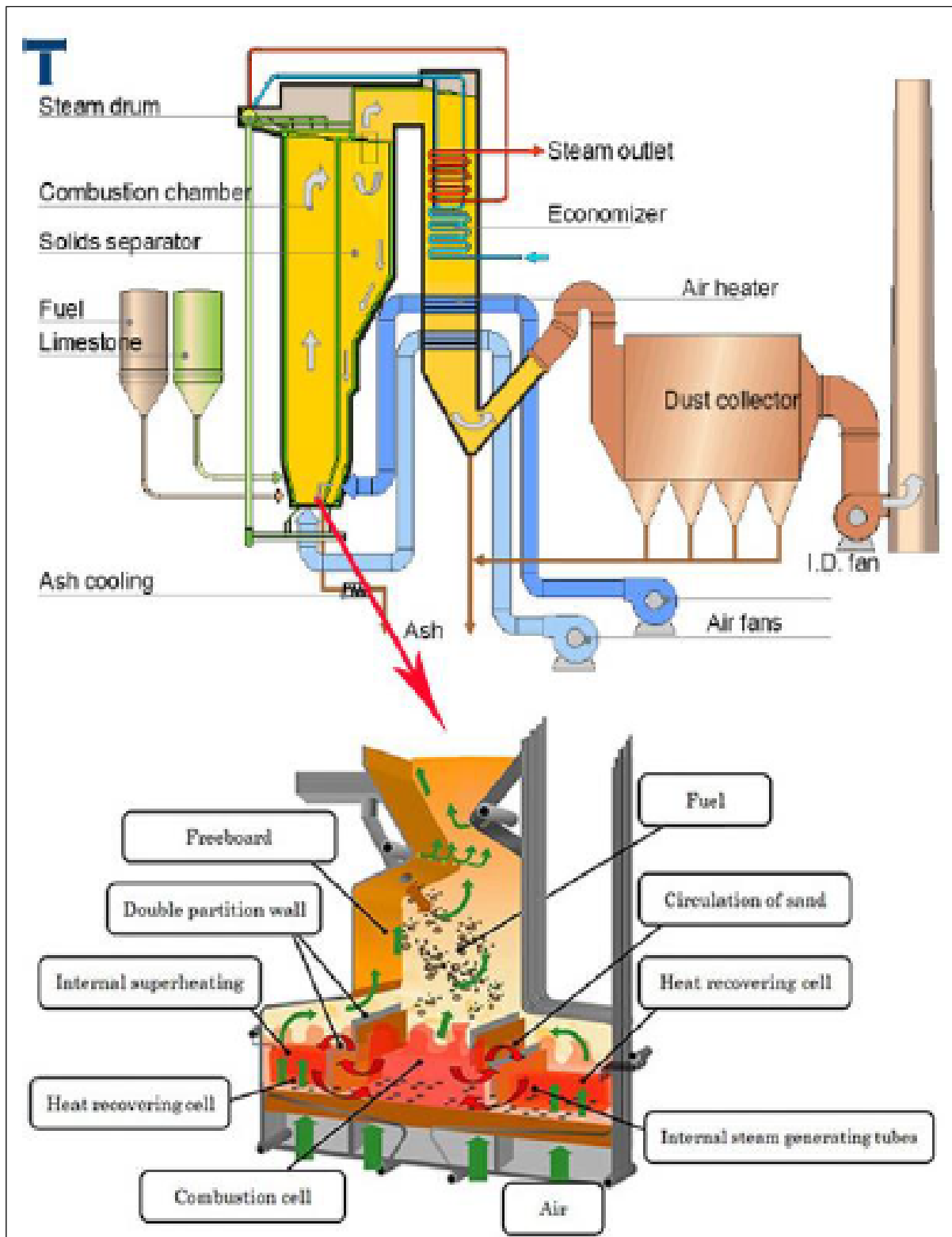
Σε ένα σύστημα καύσης ρευστοποιημένης κλίνης, η καύση πραγματοποιείται σε ένα κυλινδρικό αντιδραστήρα. Ο κυλινδρικός αντιδραστήρας έχει διάτρητο πυθμένα με μια κλίση εναιώρησης από θερμό, αδρανές και κοκκώδες υλικό (όπως άμμο, πυρίτιο, δολομίτη), ενώ η παροχή αέρα γίνεται από το κάτω μέρος του διάτρητου πυθμένα μέσω ανεμιστήρων. Η υψηλή μεταφορά θερμότητας και η καλή ανάμειξη βοηθάνε στην πλήρη καύση με μικρές απαιτήσεις σε οξυγόνο, ανεβάζοντας έτσι την απόδοση.

Η ρευστοποίηση με χρήση ανεμιστήρων βοηθά στην ταχύτερη μεταφορά θερμότητας, δημιουργώντας μια μεγάλη θερμή επιφάνεια που μπορεί να εξασφαλίσει πλήρη καύση με μικρότερες ποσότητες βιομάζας. Μπορεί να διαχειριστεί στερεά βιοκαύσιμα διάφορων μεγεθών (συνήθως 40 – 80 mm ξυλώδης βιομάζας), με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία έως 65% και υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα έως 50%.

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων καύσης ρευστοποιημένης κλίνης a. Bubbling Fluidized Bed (BFB) και b. Circulating Fluidized Bed (CFB).

Στον αντιδραστήρα BFB το υλικό κλίνης βρίσκεται στο κατώτερο τμήμα του αντιδραστήρα και συνήθως είναι άμμος πυριτίου με μέση διάμετρο κόκκων 1 mm. Η ροή του αέρα γίνεται από δύο διαφορετικά σημεία της ρευστοποιημένης κλίνης διασφαλίζοντας μεταξύ άλλων, μειωμένες εκπομπές σε οξειδία του αζώτου (NOx) . Η πρωτοβάθμια ροή αέρα παρέχεται μέσω διανομέα από τη βάση του αντιδραστήρα με ταχύτητα 1 – 2 m/s και ρευστοποιεί την κλίνη, ενώ η δευτεροβάθμια ροή εισάγεται από ακροφύσια που βρίσκονται σε υψηλότερο σημείο στο πλάγιο μέρος του αντιδραστήρα. Η βιομάζα προωθείται στο εσωτερικό της ρευστοποιημένης κλίνης από τις δεξαμενές καυσίμου μέσω κεκλιμένων αγωγών λόγω της μεγάλης αντιδραστικότητας που παρουσιάζει. Το καύσιμο είναι μόνο το 2% του υλικού της κλίνης και πριν την εισαγωγή του πρέπει η κλίνη να θερμαίνεται.

Στον αντιδραστήρα BFB η θερμοκρασία κατά την διάρκεια της καύσης κυμαίνεται στους 850°C και βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε μεσαίας κλίμακας σταθμούς με χρήση βιομάζας χαμηλής θερμογόνου δύναμης και υψηλού υγρασιακού περιεχομένου. Στα χαρακτηριστικά του είναι η διαχείριση διαφόρων ειδών στερεής βιομάζας, η μειωμένη απαίτηση σε οξυγόνο (περίπου 4% κατά όγκο αερίου), ωστόσο, λόγω της υψηλής τιμής του συστήματος είναι κατάλληλο για εγκαταστάσεις από 20 MW έως 50 MW.



Εικόνα 13: Λέβητας με σύστημα Καύσης CFB [74]



Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτικός Πίνακας Συστημάτων Καύσης [74].

Σύστημα Καύσης	Grate Furnace (GF)	Bubbling Fluidized Bed (BFB)	Circulating Fluidized Bed (CFB)
Ισχύς	< 20 MW <sub>th</sub>	> 20 MW <sub>th</sub>	> 30 MW <sub>th</sub>
Μέγεθος Βιομάζας	> 2 mm	< 80 mm	< 40 mm
Είδος Βιομάζας	Βιομάζα υγρασίας > 60% με σχηματισμό σπινθήρων θράσκας (Βιομάζα Ξύλου)	Λιγνοκυταρινούχα Υψηλής υγρασίας	Λιγνοκυταρινούχα Πέλλετ Πέλλετ - Κάρβουνο
Προσαρμογή σε Μεταβολές Φορτίου	Μεσαία	Μικρή	Μικρή
Απαιτούμενη Περίσσεια Οξυγόνου (% κατά όγκο Καυσσρίων)	Μεσαία 5 – 8 %	Μικρή 3 – 4%	Μικρή 1 – 2%
Κόστος Αγοράς και Λειτουργίας	Χαμηλό	Υψηλό	Υψηλό
Εκπομπές (CO, NO <sub>x</sub> )	Πολλές	Λίγες	Λίγες
Πλεονεκτήματα	Τερτάσια ευελιξία στο είδος βιομάζας.  Χαμηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας	Υψηλός βαθμός απόδοσης καύσης.  Μικρομίνιες εκπομπές CO, NO <sub>x</sub> .  Ευελιξία στο είδος βιομάζας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μίξη βιομάζας διαφορετικής προέλευσης.  Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη στον θάλαμο καύσης	Υψηλός βαθμός απόδοσης καύσης.  Μικρομίνιες εκπομπές CO, NO <sub>x</sub> .  Ευελιξία στο είδος βιομάζας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μίξη βιομάζας διαφορετικής προέλευσης.  Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη στον θάλαμο καύσης
Μειονεκτήματα	Χαμηλός βαθμός απόδοσης καύσης.  Χρήση φίλτρων καθαρισμού NO <sub>x</sub> .  Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μίξη βιομάζας διαφορετικής προέλευσης.	Υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας.  Υψηλές εκπομπές σωματιδίων.  Χαμηλή προσαρμογή στις μεταβολές φορτίου.  Απόλυτα υλικού από την κλίση (π.χ. άμμος) μαζί με την στάχτη.	Υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας.  Υψηλές εκπομπές σωματιδίων.  Χαμηλή προσαρμογή στις μεταβολές φορτίου.  Απόλυτα υλικού από την κλίση (π.χ. άμμος) μαζί με την στάχτη



Το σύστημα CFB χρησιμοποιεί τη μέθοδο ανακυκλοφορίας στην οποία η ταχύτητα ροής του αέρα καύσης είναι τόσο μεγάλη ώστε να συμπαρασύρει τα τεμάχια καυσίμου. Λόγω της ισχυρής ροής αέρα, τα ελαφρύτερα σωματίδια της κλίνης και τα σωματίδια καυσίμου μεταφέρονται από τη ροή με κυκλική κίνηση, σχηματίζοντας ένα κυκλώνα. Τα ελαφρύτερα σωματίδια καυσίμου καίγονται στο υψηλότερο σημείο, τα βαρύτερα σωματίδια καίγονται ενώ είναι ακίνητα πάνω στην κλίνη μέχρις ότου γίνουν αρκετά ελαφριά για ενωθούν στο στροβιλικό ρεύμα. Οι σωληνώσεις του εξατμιστήρα τοποθετούνται στην οροφή του θαλάμου καύσης, ενώ οι υπόλοιπες πλευρές του θαλάμου είναι καλυμμένες με τις θερμαντικές επιφάνειες του λέβητα. Είναι ο κύριος τύπος λέβητα για χρήση σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς μεγάλης ισχύος (30 – 100 MW) με καύση πέλλετ ή μίγματος στερεής βιομάζας με κάρβουνο.

Το κύριο χαρακτηριστικό του λέβητα με εστία ρευστοποιημένης κλίνης είναι ότι το 60% της ισχύος του λέβητα απορροφάται από τις σωληνώσεις νερού – θερμαντικές επιφάνειες, που είναι βυθισμένες στην κλίνη. Δεν υπάρχει ζώνη ακτινοβολίας στον λέβητα και η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται σε όλη την περίμετρο των σωληνών, με τις δέσμες να βρίσκονται σε παρόμοια θέση με αυτές ενός λέβητα με σταθερή κλίνη. Ο όγκος του λέβητα είναι μικρότερος από αυτόν με σύστημα καύσης σταθερών κλινών και η αύξηση της ισχύος του μπορεί να συμβεί μόνο με αύξηση της διατομής του και όχι του ύψους του. Τα καυσαέρια εγκαταλείπουν την κλίνη με θερμοκρασίες (800 – 900)°C και αποδίδουν την ενθαλπία τους σε αναθερμαντήρα, προθερμαντήρα ατμού και υπερθερμαντήρα.

### 3.8 Αντιδραστήρες Αεριοποίησης (gasification)

Η αεριοποίηση περιλαμβάνει μία σειρά από ενδόθερμες αντιδράσεις που ενεργειακά υποστηρίζονται από τη διεργασία της καύσης. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά το στάδιο της αεριοποίησης είναι μεταξύ 800°C – 1500°C. Η ποιότητα και η σύσταση του αερίου καυσίμου είναι άμεση συνάρτηση του αντιδραστήρα του σταθμού, της θερμοκρασίας και της πίεση στην διεργασία της αεριοποίησης, της βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί και του παράγοντα αεριοποίησης (αέρας, οξυγόνο, μίγμα οξυγόνου – ατμού). Ο παράγοντας αεριοποίησης που παρέχεται, συνήθως είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας λόγω οικονομίας σε σχέση με το ακριβό οξυγόνο. Ωστόσο, η θερμογόνος δύναμη του παραγόμενου αερίου καυσίμου επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του παράγοντα που θα χρησιμοποιηθεί. Με παροχή αέρα, η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται μεταξύ 4 – 6 MJ/Nm<sup>3</sup>, με παροχή οξυγόνου στα 10 – 15 MJ/Nm<sup>3</sup> ενώ σημαντική αύξηση παρατηρείται με χρήση μίγματος ατμού με οξυγόνο που μπορεί να φτάσει έως και 20 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Οι τύποι αντιδραστήρων αεριοποίησης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα είναι οι εξής:

#### ➤ Αντιδραστήρας Αεριοποίησης Σταθερής Κλίνης (Fixed Bed Reactor)

Οι αντιδραστήρες αεριοποίησης σταθερής κλίνης σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν για εφαρμογές παραγωγής αερίου καυσίμου από κάρβουνο. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρής κλίμακας σταθμούς ενώ η χρήση σε μεγαλύτερους σταθμούς επιτυγχάνεται

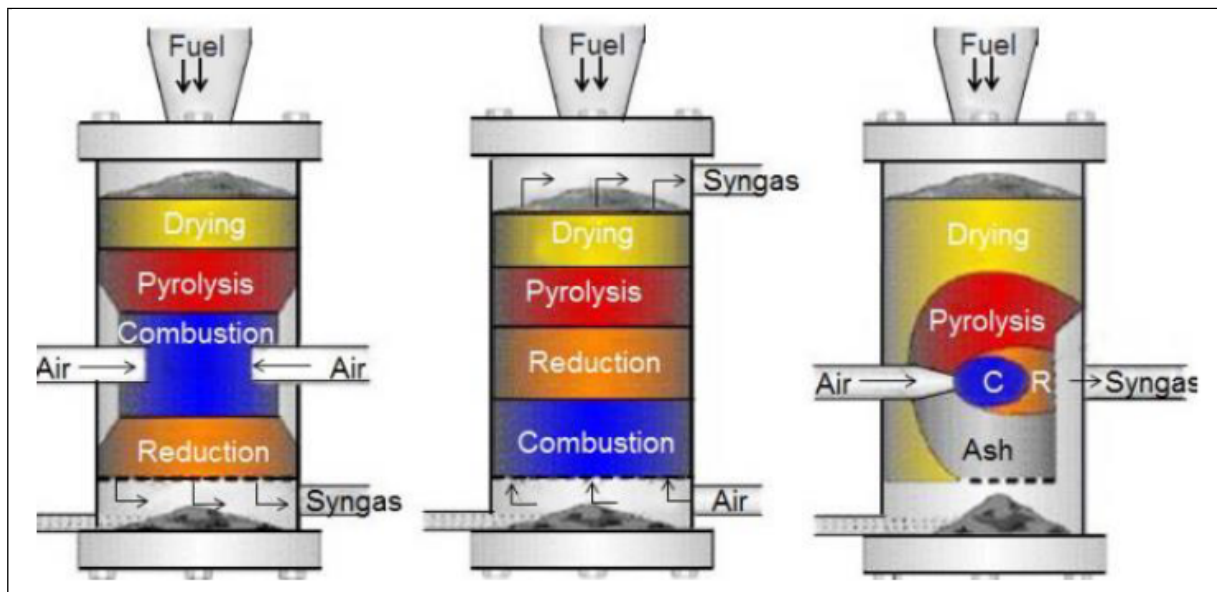


μέσω αρθρωτών συστημάτων, πράγμα που σημαίνει ότι αρκετοί αντιδραστήρες σταθερής κλίνης λειτουργούν παράλληλα. Στον αντιδραστήρα σταθερής κλίνης η βιομάζα τοποθετείται και καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του χώρου ενώ ένας παράγοντας αεριοποίησης εισέρχεται για να συμβάλλει στην διαδικασία. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε αυτού του τύπου αντιδραστήρες είναι ιδιαίτερα υψηλές (1100°C – 1500°C). Για αεριοποίηση βιομάζας χρησιμοποιούνται οι αντιδραστήρες σταθερής κλίνης ανοδικής ροής (updraft), καθοδικής ροής (downdraft) και διασταυρούμενης ροής (sidedraft).

Στον αντιδραστήρα αεριοποίησης σταθερής κλίνης ανοδικής ροής, η βιομάζα τοποθετείται στο επάνω μέρος του ενώ από το κάτω τμήμα εισέρχεται ο αέρας. Αφού ολοκληρωθούν τα στάδια αεριοποίησης (ξήρανση, πυρόλυση, καύση, οξειδωση), το συνθετικό αέριο εξέρχεται από το επάνω τμήμα ενώ στο κάτω μέρος μένουν ποσότητες στάχτης και πίσσας. Η θερμότητα αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω, δηλαδή από το τμήμα ξήρανσης στο τμήμα καύσης. Χαρακτηρίζεται από μεγάλους χρόνους αεριοποίησης, ποικιλία στο είδος βιομάζας αρκεί να περιέχει μικρή περιεκτικότητα σε τέφρα, χαμηλή θερμοκρασία εξόδου του αερίου, απλή και στιβαρή κατασκευή, υψηλή θερμική απόδοση. Στα αρνητικά του είναι η υψηλή περιεκτικότητα πίσσας στο παραγόμενο αέριο που το καθιστά ακατάλληλο για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

Στον αντιδραστήρα αεριοποίησης σταθερής κλίνης καθοδικής ροής, η βιομάζα τοποθετείται στο επάνω μέρος, ενώ ο αέρας εισέρχεται από το πλάι του αντιδραστήρα σε δύο ή περισσότερες παροχές. Η πορεία των διεργασιών γίνεται με την εξής σειρά: ξήρανση, πυρόλυση, καύση και οξειδωση ενώ το αέριο καύσιμο εξέρχεται από το κάτω τμήμα σε υψηλή θερμοκρασία. Αποτελεί την ιδανική περίπτωση αντιδραστήρα τύπου σταθερής κλίνης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς η περιεκτικότητα του αερίου σε πίσσα είναι αρκετά μικρή. Στα χαρακτηριστικά του ανήκουν η απλή και στιβαρή κατασκευή, η εύκολη λειτουργία και η χρήση βιομάζας χαμηλής υγρασίας. Δεν μπορεί να διαχειριστεί βιομάζα με υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα καθώς μπορεί να προκληθούν προβλήματα τερματισμού της διεργασίας, ενώ ο χρόνος παραγωγής του αερίου επηρεάζεται από το μέγεθος της βιομάζας. Μικρότερα σωματίδια βιομάζας, όπως είναι τα πέλλετ, έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια αντίδρασης και επιταχύνουν την διαδικασία.

Στον αντιδραστήρα αεριοποίησης σταθερής κλίνης διασταυρούμενης ροής, η βιομάζα τοποθετείται στο επάνω μέρος ενώ ο αέρας εισέρχεται από το πλαϊνό τμήμα του αντιδραστήρα με μονή παροχή. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρές εγκαταστάσεις με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από 10 MW, ενώ μπορεί να διαχειριστεί βιομάζα με μικρή περιεκτικότητα σε πίσσα και πτητικά υλικά, όπως είναι το κάρβουνο. Η πορεία των διεργασιών γίνεται από πάνω προς τα κάτω με την εξής σειρά: ξήρανση, πυρόλυση ενώ οι ζώνες καύσης και οξειδωσης είναι μικρές και βρίσκονται στην μέση του αντιδραστήρα όπου και εξέρχεται το συνθετικό αέριο μετά την ολοκλήρωση των σταδίων. Χαρακτηριστικό του αντιδραστήρα είναι η προσαρμοστικότητά του στην ποσότητα παραγωγής συνθετικού αερίου εξαιτίας της στενής ζώνης καύσης που περιέχει.



Εικόνα 14: Αντιδραστήρας Σταθερής Κλίνης, καθοδικής, ανοδικής και διασταυρούμενης ροής. ([www.ems.psu.edu](http://www.ems.psu.edu)) [74]

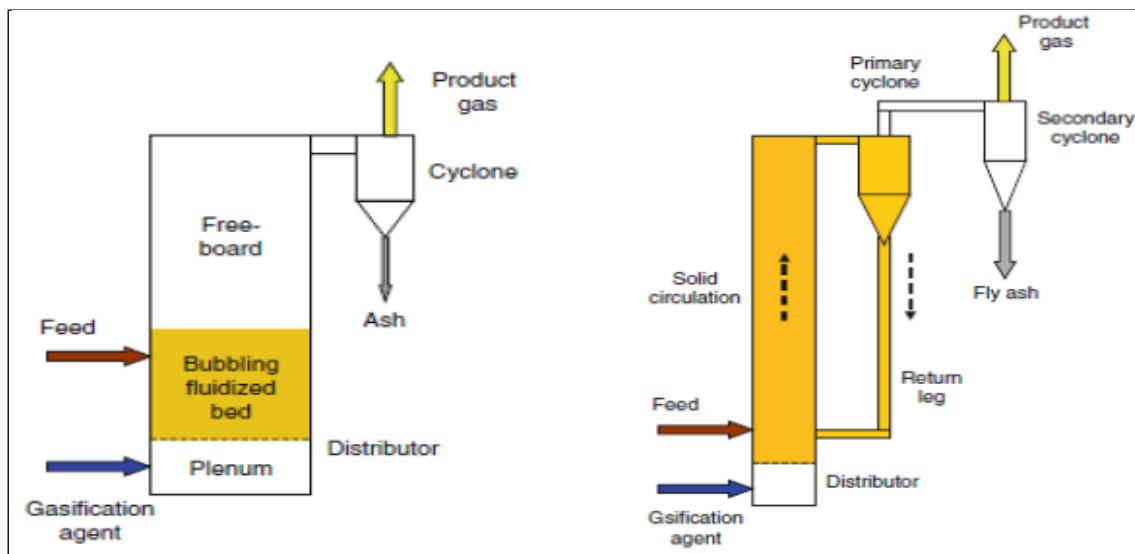
### ➤ Αντιδραστήρας Αεριοποίησης Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Gasifier)

Ο αντιδραστήρας αεριοποίησης ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιεί ρευστοποιημένη κλίνη η οποία δεν συμμετέχει στην χημική αντίδραση, ωστόσο συμβάλει στη σωστή μεταφορά θερμότητας και βιομάζας κατά την διαδικασία της αεριοποίησης. Η διαδικασία μετατροπής γίνεται συνήθως σε θερμοκρασίες 700 – 950°C. Διακρίνεται σε δύο τύπους, α. αναβράζουσας ρευστοποιημένης κλίνης (Bubbling Fluidized Bed – BFB) και β. κυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης (Circulating Fluidized Bed - CFB).

Στον αντιδραστήρα BFB ο παράγοντας αεριοποίησης εισέρχεται από το κάτω τμήμα με μεγάλη ταχύτητα 1,5 – 2,5 m/s και υψηλή πίεση. Η βιομάζα τοποθετείται αφού κονιορτοποιηθεί σε σωματίδια διαμέτρου μικρότερης του ενός χιλιοστού, απευθείας στην ρευστοποιημένη κλίνη ώστε να υπάρξει άμεση επαφή με τα κοκκώδη σωματίδια ελεύθερης στρώσης της κλίνης. Το αέριο καύσιμο εξέρχεται από τον αντιδραστήρα και οδηγείται σε κυκλώνα όπου διαχωρίζεται από σωματίδια και στάχτη και κατόπιν ψύχεται. Σε περίπτωση που συσσωρευτεί τέφρα στην ρευστοποιημένη κλίνη, είναι αναγκαία η απομάκρυνση και ο καθαρισμός της.

Στον αντιδραστήρα CFB ο παράγοντας αεριοποίησης είναι συνήθως μίγμα ατμού και οξυγόνου και εισέρχεται από το κάτω τμήμα με ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα 6 – 10 m/s και υψηλότερη πίεση. Η βιομάζα τοποθετείται αφού κονιορτοποιηθεί σε σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 0,2 – 0,4 mm. Εξαιτίας της υψηλής ταχύτητας που αναπτύσσεται λόγω της ροής του αέρα, η διαδικασία μετατροπής του καυσίμου είναι πολύ σύντομη και η αποτελεσματικότητα της μετατροπής πιο μεγάλη εξαιτίας της ανακυκλοφορίας των άκαυστων σωματιδίων της βιομάζας στην βάση του αντιδραστήρα για να ολοκληρωθεί η καύση τους.



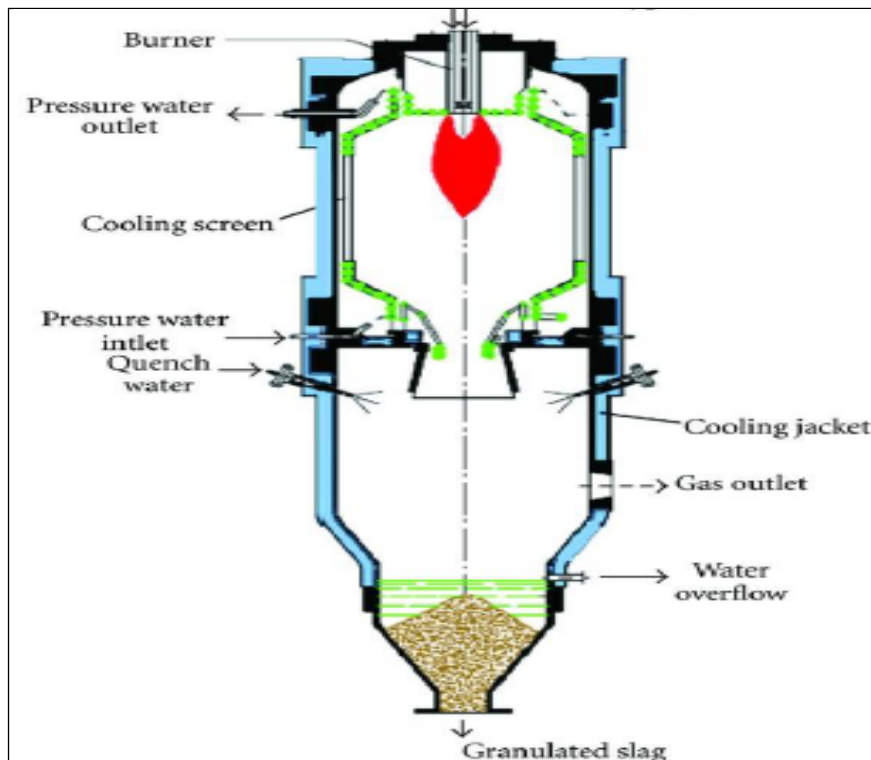


Εικόνα 15: Διάταξη αναβράζουσας κλίνης (αριστερά), κυκλοφορούσας κλίνης (δεξιά) [74]

Το καύσιμο αέριο περιέχει λιγότερες ποσότητες πίσσας από ότι σε έναν BFB, ενώ πριν γίνει διαθέσιμο για χρήση περνάει από δύο κυκλώνας. Στον πρώτο κυκλώνα γίνεται διαχωρισμός και επιστροφή των άκαυστων σωματιδίων πίσω στην κλίνη, ενώ στο δεύτερο κυκλώνα γίνεται καθαρισμός από σωματίδια, διαχωρισμός της τέφρας και ψύξη.

### ➤ Αντιδραστήρας Αεριοποίησης Εξαναγκασμένης Ροής (Entrained Flow Gasifier)

Σε αυτό το είδος αντιδραστήρα αεριοποίησης, η βιομάζα εισέρχεται αφού υποστεί προεπεξεργασία για να μετατραπεί σε σκόνη με κόκκους μικρότερους του ενός χιλιοστού. Όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια σκόνης, τόσο αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της μετατροπής σε καύσιμο. Η σκόνη βιομάζας μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας τον αντιδραστήρα ή να αναμιχθεί με νερό και να ψεκαστεί από το πάνω μέρος, ενώ ταυτόχρονα γίνεται η παροχή του παράγοντα αεριοποίησης. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι υψηλές, πάνω από 1200°C, η πίεση κυμαίνεται μεταξύ 20 – 80 bar, ενώ ο χρόνος μετατροπής είναι μερικά δευτερόλεπτα. Εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας, το αέριο εξέρχεται από την βάση του αντιδραστήρα με μικρή περιεκτικότητα σε πίσσα (< 10 mg/Nm<sup>3</sup>) και μπορεί να αναβαθμιστεί περαιτέρω σε συνθετικό αέριο χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις για καθαρισμό. Στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα γίνεται καθίζηση της στάχτης σε κοκκώδη μορφή. Ο αντιδραστήρας εξαναγκασμένης ροής χρησιμοποιείται σε σταθμούς θερμικής ισχύος μεγαλύτερης των 50 MW με αεριοστρόβιλους ή μηχανές εσωτερικής καύσης.



Εικόνα 16: Αντιδραστήρας αεριοποίησης εξαναγκασμένης ροής ([www.hindawi.com](http://www.hindawi.com))

### 3.9 Διαδικασίες προεπεξεργασίας της βιομάζας.

Διάφορα ζητήματα που σχετίζονται με το χειρισμό και την καύση της βιομάζας στο λέβητα μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά μέσω μεθόδων επεξεργασίας, όπως η σφαιροποίηση (πέλετς) ή η ξήρανση (torrefaction). Η προεπεξεργασία της βιομάζας μειώνει το συνολικό κόστος χειρισμού, αποθήκευσης και μεταφοράς και βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της καύσης της. Με τους παραπάνω τρόπους ελαχιστοποιούνται οι απαιτούμενοι πόροι για επένδυση σε εγκαταστάσεις υποδομής και επίσης μειώνεται το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης [58].

Σύμφωνα με φορείς και οργανισμούς όπως οι IEA-ETSAP και το IRENA [10], ο σχηματισμός σφαιριδίων (πελετοποίηση - σφαιρικοποίηση) είναι τεχνική που βελτιώνει την ενεργειακή πυκνότητα του καυσίμου. Το συμπαγές κυλινδρικό σχήμα του σφαιριδίου του επιτρέπει να απωθεί την υγρασία, επιλύοντας έτσι τα προβλήματα χαμηλής χύδην πυκνότητας των περισσότερων τύπων βιομάζας καθώς και τα σχετικά ζητήματα εφοδιαστικής αλυσίδας και αποθήκευσης που σχετίζονται με τη βιομάζα. Τόσο η ξυλώδης όσο και η ποώδης βιομάζα μπορούν να περάσουν τη διαδικασία σφαιρικοποίησης, και τα στοιχεία δείχνουν ότι τα σφαιρίδια είναι η πιο κατάλληλη πρώτη ύλη προερχόμενη από βιομάζα για διεργασίες συνκαύσης. [9,14].

Η ξήρανση (torrefaction) είναι η θερμοχημική επεξεργασία της βιομάζας απουσία οξυγόνου σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες έως και (200 – 300)C για σχεδόν μία ώρα. Το αποτέλεσμα είναι η μερική αποσύνθεση της βιομάζας, δημιουργώντας έτσι έναν

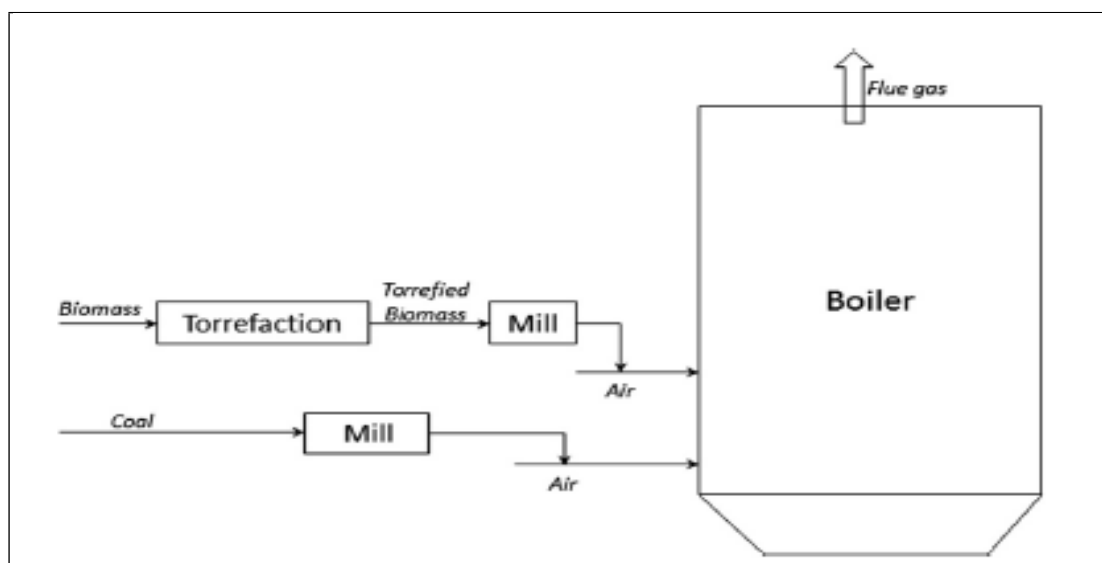


άνθρακα, υψηλής πυκνότητας μια ουσία με μειωμένη υγρασία και μικρό μέγεθος σωματιδίων [8].

Η διαδικασία της ξήρανσης (torrefaction) ως τεχνολογία προεπεξεργασίας αυξάνει θετικά την πιθανότητα χρήσης βιομάζας στη διαδικασία της συνκαύσης και έχει περιγραφεί από ερευνητές [59]. Μετά την ξήρανση η βιομάζα μπορεί πλέον να ανταγωνίζεται τα ορυκτά καύσιμα και έτσι αποτελεί μια καλή επιλογή για συστήματα άμεσης συνκαύσης με σημαντικές ποσότητες βιομάζας να συμμετέχουν στο σχήμα αυτό. Μετά τη διεργασία αυτή η βιομάζα έχει ιδιότητες παρόμοιες με τον άνθρακα καθιστώντας την έτσι πιο ευνοϊκή για σκοπούς καύσης και αεριοποίησης [59,60].

Ο θρυμματισμός προς σχηματισμό πέλετς και η ξήρανση αλληλοσυμπληρώνονται ενισχύοντας τη διαδικασία συνκαύσης βιομάζας [61]. Αυτές οι τεχνολογίες προεπεξεργασίας μπορούν να συμβάλουν ενεργά στον έλεγχο διαφόρων ζητημάτων που σχετίζονται με ταυτόχρονη καύση βιομάζας όπως τα χαρακτηριστικά αποθήκευσης και τροφοδοσίας. Δεδομένου ότι η ξήρανση καθιστά τις ιδιότητες της βιομάζας πιο συμβατές με αυτές του άνθρακα, αυξάνει τη δυνατότητα αντικατάστασης περισσότερου άνθρακα με βιομάζα στον καυστήρα [62]. Ωστόσο, η βιομάζα έχει χαμηλή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας, η οποία μπορεί να περιορίσει τη χρήση της. Συνιστάται η βιομάζα να επεξεργάζεται και να φτάνει σε μορφή πέλετς προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή πυκνότητα αυτής ως καυσίμου.

Επίσης, η τεχνολογία ξήρανσης συνεπάγεται σημαντική επένδυση, η οποία μπορεί να αυξήσει το σύνολο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ξήρανση απαιτεί επίσης μια μεγάλη ποσότητα πρώτης ύλης βιομάζας για να αντισταθμίσει την τεράστια επένδυση. Η πυρόλυση των καυσίμων βιομάζας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε εύρος θερμοκρασίας (300-650)C σε σύγκριση με το εύρος των (200-300)C που απαιτούνται κατά την ξήρανση.



Εικόνα 17: Συστήματα συνκαύσης με ξήρανση βιομάζας [63].



### 3.9.1 Περιγραφή πρώτης ύλης των pellets για βιομάζα.

Τα pellets είναι στην πραγματικότητα μορφή συσκευασμένου στερεού βιοκαυσίμου που παράγονται από συμπιεσμένη οργανική ύλη ή βιομάζα. Τα pellets μπορούν να κατασκευαστούν από μία από τις πέντε γενικές κατηγορίες βιομάζας: βιομηχανικά απόβλητα και παραπροϊόντα, απορρίμματα τροφίμων, γεωργικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες και παρθένο ξυλεία. Τα pellets ξύλου είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος καυσίμου και γενικά κατασκευάζονται από συμπιεσμένα πριονίδια και συναφή βιομηχανικά απόβλητα από την άλεση ξυλείας, την κατασκευή προϊόντων από ξύλο και έπιπλα και την κατασκευή.

Άλλες βιομηχανικές πηγές αποβλήτων περιλαμβάνουν κενές φλούδες φρούτων (φλοιούς), κελύφη φοινικοπυρήνων, κελύφη καρύδας και κορυφές δέντρων και κλαδιά που απορρίπτονται κατά τη διάρκεια εργασιών υλοτομίας. Τα λεγόμενα "μαύρα pellets" κατασκευάζονται από βιομάζα, εξευγενισμένα για να μοιάζουν με λιθάνθρακα και αναπτύχθηκαν για να χρησιμοποιηθούν σε υφιστάμενες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα.

Τα pellets παράγονται με συμπίεση του ξύλινου υλικού το οποίο έχει πρώτα περάσει από ένα μύλο σφύρας για να παράσχει μια ομοιόμορφη μάζα τύπου ζύμης. Αυτή η μάζα τροφοδοτείται σε μια πρέσα, όπου συμπιέζεται μέσω μίας μήτρας που έχει οπές του απαιτούμενου μεγέθους (κανονικά διαμέτρου 6 mm, μερικές φορές 8 mm ή μεγαλύτερη). Η υψηλή πίεση του πιεστηρίου προκαλεί μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του ξύλου και η λιγνίνη πλαστικοποιείται ελαφρώς, σχηματίζοντας μια φυσική "κόλλα" που συγκρατεί το σφαιρίο καθώς ψύχεται.

Τα pellets κατηγοριοποιούνται βάσει της θερμικής τους αξίας, της περιεκτικότητας σε υγρασία και τέφρα και των διαστάσεων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη θέρμανση για οικιακή ή οικιακή χρήση και το μαγείρεμα. Τα pellets είναι εξαιρετικά πυκνά και μπορούν να παραχθούν με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (κάτω από 10%) που τους επιτρέπει να καίγονται με πολύ υψηλή απόδοση καύσης.

Επιπλέον, η τακτική γεωμετρία και το μικρό τους μέγεθος επιτρέπουν την αυτόματη τροφοδοσία με πολύ λεπτή βαθμονόμηση. Μπορούν να τροφοδοτηθούν σε έναν καυστήρα με τροφοδοσία με τροφοδότη ή με πνευματική μεταφορά. Η υψηλή πυκνότητα τους επιτρέπει επίσης τη συμπαγή αποθήκευση και μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Μπορούν να διοχετεύονται εύκολα από δεξαμενόπλοιο σε δεξαμενή αποθήκευσης ή σιλό στις εγκαταστάσεις του πελάτη.

Με την αύξηση της τιμής των ορυκτών καυσίμων από το 2005, η ζήτηση pellets αυξήθηκε στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική και εμφανίζεται μια σημαντική βιομηχανία. Σε μια έκθεση για το 2015, το Κέντρο Ενεργειακών Πόρων της Βιομάζας αναφέρει ότι αναμένει ότι η παραγωγή ξυλοπολτού στη Βόρεια Αμερική θα διπλασιαστεί ξανά τα επόμενα πέντε χρόνια.

Τα pellets μπορούν επίσης να κατασκευαστούν από γρασίδι και άλλες μη ξυλώδεις μορφές βιομάζας που δεν περιέχουν λιγνίτη: μπορούν να προστεθούν αποξηραμένοι



κόκκοι - υποπροϊόντα της βιομηχανίας ζυθοποιίας) για να εξασφαλίσουν την απαραίτητη ανθεκτικότητα.

Οι κόκκοι pellets μπορούν να παρασκευάζονται ακόμα με συμπύκνωση του φλοιού ρυζιού που λαμβάνεται ως υποπροϊόν της καλλιέργειας ρυζιού. Έχει επίσης παρόμοια χαρακτηριστικά με τα σφαιρίδια ξύλου και πιο φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς η πρώτη ύλη είναι προϊόν αποβλήτων. Το ενεργειακό περιεχόμενο είναι περίπου 4-4,2 kcal / kg και η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι τυπικά μικρότερη από 10%. Το μέγεθος των pellets γενικά διατηρείται σε διάμετρο περίπου 6 mm και μήκους 25 mm με τη μορφή κυλίνδρου. αν και οι μεγαλύτερες μορφές κυλίνδρου ή μπρικέτας δεν είναι ασυνήθιστες. Είναι πολύ φθηνότερο από ό, τι παρόμοια σφαιρίδια ενέργειας και μπορεί να συμπιεστεί / κατασκευαστεί από το φλοιό στην ίδια την εκμετάλλευση, χρησιμοποιώντας φθηνά μηχανήματα. Γενικά είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τα σφαιρίδια ξύλου. Στις περιοχές του κόσμου όπου το σιτάρι είναι η κυρίαρχη καλλιέργεια, ο φλοιός σίτου μπορεί επίσης να συμπιεστεί για να παράγει pellets ενέργειας με χαρακτηριστικά παρόμοια με τα pellets ρυζιού.

Η ενέργεια που απαιτείται για την ξήρανση, τη σφαιροποίηση και τη μεταφορά των σφαιριδίων είναι μικρότερη από 11% της αποδιδόμενης, ενώ εάν τα σφαιρίδια κατασκευάζονται απευθείας από δασικό υλικό, απαιτούνται έως και 18% της ενέργειας για την ξήρανση του ξύλου και επιπλέον 8% για τη μεταφορά και την παραγωγή ενέργειας.

### 3.9.2 Πρότυπα συσκευασίας pellet για τη δημιουργία βιομάζας.

Τα pellets που συμμορφώνονται με τους κανόνες που χρησιμοποιούνται συνήθως στην Ευρώπη (DIN 51731 ή Ö-Norm M-7135) έχουν περιεκτικότητα σε νερό μικρότερη από 10%, έχουν ομοιόμορφη πυκνότητα (άνω του 1 τόνου ανά κυβικό μέτρο, έτσι βυθίζονται στο νερό) περίπου 0,6-0,7 τόνους ανά κυβικό μέτρο), έχουν καλή δομική αντοχή και χαμηλή περιεκτικότητα σε σκόνη και τέφρα. Επειδή οι ίνες ξύλου διασπώνται από το μύλο σφύρας, δεν υπάρχει ουσιαστικά καμία διαφορά στα τελικά σφαιρίδια μεταξύ διαφορετικών τύπων ξύλου. Τα ανακυκλωμένα υλικά όπως η μοριοσανίδα, το ξύλο επεξεργασμένο ή βαμμένο, τα πάνελ με επικάλυψη με ρητίνη μελαμίνης και τα παρόμοια είναι ιδιαίτερος ακατάλληλα για χρήση σε σφαιρίδια, καθώς μπορεί να προκαλούν επιβλαβείς εκπομπές και ανεξέλεγκτες διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά καύσης των pellets.

Στην παρούσα φάση μόνο μερικά Ευρωπαϊκά κράτη, όπως η Αυστρία, η Σουηδία, η Ιταλία και η Γερμανία έχουν επίσημα πρότυπα αποκλειστικά για την συμπιεσμένη βιομάζα (όπως είναι τα pellets). Για το λόγο αυτό, κάποια από αυτά τα πρότυπα (ιδίως το NORM M1735 και το DIN plus) απολαμβάνουν ευρύτατης αποδοχής σε πανευρωπαϊκό επίπεδο ακόμα, δηλαδή, και πέραν των κρατών προέλευσης τους. Από τις χώρες με εθνικά πρότυπα ποιότητας pellets, το NORM M1735 της Αυστρίας είναι από τα πιο αυστηρά και περιλαμβάνει ελέγχους τόσο στο προϊόν όσο και στο σύστημα παραγωγής του. Άλλα κράτη (π.χ. η Δανία και η Φινλανδία) έχουν αποφασίσει να αναμείνουν και να υιοθετήσουν στην εγχώρια νομοθεσία τους ένα κοινό Ευρωπαϊκό πρότυπο ποιότητας pellets ξύλου, όταν αυτό θεσμοθετηθεί. Ήδη από τις αρχές του



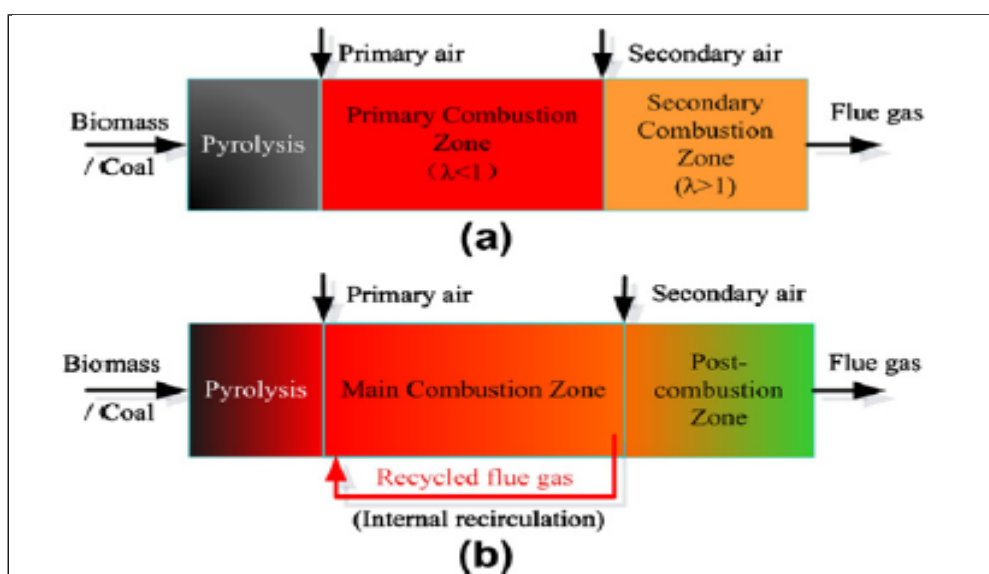
2010 έχει εκδοθεί το πρότυπο EN 14961-1 που αναφέρεται γενικά στη βιομάζα (και σε pellets) για βιομηχανικές χρήσεις.

Το πιο εξειδικευμένο πρότυπο αποκλειστικά για τα pellets ξύλου, ονομάζεται EN 14961-2 και όταν τεθεί σε ισχύ όλα τα επιμέρους εθνικά πρότυπα ποιότητας θα οφείλουν να εναρμονιστούν με αυτό ή να το υιοθετήσουν εντός διαστήματος 6 μηνών. Το πρότυπο ποιότητα EN 14961-2 αναφέρεται σε pellets ξύλου που προορίζονται για μη βιομηχανική χρήση και είναι στη φάση του τελικού προσχεδίου. Ανεξαρτήτως των ανωτέρω, η αναγκαιότητα για πιστοποίηση των προδιαγραφών των pellets είναι υπαρκτή ώστε να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση του παραγόμενου προϊόντος από την αναπτυσσόμενη αγορά των pellets.

### 3.10 Προηγμένη τεχνολογία συνκαύσης.

Εκτός από την προεπεξεργασία βιομάζας, κάποιες τεχνολογίες προηγμένης καύσης όπως η εμπονομαζόμενη ογκομετρική καύση βιομάζας μπορεί να μεγενθύνει την ποικιλία καυσίμων κατά την καύση ακολουθούμενη από μεγέθυνση της αναλογίας υποκατάστασης βιομάζας, δηλ. τη χρήση μεγαλύτερων ποσοστών βιομάζας στο σχήμα της συνκαύσης.

Η βασική ιδέα της ογκομετρικής καύσης είναι μια τεχνική σταδιακής παροχής αέρα που οδηγεί σε καλύτερη ανάμειξη των αερίων εντός του θαλάμου καύσης του λέβητα με βάση την εσωτερική ανακυκλοφορία καυσαερίων. Η τεχνολογία επιτρέπει στον δευτερεύοντα αέρα να αυξάνεται σημαντικά κατά περισσότερο από 30% χωρίς να οδηγήσει σε αστάθεια ή σε προβλήματα ατελούς καύσης [47].



Εικόνα 18: Σχήματα των δύο βασικών αρχών καύσης: (a) συνήθους καύση, (b) ογκομετρική καύση [47].



Μια μεγάλη ποσότητα δευτερεύοντος αέρα εγχύεται προς τα κάτω με μια γωνία κλίσης, παρέχοντας μερικά από τα καυσαέρια στην πρωτεύουσα ζώνη καύσης απευθείας από τη ζώνη δευτερεύουσας καύσης. Λόγω του επιπέδου πληρότητας της εσωτερικής ανακυκλοφορίας των καυσαερίων, υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των αερίων της καύσης και θερμοκρασία μέσα στον κλίβανο που τελικά οδηγεί σε αντιδράσεις καύσης σε ολόκληρο τον θάλαμο του κλιβάνου με χαμηλή θερμοκρασία φλόγας [47]. Κατά συνέπεια, η ογκομετρική καύση μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια τεχνολογία σταθερής καύσης βιομάζας που θα μπορούσε να βελτιώσει τη διαδικασία της συνκαύσης σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα και που οδηγεί σε σημαντικές μειώσεις τόσο του θερμικού ΝΟx όσο και του καύσιμου ΝΟx.

### 3.11 Βιωσιμότητα – Δυναμικό – Εμπόδια στην Συνκαύση.

Ενώ η από κοινού συνκαύση βιομάζας με λιγνίτη αυτή τη στιγμή φαίνεται να είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές επιλογές για την εκμετάλλευση της βιομάζας για χρήση ενέργειας, η βιωσιμότητα και το δυναμικό της συνδέονται στενά και εξαρτώνται από τη συνολική βιωσιμότητα των πόρων βιομάζας. Το 2009, η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα ήταν περίπου 1.580 GW (IEA, 2011), υπεύθυνη για περίπου το 42% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (IEA ETSAP, 2010a) και εκπομπή 8,56 Gt CO<sub>2</sub>.

Η αντικατάσταση του 10% αυτής της χωρητικότητας με λιγνίτη θα επιτρέψει περίπου 150 GW χωρητικότητα ισχύος βιομάζας (δηλαδή περίπου 2,5 φορές την τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς βιομάζας) και θα μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά περίπου 0,5 Gt ανά έτος. Δεδομένου ότι οι στατιστικές σχετικά με την τρέχουσα χρήση της συμπαραγωγής είναι περιορισμένες, μια ενδεικτική παραδοχή της 1-10% συνκαύσης σε περίπου 200 σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (με μέση χωρητικότητα 500 MW) οδηγεί σε 1-10 GW χωρητικότητας συμπαραγωγής υποδηλώνει ότι το επί του παρόντος εκμεταλλευόμενο δυναμικό συναποκρίσεων βρίσκεται στο μονοψήφιο ποσοστό ποσοστού.

Το πραγματικό τεχνικό δυναμικό συμπαραγωγής θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από το τι αναπτύσσεται με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα. Σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, το μερίδιο του άνθρακα θα μειωθεί, μειώνοντας έτσι τις δυνατότητες σύνκαυσης βιομάζας με λιγνίτη. Ωστόσο, σε παγκόσμιο επίπεδο η χρήση λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται να αυξηθεί (IEA, 2011) - αν και ορισμένες μελέτες προβάλλουν αντιστρόφως μια πιθανή μείωση (π.χ. EREC / Greenpeace, 2010).

Αυτό σημαίνει ότι το εμπορικό δυναμικό θα εξαρτηθεί από το τοπικό κόστος βιομάζας, το κόστος των σφαιριδίων βιομάζας που διακινούνται παγκοσμίως και τις τοπικές πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το 2010, η χρήση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας και θερμότητας έφτασε το επίπεδο των 62 GW χωρητικότητας ισχύος και 280 GWth / γ της θερμαντικής ικανότητας παγκοσμίως (REN21, 2011). Αυτό περιελάμβανε τη χρήση στερεάς, υγρής και αέριας βιομάζας σε εξειδικευμένες μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και ΣΗΘ, καθώς και ταυτόχρονη καύση.



Μια σημαντική αύξηση της από κοινού καύσης βιομάζας με λιγνίτη, θέτει το ζήτημα της βιωσιμότητας και της διαθεσιμότητας της τροφοδοσίας πρώτων υλών, η οποία θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοαιθυλενίου (ETSAP P10, I13). Ανάλογα με τις υποθέσεις σχετικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, τις μελλοντικές αποδόσεις των καλλιεργειών, τη διαθεσιμότητα γης για ενεργειακές καλλιέργειες, τη δημογραφική επέκταση και τη διατροφή του πληθυσμού, οι εκτιμήσεις για το δυναμικό των βιο-ενεργειακών πόρων ποικίλλουν σε μεγάλο εύρος (IC 2011.)

Ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν τη θέση ότι, λόγω της ανταγωνιστικής ζήτησης μεταξύ παραγωγής τροφίμων, ενέργειας και βιομηχανικών χρήσεων, δεν υπάρχει δυναμικό επέκτασης για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Άλλες μελέτες βλέπουν ένα θεωρητικό δυναμικό έως 1.500 EJ ανά έτος. Φυσικά, οι ρεαλιστικές εκτιμήσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν μόνο βιώσιμους πόρους βιομάζας - δηλαδή, βιομάζα και συναφή χρήση γης που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τροφίμων και είναι συμβατές με τη βιώσιμη χρήση γης από περιβαλλοντική και κλιματολογική άποψη.

Σε αυτή τη βάση, η ειδική έκθεση της IPCC για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εντόπισε ένα δυναμικό ανάπτυξης για χρήση ενέργειας από βιομάζα στο εύρος των 100-300 EJ / έτος, βασισμένο κυρίως σε λιγνοκυτταρίνη πρώτη ύλη, υπολείμματα και βιομάζα που δεν ανταγωνίζονται άλλες βασικές ανάγκες. Η εκτίμηση περιλαμβάνει παραγωγή ενέργειας και θερμότητας (συμπεριλαμβανομένης της συμπαραγωγής) και παραγωγή βιοκαυσίμων (IPCC, 2011). Η αξιοποίηση ενός σημαντικού μέρους αυτού του δυναμικού θα απαιτούσε τεράστια προσπάθεια και θα πρέπει να επιλυθεί η διττή χρήση της ισχύος μεταξύ θερμικής και ηλεκτροπαραγωγής των βιοκαυσίμων.

### 3.12 Υφιστάμενη κατάσταση εφαρμογής συνκαύσης.

Αν και υπάρχουν πολλές βιομηχανίες που λειτουργούν σχήματα συνκαύσης με βιομάζα στις ΗΠΑ, αρκετές ακόμα εξακολουθούν να βρίσκονται σε επίπεδα δοκιμαστικής λειτουργίας σε επίπεδα επίδειξης δοκιμάζοντας διαφορετικούς τύπους λέβητα. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας στις ΗΠΑ εξακολουθούν να διστάζουν να υιοθετήσουν την συνκαύση σε εμπορική λειτουργία, εν μέρει λόγω της έλλειψης ευνοϊκών κινήτρων. Ωστόσο, από το 2012 και μετά διαφαίνεται ένα ξαφνικό ενδιαφέρον για παραγωγή και συμπαραγωγή ισχύος από βιομάζα. Απόβλητα και ανακτημένα καύσιμα χρησιμοποιούνται στον τομέα της ενέργειας λόγω νέων περιβαλλοντικών πολιτικών και κανονισμών [17].

Στον Καναδά, η τεχνολογία συνκαύσης βιομάζας αναπτύχθηκε γρήγορα τα τελευταία δέκα χρόνια μέσω προσπαθειών για αύξηση της χρήσης βιομάζας στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου διάφορα καύσιμα βιομάζας έχουν χρησιμοποιηθεί μαζί με λιγνίτη σε σχήματα συνκαύσης. Έχουν αξιολογηθεί με επιτυχία, ειδικά στην περιοχή του Οντάριο.





Σύμφωνα με στατιστικές καταγραφές του Καναδά, 47 εγκαταστάσεις συνκαύσης έχουν υλοποιηθεί στη Βόρεια Αμερική είτε σε επίπεδο δοκιμών είτε σε εμπορική χρήση. Στον Πίνακα 4.1 φαίνεται ότι μόνο 7 από αυτές τις βιομηχανίες λειτουργούν στον Καναδά. Όλες έχουν βάση το Οντάριο και ανήκουν και λειτουργούν από την εταιρία Ontario Power Generation (OPG).

Ωστόσο, καμία από αυτές τις 7 εγκαταστάσεις δεν λειτουργούν με εμπορικούς όρους (κόστους – οφέλους) ή διαφορετικά με επιχειρηματικά κριτήρια αφού βρίσκονται στο στάδιο μετασχηματισμού και αντικατάστασης – προσθήκης εξοπλισμού ώστε ως καύσιμο να χρησιμοποιείται αποκλειστικά φυσικό αέριο ή καύσιμη βιομάζα [68].

Από το 2003, η συνολική ικανότητα παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη στο Οντάριο έχει μειωθεί κατά 40% ως μέρος της προσπάθειας της επαρχίας προς το σκοπό της μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκύπτει από αυτήν τη διαδικασία και τα περιβαλλοντικά αρνητικά αποτελέσματα της καύσης του λιγνίτη.

Αναμένεται ότι οι αλλαγές θα οδηγήσουν στη μείωση περίπου 30 μεγατόνων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μόνο στο Οντάριο. Μια τέτοια μείωση ισοδυναμεί με την αφαίρεση σχεδόν 7 εκατομμυρίων αυτοκινήτων από την κυκλοφορία. Παρόμοιες πολιτικές ακολουθούνται και σε ορισμένες άλλες επαρχίες του Καναδά, όπως στη Νέα Σκωτία. Πρόσφατα, πολλές εταιρείες κοινής ωφέλειας στις ΗΠΑ και τον Καναδά έχουν δηλώσει την πρόθεσή τους να ξεκινήσουν τη λειτουργία εγκαταστάσεων συνκαύσης, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους καυσίμων βιομάζας, και διαφορετικά επίπεδα – ποσοστά βιομάζας (Πίνακα 6).

Ο στόχος είναι να επιτευχθούν υψηλότερα επίπεδα συνκαύσης σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις δηλ. επιδιώκεται αύξηση του ποσοστού βιομάζας ως πρώτης ύλης κατά την καύση στο λέβητα μέχρι και την πλήρη αντικατάσταση του συμβατικού ορυκτού καυσίμου δηλ. του λιγνίτη από βιομάζα [64].

Οι δυνατότητες που εξετάζονται και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία με εφαρμογή συστημάτων συνκαύσης είναι:

- Συνκαύση με συμμετοχή χαμηλών ποσοστών βιομάζας με μικρές τροποποιήσεις στον υπάρχοντα εξοπλισμό,
- Συνκαύση με υψηλότερα ποσοστά βιομάζας με αναβαθμισμένο εξοπλισμό.
- Μετατροπή ή και αντικατάσταση όλου του εξοπλισμού εγκαταστάσεων παραγωγής ισχύος με αντικατάσταση του λέβητα καύσης λιγνίτη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί βιομάζα.
- Συνκαύση με ξηραμένη ξυλεία [70].

Μέχρι σήμερα υπάρχουν πάνω από 150 εγκαταστάσεις συνκαύσης βιομάζας στον κόσμο, με τα δύο τρίτα περίπου να βρίσκονται στην Ευρώπη. Τα υπόλοιπα βρίσκονται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία [67]. Η τεχνολογία συνκαύσης έχει αναπτυχθεί περισσότερο στην Ευρώπη ειδικά σε χώρες όπως η Ολλανδία, η Δανία, Φινλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο, παρά στη Βόρεια Αμερική.



Πίνακας 4.2 Εκτάσεις καλλιεργειών βιομάζας, δασικές περιοχές (σε εκτάρια) και όγκος ξυλώδους βιομάζας ανά τον κόσμο [64]

	Land area (ha) (10 <sup>6</sup> )	Forest area (ha) (10 <sup>6</sup> )	Ratio of forest area (%)	Plantations (ha) (10 <sup>6</sup> )	Forest area per capita (ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Volume (m <sup>3</sup> ) (10 <sup>9</sup> )	Woody biomass (tonne/ha)	Woody biomass (tonne) (10 <sup>9</sup> )
Africa	2978	649	21.8	8	0.8	72	46	109	70
Asia	3084	547	17.8	115	0.2	63	34	82	44
Europe	2259	1039	46.0	32	1.4	112	116	59	61
North and Central America	2136	549	25.7	2	1.1	123	67	95	52
Oceania	849	197	23.3	3	6.6	55	10	64	12
South America	1754	885	50.5	10	2.6	125	110	203	179
World	13063	3869	29.6	171	0.6	100	386	109	421

Για παράδειγμα, η βιομάζα και ο άνθρακας συμμετέχουν σε συστήματα συνκαύσης σε πολλούς τύπους λέβητα στην Ολλανδία τα τελευταία δέκα χρόνια [8]. Κίνητρα ευνοϊκές περιβαλλοντικές πολιτικές και κανονισμοί είναι οι κύριοι παράγοντες που ενθαρρύνουν το πρόσφατο ενδιαφέρον για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγή ισχύος από βιομάζα, [8].

Πίνακας 4.3 Περίληψη πρόσφατων εγκαταστάσεων (μετατροπής ή αντικατάστασης ορυκτών καυσίμων στη Βόρεια Αμερική [71])

Location	Plant name	Owner	Co-fired fuel (s)	Description
Bakersfield, California	Mount Poso Cogeneration Plant	Red Hawk Energy	Agricultural and residential waste	Expected conversion date is September 2010
Boardman, Oregon	Boardman Plant	Portland General Electric	Torrefied wood or other biomass	Plan to operate coal plant until 2020, then close.
Portsmouth, New Hampshire	Schiller Station	Public Service Co. of NH	Wood	In operation since December 2006; burns approx. 400,000 t/year in fluidized bed boiler
Cassville, Wisconsin	E.J. Stoneman	DTE Energy	Wood	Plan to convert a 50 MW-coal plant entirely to wood
Hawaii	Hu Honua Station	Hu Honua Bioenergy, LLC	Agricultural residues	24-MW facility burning local wood and agricultural wastes
Ashland, Wisconsin	Bay Front Station	Xcel Energy	Wood waste from forest harvesting	After repowering, will burn biomass in all three boilers
Charter St. Heating Plant	Madison, Wisconsin	University of Wisconsin	Various biomass fuels	Refire coal boilers with biomass or natural gas; install a new boiler to burn 100% biomass
Mitchell Steam Generating Plant	Albany	Southern Company	Woody biomass	Plan to convert 163 MW coal plant to biomass
Shadyside, Ohio	R.E. Burger Plant	First Energy Corp. (Ohio Edison)	Variety of biomass fuels	Plan to repower two coal units to biomass (up to 312 MW of total biomass energy)
Ontario, Canada	Lakeview Station	Ontario Power	Agricultural residues and wood pellets	Plan to phase out coal generation in Ontario by 2014
Ontario, Canada	Lambton Station	Ontario Power	Agricultural residues and wood pellets	Plan to phase out coal generation in Ontario by 2014
Ontario, Canada	Nanticoke Station	Ontario Power	Agricultural residues and wood pellets	Plan to phase out coal generation in Ontario by 2014
Ontario, Canada	Atikokan Station	Ontario Power	Agricultural residues and wood pellets	Plan to phase out coal generation in Ontario by 2014

Η αργή εξέλιξη και πρόοδος στην εγκατάσταση συστημάτων συνκαύσης στη Βόρεια Αμερική αποδίδεται στην απουσία κατάλληλων κινήτρων και ρυθμιστικών πολιτικών ώστε να καταστεί η τεχνολογία αυτή η καλύτερη ικανή να ανταγωνιστεί επαρκώς με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Ακόμα και σήμερα τα συστήματα παραγωγής ενέργειας από άνθρακα, φυσικό αέριο και πυρηνική ενέργεια αντιμετωπίζονται από τους περισσότερους ενδιαφερόμενους στη βιομηχανία



παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Β. Αμερικής πλεονεκτικότερα προσφέροντας μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη σε σχέση με την τεχνολογία συνκαύσης βιομάζας.

Ένας δεύτερος ανασταλτικός παράγοντας υπεύθυνος για την αργή υιοθέτηση της τεχνολογίας συνκαύσης είναι η πρόκληση που σχετίζεται με τη διασφάλιση μιας σταθερής τιμής βιομάζας και συνεχούς τροφοδοσίας με ικανοποιητικά μεγάλες ποσότητες στα συστήματα συνκαύσης. Θα μπορούσε η τεχνική της συνκαύσης να γίνει πιο ελκυστική με τη βελτιστοποίηση του συστήματος εφοδιασμού βιομάζας οπότε η αξιοπιστία της λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας θα μπορούσε να συμβάλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων συνκαύσης.

Η εμπορική παραγωγή ενέργειας βασίζεται σε κύκλους ατμού. Το συγκεκριμένο κόστος και η αποτελεσματικότητα των ατμοπαραγωγών είναι ενδιαφέρουσα σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Ως εκ τούτου η συν-καύση της βιομάζας με τον άνθρακα (λιγνίτη) είναι πολλά υποσχόμενη, καθώς συνδυάζει υψηλή απόδοση και λογικές μεταφορές αποστάσεων για τη βιομάζα. Ωστόσο, η καύση βιομάζας σχετίζεται σημαντικά με το σχηματισμό ρύπων και το πεδίο αυτό ως εκ τούτου πρέπει να βελτιωθεί.

Για την ανάπτυξη μέτρων για τη μείωση των εκπομπών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι συγκεκριμένες ιδιότητες καυσίμου. Έχει καταγραφεί ότι συμβαίνει σχηματισμός ρύπων για δύο λόγους:

- Η ατελής καύση μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές εκπομπές άκαυστων ρύπων όπως CO, αιθάλη και αέριων σωματιδίων. Αν και έχουν επιτευχθεί βελτιώσεις για τη μείωση αυτών των εκπομπών με βελτιστοποιημένο σχεδιασμό κλιβάνων, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης, υπάρχει ακόμη σχετική δυνατότητα περαιτέρω βελτιστοποίησης,
- Ρύποι όπως το NO<sub>x</sub> και τα σωματίδια σχηματίζονται ως αποτέλεσμα συστατικών καυσίμου όπως N, K, Cl, Ca, Na, Mg, P και S. Επομένως, οι κλιβανοί βιομάζας εμφανίζουν σχετικά υψηλές εκπομπές σωματιδίων NO<sub>x</sub> και σωματιδίων τάξης μικρών. Η στάση αέρα (staging) και η στάση καυσίμου έχουν αναπτυχθεί ως πρωταρχικά μέτρα για τη μείωση των NO<sub>x</sub> που προσφέρουν δυνατότητα μείωσης 50% έως 80%. Πρωτογενή μέτρα για τη μείωση σωματιδίων δεν είναι ακόμη γνωστά με ασφάλεια, ωστόσο, γίνονται προσπάθειες από τους ερευνητές προς την κατεύθυνση αυτή, με το σχεδιασμό κλιβάνων με μειωμένες εκπομπές σωματιδίων.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τη χρήση βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως. Η κινητήρια δύναμη για την καύση βιομάζας είναι στις περισσότερες περιπτώσεις η ουδετερότητα του CO<sub>2</sub> από τη βιώσιμη καλλιέργεια βιομάζας και η αξιοποίηση καταλοίπων και αποβλήτων βιομάζας. Μεγάλες δυνατότητες τόσο της φυσικής βιομάζας όσο και της καλλιέργειας διαφόρων τύπων φυτών βιομάζας μπορεί να επιτρέψει μια σχετική αύξηση της βιώσιμης χρήσης βιοενέργειας στο άμεσο μέλλον. Η καύση είναι η πιο σημαντική και ώριμη τεχνολογία διαθέσιμη σήμερα για χρήση βιομάζας. Βελτιώσεις σε σχέση με την απόδοση, τις εκπομπές και το κόστος αποτελούν πάντα θέματα ενδιαφέροντος για περαιτέρω



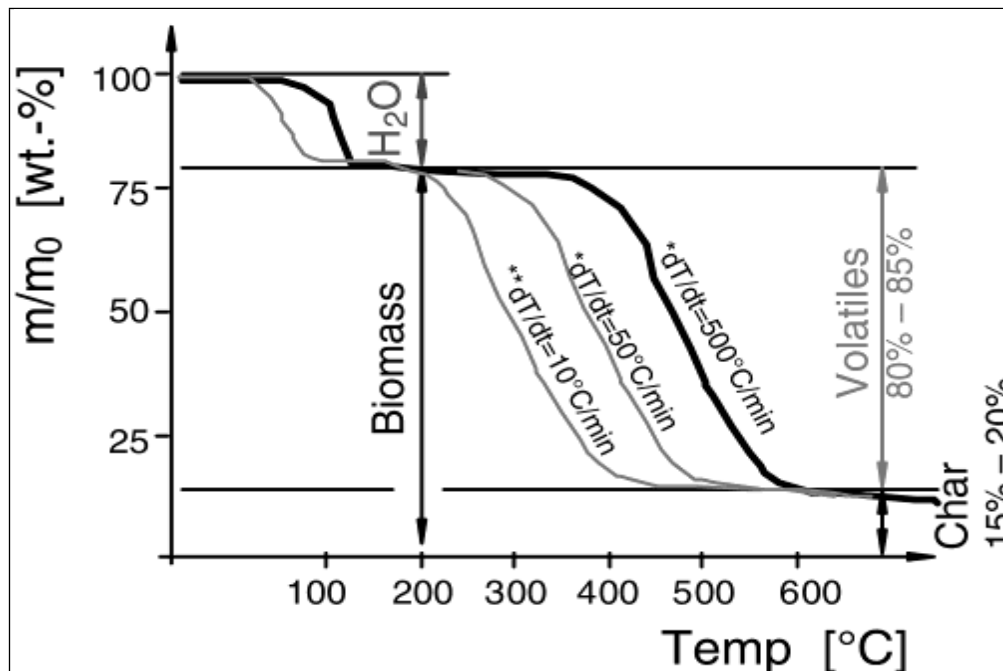
εκμετάλλευση. Πρέπει επίσης να εξεταστούν εναλλακτικές λύσεις όπως η αεριοποίηση και επίσης ο συνδυασμός διαφορετικών διαδικασιών όπως η αεριοποίηση ως προεπεξεργασία καυσίμου για συνκαύση.

Η συνκαύση μπορεί να εφαρμοστεί με βιομάζα που περιέχει έως και 60% νερό σε ανώτατο όριο. Στοιχεία καυσίμου όπως C, H και O είναι ανεπιθύμητα καθώς σχετίζονται με ρύπανση και το σχηματισμό εναποθέσεων, διάβρωση και παρουσία τέφρας. Τα περισσότερα σχετικά συστατικά στη φυσική βιομάζα είναι το άζωτο (N) ως πηγή NO<sub>x</sub> και συστατικών τέφρας (π.χ. K και Cl ως πηγή KCl) που οδηγούν σε εκπομπές σωματιδίων. Το φυσικό ξύλο είναι συνήθως το πιο ευνοϊκό βιοκαύσιμο για συνκαύση λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε τέφρα και άζωτο. Πωδής βιομάζα όπως άχυρο, ο μίσχανθος (*miscanthus*) με εναλλαγή γρασιδιού, έχουν υψηλότερο περιεχόμενο N, S, K, Cl κ.λπ., που οδηγούν σε υψηλότερες εκπομπές NO<sub>x</sub> και σωματιδίων καθώς και στη δημιουργία αυξημένων ποσοτήτων τέφρας, που συνοδεύονται από διάβρωση και εναποθέσεις στους κλιβάνους ή στους λέβητες καύσης.

Οι υψικάμινοι βιομάζας εμφανίζουν σχετικά υψηλές εκπομπές NO<sub>x</sub> και σωματιδίων σε σύγκριση με φούρνους με φυσικό αέριο ή ελαιόλαδο. Επομένως, συμβάλλουν σημαντικά στα σωματίδια (Particulate Matter PM), το όζον και το NO<sub>2</sub> στον ατμοσφαιρικό αέρα. Κατά την αξιολόγηση ενός κύκλου ζωής (Life Cycle Analysis - LCA) για καύση ξύλου, προκύπτει ότι το 38,6% των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός σύγχρονου αυτόματου φούρνου ξύλου αποδίδεται στο NO<sub>x</sub>, 36,5% σε PM-10, μόνο 2% σε CO<sub>2</sub> και 22,9% σε όλους τους άλλους ρύπους. Η συγκριτική μελέτη του LCA για ξύλο, ελαιόλαδο και φυσικό αέριο έχει δείξει επίσης ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ξύλου είναι υψηλότερες από εκείνες του φυσικού αερίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, απαιτούνται βελτιώσεις στην αλυσίδα συνκαύσης του ξύλου.

Η συνκαύση βιομάζας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που συνίσταται από διαδοχικές ετερογενείς και ομοιογενείς αντιδράσεις. Τα κύρια στάδια της διαδικασίας είναι η ξήρανση, η απολύμανση, η αεριοποίηση, η καύση του λιγνίτη και η φάση οξειδωσης του παραγόμενου αερίου. Ο χρόνος που χρησιμοποιείται για κάθε αντίδραση εξαρτάται από το μέγεθος και τις ιδιότητες του καυσίμου, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες της συνκαύσης.

Για το σχεδιασμό συσκευών καύσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το υψηλό περιεχόμενο σε πτητικά της πρώτης ύλης (80% έως 85%). Στο διάγραμμα φαίνεται ότι σε ένα πρώτο στάδιο θα πρέπει να απομακρύνεται η υγρασία (ξηρανση) που μπορεί να φθάνει έως και ένα ποσοστό της τάξης του 25% και στη συνέχεια κατά την απομάκρυνση και των πτητικών κρατείται η ξηρή βιομάζα στερεή που ως καύσιμο μπορεί να συμμετέχει στη συνέχεια σε σχήματα συνκαύσης. Επίσης φαίνεται ότι μόνο ένα ποσοστό 15 – 20 % θα αποτελέσει το καύσιμο σε πελετοποιημένη μορφή. Επίσης φαίνεται ότι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας κατά την ξήρανση της πρώτης ύλης είναι ανάλογος της τελικής θερμοκρασίας καύσης.



Εικόνα 19: Απώλεια μάζας ως συνάρτηση του χρόνου κα της θερμοκρασίας της καύσης του ξύλου (Baxter & Skreiberg)

#### 4. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Συστημάτων Συνκαύσης.

Δεδομένου ότι οι ιδιότητες των καυσίμων βιομάζας ποικίλλουν σημαντικά ως προς τα συνήθη ορυκτά καύσιμα (λιγνίτη ή φυσικό αέριο κατά βάση), η ανάμειξη βιομάζας (blending) με οποιοδήποτε από τα συμβατικά καύσιμα προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη [1]. Σύμφωνα με τον Tillman et al. [7], αρχικά η χρήση βιομάζας προωθήθηκε και έτυχε αποδοχής ως χρήσιμη πρώτη ύλη για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας ώστε να συμβάλλουν και να ανταποκριθούν σε περιβαλλοντικούς στόχους που τέθηκαν από τις κυβερνήσεις και τα πρωτόκολλα ώστε:

- Να συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτά καύσιμα σύμφωνα με το πρόγραμμα εθελοντικής παγκόσμιας πρόκλησης για το κλίμα (πρωτόκολλο Κιότο, Παρισιού),
- Να συμβάλλουν στη μείωση άλλων αερομεταφερόμενων εκπομπών όπως οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) και του αζώτου (NO<sub>x</sub>), και ιχνοστοιχεία – αερολύματα αιωρούμενων μετάλλων,

Τα συστήματα συνκαύσης με βιομάζα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση εκπομπών SO<sub>x</sub> και NO<sub>x</sub> δεδομένου ότι οι περισσότεροι τύποι βιομάζας περιέχουν λιγότερο θείο και άζωτο από ότι άνθρακα [14,41]. Ωστόσο, η καθαρή μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων ρύπων επηρεάζεται έντονα από την προέλευση και τις διεργασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας του τύπου βιομάζας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη [10].



#### 4.1 Εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Σε σύγκριση με τη συμβατική παραγωγή ισχύος και ενέργειας (ηλεκτρικής ή θερμότητας), από σταθμούς που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη μόνο τύπους άνθρακα – λιγνίτη ή από μονάδες που λειτουργούν με αέριο, τα συστήματα συνκαύσης με βιομάζα έχουν τεράστιες δυνατότητες ως προς την ανάσχεση των αποτελεσμάτων της λεγόμενης κλιματικής αλλαγής. Τα συστήματα συνκαύσης μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GreenHouse Gas emissions - GHG) και ταυτόχρονα στην παραγωγή ενέργειας με σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος.

Τα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται από ένα σύστημα συνκαύσης σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής είναι μειωμένα επειδή το καθαρό CO<sub>2</sub> από την καύση της βιομάζας μειώνεται σχεδόν στο μηδέν όταν τα αποτελέσματα της φωτοσύνθεσης λαμβάνονται υπόψη. Είναι γνωστό ότι κατά τη φωτοσύνθεση, δηλ. κατά την ανάπτυξη ενός φυτού που αργότερα θα χρησιμοποιηθεί ως βιομάζα, το φυτό απελευθερώνει οξυγόνο κατακρατώντας CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας. Έτσι η βιομάζα όταν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, θεωρείται ότι θα απελευθερώσει ποσότητες CO<sub>2</sub> που απορρόφησε κατά την ανάπτυξή του (φωτοσύνθεση) σε νωρίτερο χρόνο. Κατά αυτή την έννοια η χρήση βιομάζας στην καύση γενικότερα θεωρείται ότι έχει ουσιαστικά μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον και επομένως οι εκπομπές CO<sub>2</sub> θεωρούνται ότι δεν συμβάλλουν και δεν επιβαρύνουν με ρύπους την ατμόσφαιρα.

Περαιτέρω, τα συστήματα συνκαύσης με βιομάζα μπορούν να αποδώσουν έως και αρνητικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (δηλ. καθαρή αφαίρεση CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα). Αυτό μπορεί να συμβεί εάν τα συστήματα συνκαύσης χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Captured Storage - CCS), όπως η δέσμευση βιογονικού άνθρακα. Αυτή η τεχνολογία είναι πιο ελκυστική από οικονομικής άποψης σε σχέση με εγκαταστάσεις που είναι καθαρά αφιερωμένες σε καύση βιομάζας.

Πάντως οι εγκαταστάσεις συστημάτων συνκαύσης είναι πιο ακριβές ως προς τις συμβατικές, εκείνες δηλ. που χρησιμοποιούν αποκλειστικά κάποιο ορυκτό καύσιμο (λιγνίτες ή φυσικό αέριο) ως πρώτη ύλη. Αυτό τελικά συμβαίνει γιατί ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο είναι ακόμα φθηνότερες πρώτες ύλες ως προς τη βιομάζα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο αυξημένο κόστος της βιομάζας συμπεριλαμβάνονται όλα τα στάδια προεπεξεργασίας προκειμένου αυτή να καταστεί κατάλληλη για καύση.

Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα (ΑΗΣ) εκπέμπουν καυσαέρια που περιέχουν πολύ περισσότερα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) και αζώτου (NO<sub>x</sub>) από ό,τι βρίσκονται στα αέρια που εκπέμπονται από ένα εργοστάσιο συνκαύσης. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ορυκτά καύσιμα με άνθρακα περιέχουν περισσότερο θείο και άζωτο από ό,τι η βιομάζα. Όταν αυτά τα οξείδια (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ανάλογα με την κλίμακα τους, ενδέχεται να δημιουργήσουν ατμοσφαιρική ρύπανση όπως όξινη βροχή ή να καταστρέψουν το όζον. Η ταυτόχρονη καύση βιομάζας σε συστήματα συνκαύσης θα μπορούσε να μειώσει το επίπεδο εκπομπών



SOx και NOx, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων [5,53].

Ωστόσο, η χρήση καυσίμων βιομάζας μπορεί να θέσει ορισμένες επιχειρησιακές προκλήσεις, για παράδειγμα, ο τρόπος χειρισμού και μεταφοράς της βιομάζας διαφέρει από τον τρόπο χειρισμού του κύριου καυσίμου. και η αντιμετώπιση φαινομένων σκουριάς, διάβρωσης και ρύπανσης που σχετίζονται με την περιεκτικότητα τέφρας από τη βιομάζα μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος συντήρησης και αντικατάστασης επιμέρους εξοπλισμού της εγκατάστασης.

## 4.2 Εκπομπές NOx, SOx.

Σε σύγκριση με τη βιομάζα που προέρχεται από γεωργικά υπολείμματα, τα καύσιμα βιομάζας που προέρχονται από δασικά υπολείμματα έχουν χαμηλότερη τάση παραγωγής εκπομπών NOx, SOx και σωματιδίων κατά την καύση, επειδή περιέχουν λιγότερο άζωτο, θείο και τέφρα.

Ως προς το περιεχόμενο σε άνθρακα στο καύσιμο, ο λιγνίτης προσφέρει ορισμένα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, όπως τη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, αν και δεν συγκρίνεται με τα πολύ μικρότερα ποσοστά της βιομάζας. Μερικά από τα οξείδια του θείου (SOx) που παράγονται κατά τη διάρκεια της καύσης του λιγνίτη, μπορούν να απορροφηθούν από τα οξείδια του ασβεστίου – μαγνησίου (CaO MgO) που περιέχονται στην τέφρα σε μεγάλα ποσοστά. Κατά την παραπάνω απορρόφηση σχηματίζονται και εκπέμπονται ενώσεις του θείου όπως CaSO<sub>4</sub> και MgSO<sub>4</sub> [44,54].

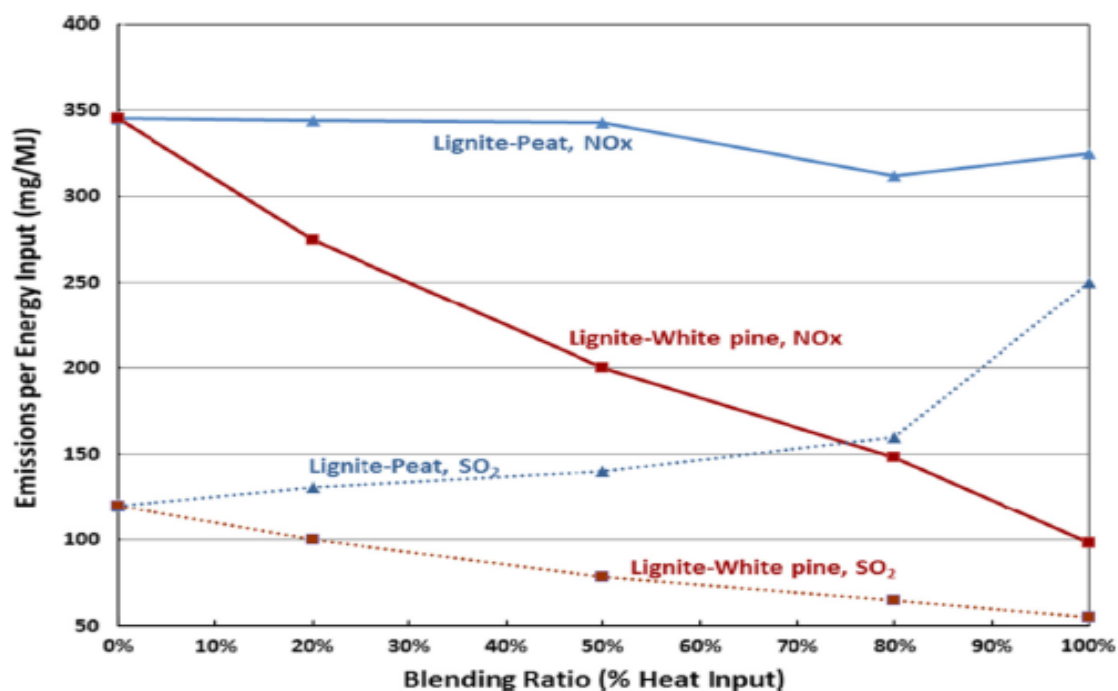
Γενικά, τα οξείδια του αζώτου (NOx) σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης και εμφανίζονται ως θερμικό, ως άμεσο αποτέλεσμα και ως καύσιμο NOx. Το θερμικό NOx σχηματίζεται από άζωτο στον αέρα σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το άμεσο NOx σχηματίζεται παρουσία υδρογονανθράκων. Τέλος, το καύσιμο NOx σχηματίζεται ως αποτέλεσμα καυσίμων που περιέχουν άζωτο. Σε μια εγκατάσταση συνκαύσης οι κύριες πηγές NOx είναι το θερμικό NO και το καύσιμο NO από την καύση του λιγνίτη, ενώ το NOx που προέρχεται από καύσιμο βιομάζας έχει μικρή επίδραση. Το θερμικό NOx σχηματίζεται συνήθως στο υψηλότερο επίπεδο καυστήρων άνθρακα στο λέβητα ενώ σχηματίζεται χαμηλό NOx στα χαμηλότερα επίπεδα του λέβητα. Το επίπεδο των εκπομπών NOx μειώνεται σταθερά καθώς το ποσοστό των τσιπ ξύλου που καίγεται με άνθρακα αυξάνεται [44,55].

Ερευνητές. [44] μελέτησαν το περιεχόμενο εκπομπών σε ένα σύστημα συνκαύσης канаδικού άνθρακα - λιγνίτη με μια канаδική τύρφη και μια ξυλώδη βιομάζα. Οι εκπομπές NOx και SO<sub>2</sub> καταγράφηκαν μετά την ανάμειξη πέλλετς τύρφης και ξύλου πεύκου και μετά την καύση με λιγνίτη σε ποσοστά 0%, 20%, 50%, 80% και 100% όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Προέκυψε ότι ο συνδυασμός λιγνίτη και βιομάζας λευκού πεύκου μειώνει τις εκπομπές NOx και SO<sub>2</sub>. Όπως και με την επίδραση των καυσίμων βιομάζας στις εκπομπές NOx, τα επίπεδα εκπομπών SOx μειώνονται σταδιακά καθώς αυξάνεται η ποσότητα καυσίμου βιομάζας που συμμετέχει στην καύση με άνθρακα [56].



Στο σύνθετο διάγραμμα (Εικ.11) δίνονται οι εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ανά μονάδα ενέργειας που προσδίδεται στο λέβητα κατά την συνκαύση ενός καναδικού λιγνίτη με τύρφη και με ξυλώδη βιομάζα λευκού πεύκου. Επίσης μια άλλη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψιν στο διάγραμμα είναι το ποσοστό ανάμειξης του λιγνίτη με βιομάζα. Ειδικότερα:

Ως προς τις εκπομπές NO<sub>x</sub> προκύπτει ότι ο συνδυασμός λιγνίτη – τύρφης διατηρεί περίπου σταθερά και πολύ υψηλότερα επίπεδα εκπομπών ως προς το συνδυασμό λιγνίτη - ξυλώδους βιομάζας λευκού πεύκου. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι αυξανόμενου του ποσοστού συμμετοχής της ξυλώδους βιομάζας οι εκπομπές NO<sub>x</sub> δείχνουν μια πολύ σημαντική πτωτική τάση. Αυτό σημαίνει ότι από πλευράς εκπομπών NO<sub>x</sub> η ξυλώδης βιομάζα συμβάλλει σε αυξημένο ρυθμό μείωσης των εκπομπών. Αυτή η τάση μείωσης διατηρείται σε όλο το εύρος συμμετοχής της ξυλώδους βιομάζας στην καύση του λιγνίτη σε ποσοστά (0 – 100)%.



Εικόνα 20: Οι συνέπειες συνκαύσης τύρφης λιγνίτη και λιγνίτη πεύκου ως προς τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> [44].

Ως προς τις εκπομπές SO<sub>2</sub> προκύπτει παρόμοια συμπεριφορά με τις εκπομπές NO<sub>x</sub>. Δηλαδή φαίνεται πάλι ότι ο συνδυασμός λιγνίτη – τύρφης διατηρεί υψηλότερα επίπεδα εκπομπών ως προς το συνδυασμό λιγνίτη - ξυλώδους βιομάζας λευκού πεύκου. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι αυξανόμενου του ποσοστού συμμετοχής των δύο διαφορετικών τύπων βιομάζας οι εκπομπές SO<sub>2</sub> φαίνεται να ακολουθούν πολύ





διαφορετική συμπεριφορά. Προκύπτει δηλ. ότι για το συνδυασμό λιγνίτη τύρφης αυξανόμενων των ποσοστών τύρφης (blending ratio) αυξάνονται και τα ποσοστά εκπομπών. Μάλιστα μέχρι ένα ποσοστό της τάξης του 80% η αύξηση ακολουθεί μια αύξηση με πολύ μικρότερο ρυθμό σε σχέση με την περίπτωση που τα ποσοστά τύρφης βρίσκονται άνω του 80% και μέχρι 100%. Στο τελευταίο αυτό τμήμα (80 – 100)% η αύξηση των εκπομπών SO<sub>2</sub> γίνεται με πολύ πιο απότομο και έντονο τρόπο και αυτό φαίνεται από την πολύ μεγαλύτερη κλίση της καμπύλης.

Συνολικά δηλ. προκύπτει ότι ο συνδυασμός του καναδικού λιγνίτη με ξυλώδη βιομάζα λευκού πεύκου έχει πολύ καλύτερη συμπεριφορά ως προς τις εκπομπές τόσο των NO<sub>x</sub> όσο και του SO<sub>2</sub>. Μάλιστα αυξανόμενων των ποσοστών συμμετοχής της ξυλώδους βιομάζας, οι εκπομπές μειώνονται δραστικά δηλ. το αποτύπωμα και η επιβάρυνση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους είναι σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το συνδυασμό λιγνίτη και τύρφης.

### 4.3 Εναπομένουσα Τέφρα.

Ένα από τα ζητήματα που σχετίζονται με τα συστήματα συνκαύσης λιγνίτη - βιομάζας είναι ο τρόπος αντιμετώπισης της τέφρας που απομένει μετά την καύση και των δύο καυσίμων στον καυστήρα. Αυτό συμβαίνει επειδή η χρήση της τέφρας που παράγεται από την καύση μπορεί να είναι απαραίτητη για περιβαλλοντικούς λόγους καθώς και για την απόδοση του φυτού [8]. Είναι γνωστό ότι η τέφρα – στάχτη λειτουργεί ευεργετικά στην ανάπτυξη των φυτών όταν προστίθεται στο χώμα που τα περιβάλλει.

Γενικά, η τεχνολογία συνκαύσης που εφαρμόζονται καθορίζει τη φύση της τέφρας που απομένει στο τέλος της διαδικασίας καύσης. Για παράδειγμα, ένα μείγμα βιομάζας και τέφρας λιγνίτη λαμβάνεται κατά την εφαρμογή του σχήματος άμεσης συνκαύσης βιομάζας - λιγνίτη, ενώ ξεχωριστά τέφρες βιομάζας και άνθρακα μπορούν να ληφθούν από τη λειτουργία ενός σχήματος έμμεσης ή παράλληλης συνκαύσης.

Επίσης, η περιεκτικότητα τέφρας διαφορετικών πρώτων υλών βιομάζας και λιγνίτη διαφέρει σημαντικά στη σύνθεση (βλ. Πίνακα 2). Για παράδειγμα, οι πούδεις πρώτες ύλες έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα από τις πρώτες ύλες βιομάζας ξύλου, αφού λαμβάνουν περισσότερα θρεπτικά συστατικά κατά την ανάπτυξη, ενώ η περιεχόμενη σε φλοιό ξυλώδους πρώτης ύλης βιομάζας έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα και επίπεδα ορυκτών ακαθαρσιών όπως άμμο και χώμα [9].

Σε πολλά μέρη του κόσμου, αυτές οι στάχτες πωλούνται στοχευμένα προς κάποιους αγοραστές που τις χρησιμοποιούν σε διαφορετικούς σκοπούς. Για παράδειγμα ιπτάμενη τέφρα που λαμβάνεται από την καύση της βιομάζας χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στην παραγωγή σκυροδέματος που χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό κλάδο. Η τέφρα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή λιπασμάτων αφού είναι πλούσια σε Mg και Ca, αν και αυτή η χρήση μπορεί να παρεμποδίζεται από την έλλειψη αζώτου και διαλυτού φωσφόρου στην τέφρα.

Επίσης, η ιπτάμενη τέφρα που προκύπτει από την αεριοποίηση της βιομάζας σε λέβητα ρευστοποιημένης κλίνης μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για



παραγωγή ενέργειας, καθώς έχει υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο ακόμα που προκύπτει από τον περιεχόμενο άκαυστο άνθρακα. Η έρευνα δείχνει ότι η επαναχρησιμοποίηση της τέφρας για λόγους όπως αναφέρονται παραπάνω είναι το πιο ευνοϊκό σενάριο οικονομικά. Επιπλέον, διαφορετικές μορφές τέφρας άνθρακα που περιλαμβάνονται στη σκουριά του λέβητα, ιπτάμενη τέφρα και τέφρα στον πυθμένα του λέβητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον κατασκευαστικό τομέα και στη βιομηχανία, όπως πχ σε κατασκευές υπόγειων εξορύξεων, καθώς και την αποκατάσταση των λατομείων [1].

#### 4.4 Αέριοι Ρύποι Βιομάζας – Μέθοδοι Περιορισμού.

Η χρήση βιομάζας ως καύσιμο, μπορεί να συμβάλει στην καταπολέμηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και να παρουσιάζει μειωμένες εκπομπές κάποιων ρύπων σε σύγκριση με τους αντίστοιχους που εκπέμπονται από συμβατικά καύσιμα, αλλά παράλληλα μπορεί να παρουσιάζει αυξημένες εκπομπές σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σε οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και τέφρα στα απαέρια. Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο που περιέχουν στα στερεά βιοκαύσιμα, οι απαιτήσεις σχετικά με τα όρια εκπομπών διοξειδίου του θείου κατά την πλήρη καύση, μπορούν να ικανοποιηθούν χωρίς να ληφθούν επιπλέον μέτρα. Στην καύση στερεής βιομάζας, ο κύριος ρυπογόνος παράγοντας που έχει σημασία είναι οι σχηματισμοί οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) από την περιεκτικότητα σε άζωτο που υπάρχει στην βιομάζα και έχουν άμεση σχέση με την θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της καύσης. Για θερμοκρασίες πάνω από 1200°C δεν παρατηρούνται θερμοκοί σχηματισμοί NO<sub>x</sub>, γεγονός που εξηγεί γιατί η καύση ακατέργαστων ξύλων δεν αποτελεί τυπικά πρόβλημα σε αντίθεση με την καύση άχυρων που περιέχουν σημαντική ποσότητα αζώτου.

Η συμπεριφορά των χημικών στοιχείων C, H, O, N, και S που περιέχονται στα στερεά βιοκαύσιμα, σε υψηλές θερμοκρασίες, έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό και οι ανεπιθύμητες αντιδράσεις σε βλαβερές εκπομπές έχει διαπιστωθεί ότι περιορίζονται μέσω ενός βελτιστοποιημένου σχεδιαστικά θαλάμου καύσης και με την μέθοδο σταδιακής παροχής αέρα (Overfire Air System - OFA).

Η βελτιστοποίηση του καυστήρα, είναι η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του σχηματισμού NO<sub>x</sub>, μέσω τροποποίησης των συνθηκών λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται:

1. Η περίσσεια αέρα κατά την διάρκεια της καύσης
2. Ο έλεγχος ροής καυσίμου και αέρα στον λέβητα
3. Ο έλεγχος ροής αέρα στους καυστήρες.

Η τεχνολογία OFA απαιτεί η εισαγωγή του αέρα καύσης να διαχωριστεί σε δύο ροές (πρωτεύουσα, δευτερεύουσα) με αποτέλεσμα να επιτευχθεί πλήρης καύση και να ενθαρρύνει τον σχηματισμό αζώτου αντί των θερμικών NO<sub>x</sub>. Ο έλεγχος των εκπομπών γίνεται μετρώντας την ισχύ του κινητήρα, την εσωτερική πίεση και τη θερμοκρασία του μίγματος αέρα – καυσίμου. Οι μετρήσεις αυτές στην συνέχεια εισέρχονται σε έναν ελεγκτή ο οποίος ρυθμίζει την μίξη του αερίου για να παράγει το κατάλληλο AFR (Air – Fuel Ratio) διατηρώντας παράλληλα τις θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις σε χαμηλά επίπεδα.



Αποτελεί ένα μοντέλο καύσης φτωχού μίγματος (lean mixture) το οποίο επιτρέπει ένα σταθερό λειτουργικό καθεστώς ελαχιστοποιώντας τους αέριους ρύπους. Με τον όρο lean mixture, ορίζουμε το μίγμα στο οποίο παρέχεται περισσότερο οξυγόνο από ότι απαιτείται για στοιχειομετρική καύση.

Μία άλλη μέθοδος περιορισμού που αφορά την κατεργασία αερίων μετά την καύση για την μείωση των συγκεντρώσεων σε οξειδία του αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα, είναι η εκλεκτική καταλυτική μείωση SCR (Selective Catalytic Reduction).

Πρόκειται για μετατροπή των NOx με την βοήθεια καταλύτη από πλατίνα ή τιτάνιο, σε άζωτο (N<sub>2</sub>) και νερό με υψηλό βαθμό απονίτρωσης πάνω από 95% και αποτελεί σήμερα την πιο συνηθισμένη μέθοδο. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος έχει το μειονέκτημα ότι, το θείο που περιέχεται στις αναθυμιάσεις δηλητηριάζει γρήγορα τον καταλύτη ανεβάζοντας το κόστος αντικατάστασης και συντήρησης του καταλύτη.

Μία παρόμοια μέθοδος η οποία όμως δεν χρησιμοποιεί καταλύτη, είναι η εκλεκτική μη καταλυτική μείωση SNCR (Selective Non Catalytic Reduction). Η διαδικασία SNCR επιτρέπει την έγχυση αμμωνίας ή ουρίας απευθείας στην έξοδο καυσαερίων χωρίς καταλύτη και μετατρέπει τα οξειδία του αζώτου σε άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα και νερό με αποτέλεσμα να είναι ελκυστική επειδή είναι οικονομικά αποδοτική. Εντούτοις, ο ρυθμός απονίτρωσης είναι χαμηλότερος από αυτόν της μεθόδου SCR, και απαιτείται έλεγχος θερμοκρασίας του καυσαερίου (flue gas) καθώς υψηλότερες θερμοκρασίες από τις τυπικές (850°C – 950°C) οξειδώνουν την αμμωνία σε μονοξείδιο του αζώτου (NO) ενώ χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν επιτρέπουν στην αμμωνία να αντιδράσει, με συνέπεια την μαζική εκπομπή της με τα αέρια NOx.

Υπάρχουν επίσης συστήματα που μπορούν να μειώσουν τις συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στα καυσαέρια. Η θερμική οξειδωση επιτρέπει την οξειδωση του CO σε διοξείδιο του άνθρακα. Πρόκειται για ένα σύστημα θερμικής αναγέννησης μετά την καύση για τα καυσαέρια του κινητήρα. Αφού θερμανθούν στους 800°C, οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες και το μονοξείδιο του άνθρακα οξειδώνονται για να σχηματίσουν υδρατμούς και διοξείδιο του άνθρακα. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει καταλυτική αντίδραση κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας καυσαερίων, αυτή η τεχνική είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα με τη χρήση βιοαερίου. Περαιτέρω, αποσυνθέτει το αδιάλυτο μεθάνιο στα καυσαέρια και παρέχει επιπλέον θερμότητα εξάτμισης που μπορεί να αυξήσει τη θερμική απόδοση μιας μονάδας συμπαραγωγής.

#### 4.5 Κίνητρα για την ενίσχυση συστημάτων συνκαύσης.

Ο φόρος εκπομπών άνθρακα, επίσης γνωστός και ως κόστος μείωσης του άνθρακα, είναι μια μορφή τιμολόγησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με αυτό τον φόρο, μεμονωμένες εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής και άλλοι καταναλωτές – εταιρείες καλούνται να πληρώσουν ένα καθορισμένο ποσό ως αμοιβή - χρέωση ή φόρο για κάθε τόνο αερίων θερμοκηπίου που απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα κατά τις διάφορες διαδικασίες που ακολουθούν [68].



Η λογική πίσω από αυτήν την πολιτική είναι ότι, αναγκάζοντας τις εταιρίες να πληρώσουν το φόρο του άνθρακα, τις παρακινούν στην πραγματικότητα να σταθμίσουν το κόστος του ελέγχου των εκπομπών έναντι της πληρωμής του κόστους εκπομπής. Ο τελικός σκοπός είναι οι εταιρίες που εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου να υιοθετήσουν τεχνολογίες και διαδικασίες μείωσης εκπομπών που θα είναι φθηνότερες από το να πληρώσουν το φόρο όσο βέβαια αυτό είναι εφικτό. Όσες εταιρίες ευνοούν αυτήν την οικονομικά αποδοτική προσέγγιση θα συμβάλουν στην εξίσωση του κόστους μείωσης [69,70] μειώνοντας παράλληλα το αποτύπωμα άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη επιτυχία, ειδικά όσον αφορά το συνολικό όριο εκπομπών, είναι απαραίτητο οι φόροι άνθρακα να είναι ομοιόμορφοι και ευαίσθητοι στις αλλαγές στο σύστημα. Δηλ. δεδομένου ότι μια διαδικασία που θα ακολουθήσει μια εταιρία προκειμένου να απελευθερώνει μειωμένα ποσοστά ρύπων (πιο καθαρούς ρύπους) στην ατμόσφαιρα είναι συνήθως αρκετά κοστοβόρα (π.χ ηλεκτροστατικά φίλτρα), θα πρέπει άμεσα η μείωση στις εκπομπές να επιφέρει και μικρότερο κόστος στην πληρωμή δικαιωμάτων του άνθρακα. Αυτό σημαίνει ότι τα επίπεδα φόρου εκπομπών πρέπει να προσαρμοστούν:

- να πληρούν το πρότυπο εκπομπών που έχει εγκριθεί από κοινού από τις περισσότερες χώρες του κόσμου, ·
- να ανταποκρίνονται δυναμικά και συνεχώς σε μεταβαλλόμενους εξωτερικούς παράγοντες όπως ο πληθωρισμός, πιθανές νέες οικονομικότερες τεχνολογίες ή και νέες πηγές εκπομπών [33,57].

Γενικά, οι φόροι άνθρακα δίνουν άμεση τιμή στον τόνο εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η παραγωγή και χρήση ενέργειας ειδικά από υδρογονάνθρακες. Για παράδειγμα, υπάρχουν έως 150 φόροι για τα ενεργειακά προϊόντα και 125 φόροι για τα αυτοκίνητα οχήματα, καθώς και κάποια άμεση φορολογία για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> μεταξύ ορισμένων χωρών του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) όπως η Αυστραλία η Νέα Ζηλανδία και οι σκανδιναβικές χώρες [29]. Από την άλλη πλευρά οι ΗΠΑ μέχρι σήμερα δεν αποδέχονται και αποφεύγουν να συμμετέχουν τόσο στο σύμφωνο του Κυότο όσο και στις αποφάσεις της συμφωνίας του Παρισιού, προτιμώντας να αγοράζουν τα δικαιώματα εκπομπών των χωρών της Αφρικής. Αυτό γιατί η βιομηχανική παραγωγή μιας τόσο μεγάλης χώρας απαιτεί σημαντικούς οικονομικούς πόρους για να ενσωματώσει ή να αντικαταστήσει εξοπλισμό προς τεχνολογίες πιο φιλικές στο περιβάλλον. Προφανώς μέχρι και σήμερα κάτι τέτοιο έχει κριθεί ασύμφορο σε ομοσπονδιακό επίπεδο, με αποτέλεσμα οι ΗΠΑ να είναι ο μεγαλύτερος ρυπαντής του πλανήτη.

Δεν υπάρχει υφιστάμενος ομοσπονδιακός φόρος εκπομπών που να επιβάλλεται είτε στον Καναδά είτε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Ωστόσο, οι φόροι εκπομπών βρέθηκαν σε διάφορες μορφές σε διάφορες επαρχίες και πολιτείες. Για παράδειγμα στον Καναδά η κυβέρνηση της Αλμπέρτα επιβάλλει επί του παρόντος φόρο ύψους 15\$ ανά τόνο CO<sub>2</sub>. Διαφορετικές μορφές φόρου άνθρακα υπάρχουν και σε άλλες πολιτείες



τόσο του Καναδά όσο και των ΗΠΑ όπως στο Κεμπέκ, Μέριλαντ, Καλιφόρνια και Κολοράντο [72,73].

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο φόρος του άνθρακα αποτελεί ένα εργαλείο για τη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ένας τέτοιος φόρος δίνει στις εταιρίες παραγωγής ισχύος / ενέργειας ένα σημαντικό κίνητρο για τη μείωση ενός σημαντικού μέρους των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Έτσι τα συστήματα συνκαύσης βιομάζας μπορεί να θεωρηθούν και να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο μείωσης των εκπομπών στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα οι εταιρίες κοινής ωφέλειας (ΔΕΗ – ΑΔΜΗΕ) που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με καύση λιγνίτη θα μπορούσαν για να μειώσουν τις εκπομπές τους να αντικαταστήσουν πρώτες ένα μέρος του βασικού τους ορυκτού καυσίμου, λιγνίτη ή φυσικού αερίου, με το επανομαζόμενο καύσιμο «carbon – free», όπως με βιομάζα [11]. Με τον τρόπο αυτό ο κρατικός φορέας μπορεί να υποδείξει και στον ιδιωτικό τομέα πιο φιλική συμπεριφορά προς το περιβάλλον.

Η συνκαύση βιομάζας με ορυκτά καύσιμα συνολικά μπορεί να είναι επωφελής όχι μόνο λόγω της εξοικονόμησης κόστους αλλά επίσης επειδή αυτή η τεχνολογία προστατεύει το περιβάλλον ελαχιστοποιώντας τα αέρια του θερμοκηπίου [5]. Επίσης συμβάλει στη λεγόμενη κυκλική οικονομία. Για παράδειγμα η πώληση τέφρας προς την τσιμεντοβιομηχανία για χρήση στην παραγωγή τσιμέντου αποτελεί εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας αφού τα απορριφθέντα παραπροϊόντα μιας διαδικασίας (συνκαύση) μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμμετέχοντας ως πρώτη ύλη για την παραγωγική διαδικασία ενός άλλου προϊόντος [34].

Η συνκαύση αποτελεί πρόκληση δημιουργώντας ευκαιρίες στη βιομηχανία όπως στη δασοκομία, στη γεωργία, στις κατασκευές, στην επεξεργασία τροφίμων και στις μεταφορές για μια καλύτερη διαχείριση των μεγάλων ποσοτήτων υλικών – καυσίμων [1]. Ωστόσο, κάποια τεχνικά εμπόδια που σχετίζονται με την ταυτόχρονη χρήση της βιομάζας και των ορυκτών καυσίμων έχουν αναγνωριστεί, όπως η διαθεσιμότητα των καυσίμων βιομάζας ποιότητας, τα όρια στο ποσοστό βιομάζας που μπορεί να συμμετέχει και ζητήματα που σχετίζονται με την απόδοση του λέβητα, ο σχηματισμός εναπόθεσης, διάβρωση κ.λπ. [10]. Κάποιες λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, είναι η προεπεξεργασία των καυσίμων βιομάζας για τη μείωση της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, βελτιώνοντας έτσι τη μεταφορά και την αποθήκευσή τους.

Πίνακας 4.1 Εγκαταστάσεις συνκαύσης στον Καναδά [67]

Location	Plant name	Owner	Co-firing type	Boiler	Burner configuration	Output (MWe)	Primary fuel	Co-fired fuel (s)
Ontario	Atikokan	OPG	Direct	PF	Front wall	227	Lignite	Wood pellets
Ontario	Lambton 1	OPG	Direct	PF	Tangential	500	Pulverized coal	Dry distillers and grain
Ontario	Nanticoke 4	OPG	Direct	PF	Opposed wall	500	Blended coal	Agricultural residues
Ontario	Nanticoke 6	OPG	Direct	PF	Opposed wall	500	Blended coal	Agricultural residues and wood pellets
Ontario	Nanticoke X	OPG	Direct	PF	Opposed wall	500	Blended coal	Wood pellets
Ontario	Thunder Bay 2	OPG	Blended on coal pile	PF	Tangential	155	Lignite	Wood pellets
Ontario	Thunder Bay 3	OPG	Direct	PF	Tangential	155	Lignite	Grain screenings



Περίληπτικά ένα κανονιστικό πλαίσιο περιβαλλοντικών πολιτικών αναφορικά με μέτρα που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην προώθηση της συνκαύσης με παράλληλη μείωση των εκπομπών θα μπορούσε να περιλαμβάνει:

- Περιβαλλοντικούς φόρους αλλά και πιστώσεις σε περιπτώσεις παραγωγής ενέργειας με τεχνολογίες συνκαύσης ή από ΑΠΕ,
- Απαιτήσεις αδειών και συγκεκριμένων περιορισμών εκπομπών.
- Οφέλη στις εταιρίες και τις βιομηχανίες από τις μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου,
- Πολιτικές υπέρ της απόρριψης αποβλήτων βιομάζας,
- Πολιτικές που ευνοούν τη χρήση της τέφρας,
- Κατάργηση επιδοτήσεων ορυκτών καυσίμων,
- Χρηματοδότηση στην έρευνα και ανάπτυξη (R&D) για την ανάπτυξη συνκαύσης και υποδομών της εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας,
- Καθιέρωση υποχρεωτικής χρήσης βιοομάζας σε συστήματα καύσης ανάλογη με την απαίτηση προσθήκης ποσοστού βιοαιθανόλης στη βενζίνη [34].



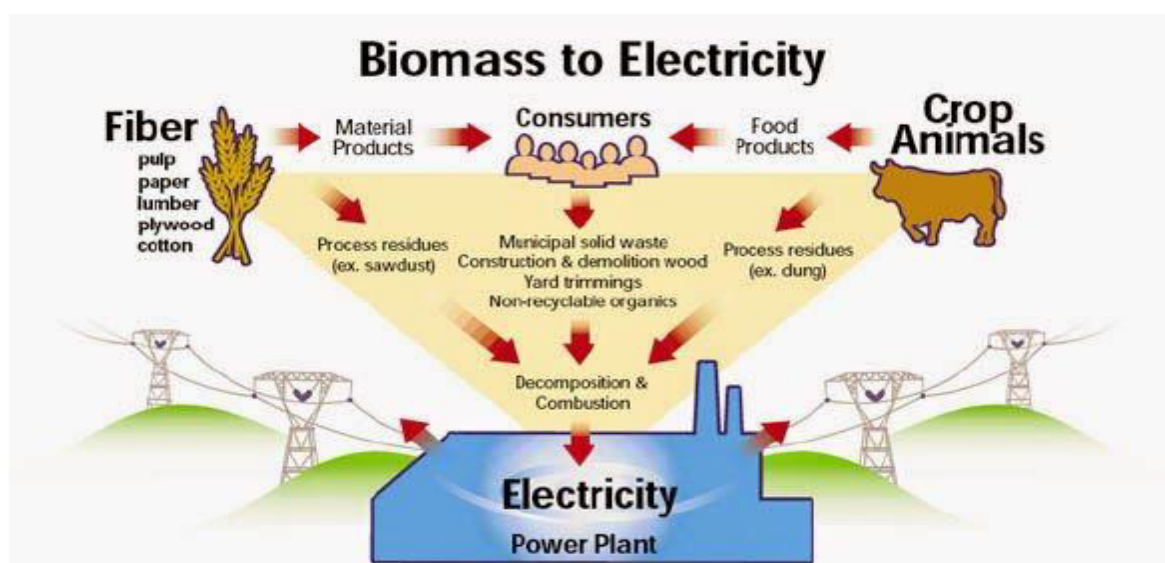
## 5. Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με εφαρμογή ΣυνΚαύσης.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και συμπαραγωγής θερμότητας – ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται με μεθόδους που εξαρτώνται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Το είδος του βιοκαυσίμου και τον τρόπο ανάμειξης με το ορυκτό καύσιμο,
- Τον τρόπο εκμετάλλευσης (καύση σε λέβητα, παροχή σε ΜΕΚ κ.α.),
- Την τοποθεσία της πρώτη ύλη της βιομάζας δηλ. αν βρίσκεται εντός του σταθμού ή αν το βιοκαύσιμο μεταφέρεται είτε μέσω αγωγών είτε μέσω φορτηγών έτοιμο από άλλη μονάδα επεξεργασίας,
- Το μέγεθος του σταθμού (αν είναι μεγάλης ή μικρής κλίμακας),
- Τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των αέριων εκπομπών και των αποβλήτων,
- Τον σκοπό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (προσφορά στο δίκτυο ή μόνο ιδιοκατανάλωση),
- Τον κύκλο παραγωγής ισχύος που θα χρησιμοποιηθεί.

Μια μελέτη θα πρέπει να ξεκινά από την μεταφορά της βιομάζας στο σταθμό καθώς και τα οικονομικά και στρατηγικά οφέλη της θέσης ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Επιπρόσθετα τα στάδια αποθήκευσης της ακατέργαστης βιομάζας από την στιγμή που θα μεταφερθεί στον σταθμό μέχρι και μετά τις διεργασίες για την μετατροπή σε βιοκαύσιμο αποτελούν μέρος της όλης διαδικασίας.

Οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες επεξεργασίας των παραγόμενων αερίων ρύπων αποτελούν σημαντικό τμήμα της μελέτης στο πλαίσιο της ανάλυσης των διαφόρων κύκλων παραγωγής ισχύος που εφαρμόζονται στα διάφορα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής και συμπαραγωγής.





Εικόνα 21: Διεργασίες μετατροπής τύπων βιομάζας σε ηλεκτρική ενέργεια.

## 5.1 Μεταφορά βιομάζας στον ΑΗΣ.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την κατασκευή ενός ΑΗΣ σταθμού ηλεκτροπαραγωγής συν καύσης με βιομάζα, είναι η μεταφορά της πρώτης ύλης. Η εγκατάσταση του σταθμού πρέπει να γίνεται όσο πιο κοντά στην τοποθεσία εξόρυξης του λιγνίτη αλλά και κοντά στην πρώτη ύλη της βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα έξοδα μεταφοράς.

Δεδομένου ότι τα σχήματα συν καύσης αναμένεται αρχικά να εφαρμοστούν σε ΑΗΣ ορυκτών καυσίμων (λιγνίτη κατά βάση) θα πρέπει η βιομάζα να μεταφέρεται. Μελλοντικά και εφόσον αυτή η τεχνολογία αναπτυχθεί περισσότερο η τοποθεσία του ΑΗΣ θα μπορεί να βρίσκεται ακόμα και εντός των χώρων συλλογής της βιομάζας και εφόσον φθάσουν να λειτουργούν χωρίς τη συμμετοχή ορυκτών καυσίμων. Η μεταφορά της βιομάζας μπορεί να γίνεται είτε με αγωγούς είτε με φορτηγά, τρένα και ορισμένες φορές με πλοία.

Οι παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη μεταφορά της βιομάζας είναι η κατάστασή της (στερεά, υγρή, αέρια), η χύδην πυκνότητά της, η ποσότητα υγρασίας της και σημαντικότερα οι καθημερινές ανάγκες του σταθμού για βιοκαύσιμο, Επίσης η αποθηκευτική ικανότητα του σταθμού και η απόσταση μεταφοράς για την εκφόρτωση στην μονάδα επεξεργασίας και αποθήκευσης του σταθμού. Οι μεταβλητές που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση του κόστους μεταφοράς είναι, το μεταβλητό κόστος μεταφοράς (Distance Variable Costs – DVC) το οποίο εξαρτάται άμεσα από την απόσταση της πηγής από το σταθμό και το σταθερό κόστος μεταφοράς (Distance Fixed Costs – DFC) το οποίο εξαρτάται μόνο από τον τρόπο που θα γίνει η μεταφορά, τη θέση του σταθμού παραγωγής ενέργειας, το κόστος φόρτωσης - εκφόρτωσης και το είδος της βιομάζας. Ενδεικτικά δίνονται τιμές μεταφοράς ως προς τις μεταβλητές DVC και DFC καθώς και οι ανάγκες για τυχαίες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 5.1 Τιμές μεταφοράς υλικών βιομάζας με μεταφορικά μέσα.

Μέσο	Είδος βιομάζας	DVC (€/tn km)	DFC (€ / tn)
Φορτηγό	Άχυρα Φυτικά Υπολείμματα	0.12	4.39
	Πέλλετ Υπολείμματα ξύλου	0.07	3.01
	Βιοαιθανόλη	0.05	3.86
Τρένο	Άχυρα Φυτικά Υπολείμματα	0.023	14.15
	Πέλλετ Υπολείμματα ξύλου	0.017	5.48
Καράβι	Άχυρα Φυτικά Υπολείμματα	0.01	34.01
	Πέλλετ Υπολείμματα ξύλου	0.01	11.15
Αγωγοί	Βιομάζα (ξηρή)	23.4 C <sup>-0.4086</sup>	4.19 C <sup>-08656</sup>
	Αιθανόλη	0.062 € / lt km	0 €/lt
Ηλεκτρική	46 MW	0.04 € / MWh km	0 € / MWh





Ενέργεια (καθαρή)	137 MW 458 MW	0.03 0.02	0 0
----------------------	------------------	--------------	--------

## 5.2 Επεξεργασία – Αποθήκευση βιομάζας στον ΑΗΣ.

Είναι δυνατόν η βιομάζα να αποθηκεύεται σε δύο στάδια με την εκφόρτωση στον ΑΗΣ στην περίπτωση που απαιτείται επεξεργασία για τη μετατροπή της πρώτης ύλης σε βιοκαύσιμο είτε απευθείας αποθήκευση, αν το βιοκαύσιμο είναι έτοιμο προς χρήση.

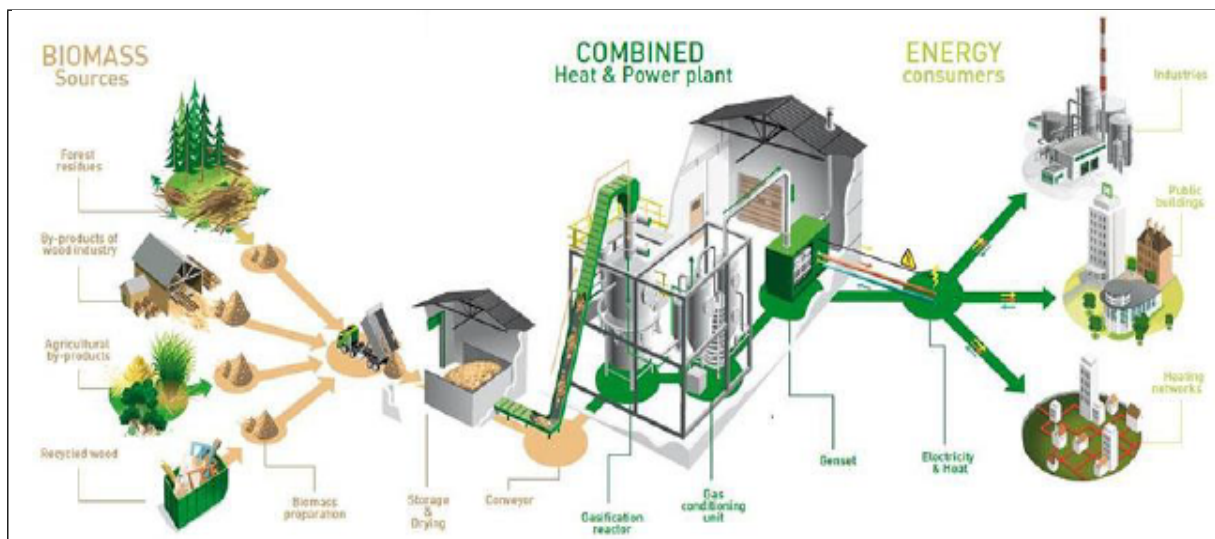
Στο πρώτο στάδιο και για την περίπτωση στερεής βιομάζας αυτή αποθηκεύεται προσωρινά σε εξωτερικούς ή υπόγειους χώρους, σε σιλό ή σε container. Λόγω της συνεχόμενης τροφοδοσίας σε βιοκαύσιμο, ο ΑΗΣ χρειάζεται να διαθέτει τεράστιες ποσότητες ακατέργαστης βιομάζας στο χώρο του και συνήθως το πρώτο μέρος αποθήκευσης γίνεται σε σωρούς σε κάποιο ανοιχτό ή στεγασμένο χώρο. Η επιλογή της προσωρινής αποθήκευσης, εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής του σταθμού και την κατάσταση της βιομάζας (αν είναι θρυμματισμένη, αν χρειάζεται επιπλέον ξήρανση). Η προσωρινή αποθήκευση σε σωρούς, ανεβάζει την θερμογόνο δύναμη της βιομάζας σε MJ/kg, εξαιτίας της ανάπτυξης μικροοργανισμών που καταναλώνουν κυρίως συστατικά χαμηλής ενέργειας όπως ημικυτταρίνη και κυτταρίνη, ανεβάζοντας τα επίπεδα της λιγνίνης. Ωστόσο, η συνολική ποσότητα της αποθηκευμένης βιομάζας έχει λιγότερη ενέργεια λόγω απωλειών ξηράς ουσίας.

Για λόγους υγείας και ασφάλειας, οι σωροί δεν πρέπει να μένουν μεγάλο χρονικό διάστημα σε ένα σημείο εξαιτίας της ανάπτυξης διαφορετικού είδους μυκήτων *microfungi*, όπως είναι η μούχλα.

Για βιομάζα υψηλής υγρασίας που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί υγρή, όπως σε συστήματα ζύμωσης και αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή αέριων καυσίμων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές δεξαμενές, με χρόνους αποθήκευσης αυστηρά ελεγχόμενους για να αποφευχθεί η υπερβολική υποβάθμιση της πρώτης ύλης.



Εικόνα 22: Προσωρινή αποθήκευση στερεής ακατέργαστης βιομάζας.

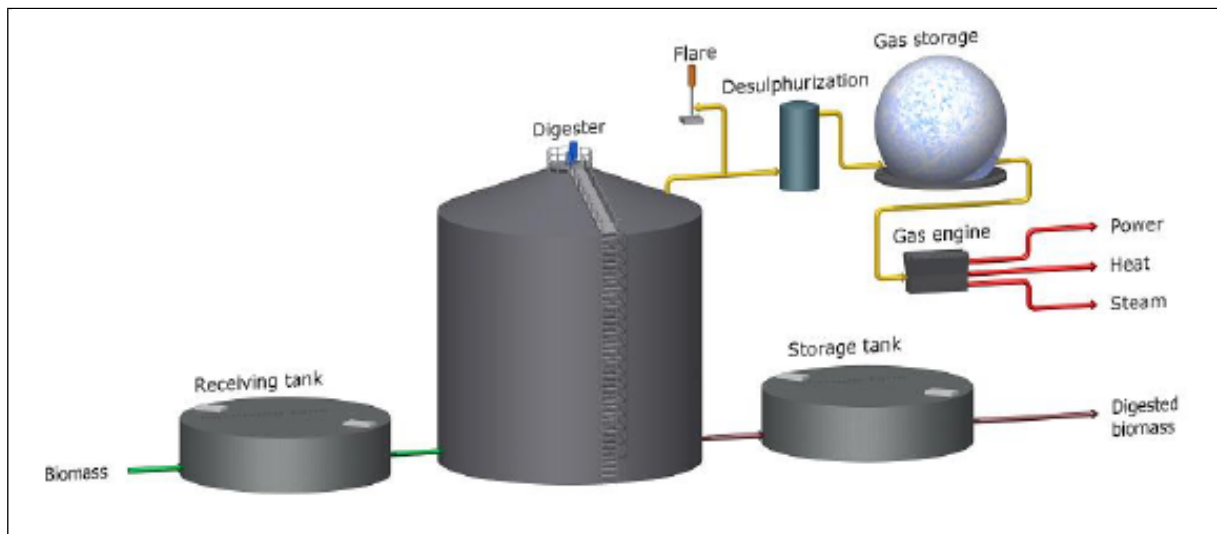


Εικόνα 23: Αποθήκευση και μεταφορά στερεής βιομάζας σε σταθμό Συμπααραγωγής, πηγή [www.agroenergy.gr](http://www.agroenergy.gr)

Στο δεύτερο στάδιο εφόσον υπάρχει μονάδα επεξεργασίας εντός του χώρου που εγκαθίστανται ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής, ποσότητα ακατέργαστης βιομάζας τοποθετείται σε διαμορφωμένους χώρους ώστε να υποστεί αρχικά προ-επεξεργασία.

Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να μειωθεί η υγρασία, να αυξηθεί η πυκνότητα και να μειωθεί το μέγεθος της ακατέργαστης βιομάζας που προορίζεται για στερεά βιοκαύσιμα. Στην συνέχεια, αν χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία, με τις μεθόδους θερμοχημικής, χημικής και βιοχημικής φύσης γίνεται η επεξεργασία ώστε να παραχθεί το βιοκαύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί. Αφού παραχθεί και κρυώσει, είναι έτοιμο να τοποθετηθεί σε στεγασμένο χώρο όπου υπάρχει συνήθως ταινιόδρομος ο οποίος θα οδηγήσει τα στερεά βιοκαύσιμα στο λέβητα ή στον αντιδραστήρα αεριοποίησης.

Για την βιομάζα που προορίζεται για βιοαέριο ή συνθετικό αέριο μέσω αναερόβιας χώνευσης ή ζύμωσης, η διαδικασία είναι διαφορετική. Φθάνοντας η ακατέργαστη βιομάζα στον σταθμό, τοποθετείται σε ταινιόδρομο όπου αλέθεται και οδηγείται μέσω αγωγών σε ψηλές κυλινδρικές δεξαμενές ζύμωσης (fermentation tanks - Fermenter) ή δεξαμενές χώνευσης (digestion tank - Digester). Σε επόμενο βήμα στις δεξαμενές, η πολτοποιημένη βιομάζα θερμαίνεται σε θερμοκρασίες από 35°C – 55°C και αναμιγνύεται συνεχώς για ένα διάστημα 15 – 30 ημερών. Στην συνέχεια, αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, το αέριο καθαρίζεται από ενώσεις του θείου (αποθείωση) και με αγωγούς είτε τοποθετείται σε σφαιρικές δεξαμενές αποθήκευσης είτε παρέχεται απευθείας σε μηχανές (αεριοστροβίλους – ατμοστροβίλους).



Εικόνα 24: Διαδικασία Αναερόβιας Ζύμωσης σε ΑΗΣ, πηγή [www.renewenergy.dk](http://www.renewenergy.dk)

### 5.3 Έλεγχος και Ρύθμιση Διεργασιών στον ΑΗΣ.

Ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής και συμπαραγωγής θερμικής - ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτεί συνεχή παρακολούθηση της όλης διαδικασίας παρέχοντας μια συγκεντρωτική εικόνα (monitoring) όλων των ανεξάρτητων μονάδων αλλά και των πιο σύνθετων ρυθμίσεων. Αν και υπάρχουν ακόμα αναλογικά συστήματα σε ορισμένες παλιούς σταθμούς, οι περισσότεροι νέοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζουν Κατανεμημένα Συστήματα Ελέγχου (Distributed Control System - DCS) και Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου (Advance Process Control – APC). Το DCS δεν αποτελεί απλό κομμάτι του μηχανολογικού εξοπλισμού του σταθμού, αλλά τον συνοδεύει, τον παρακολουθεί και ενίοτε τον ρυθμίζει με χειρισμούς μέσα από ένα πλέγμα υπολογιστών, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του σταθμού στο σύνολό της. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι να διασφαλίσουν βασικές λειτουργίες ρύθμισης και ελέγχου σε πρώτο επίπεδο καθώς και να εξασφαλίσουν μια σειρά λειτουργιών του σταθμού όπως:

- Σταθερή παροχή ατμού, νερού, βιοκαυσίμου,
- Έλεγχο της θερμοκρασίας, της πίεσης και της ροής στις μηχανές, στο λέβητα και στις σωληνώσεις,
- Συλλογή δεδομένων με σκοπό να προνοηθούν και να αντιμετωπιστούν πιθανά μελλοντικά σφάλματα ή αστοχίες εξοπλισμού,
- Έλεγχος εξαρτημάτων με στόχο την πιθανή συντήρηση ή αντικατάστασή τους,
- Ενημέρωση των χειριστών για την πρόοδο της παραγωγικής διαδικασίας,
- Βελτιστοποίηση της παραγωγής με αποδοτική χρήση ενέργειας,
- Ακρίβεια στις μετρήσεις και τις ρυθμίσεις.

Το σύστημα ελέγχου DCS αποτελείται από αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας, βάνες ροής υγρών και αέριων (ατμός, νερό, βιοκαύσιμο κ.α.), μετρητές τάσεις, ρεύματος, στάθμης δεξαμενών, ταχύτητας περιστροφής μηχανών, χημικών ενώσεων,



όπως επίσης και μικροεπεξεργαστές οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με δίκτυο ταχείας επικοινωνίας (data bus). Τα αισθητήρια συστήματα και οι μετρητές που έχουν συνδεθεί στον εξοπλισμό, ενώνονται μέσω των μικροεπεξεργαστών σε έναν ρυθμιστή (Programmable Logic Controller - PLC) και στην συνέχεια καταλήγουν στην μονάδα ελέγχου – Control Room. Ένας ρυθμιστής στο DCS ελέγχει μέσω ενός αισθητηρίου εισόδου PV (Process Variable), ενός αισθητηρίου εξόδου MV (Manipulated Variable) και μιας καθορισμένης τιμής SV (Set Point Variable), κατά πόσο διαφέρουν οι τιμές των PV, MV από την SV ώστε να γίνει η κατάλληλη ρύθμιση αν και όταν απαιτείται.

Το δεύτερο επίπεδο ρύθμισης αναλαμβάνουν τα προηγμένα συστήματα ελέγχου APC. Τα APC συλλέγουν μεταβλητές από το DCS από πολλούς controllers και εφόσον εντοπίσουν κάποια βλάβη, επεμβαίνουν άμεσα αναλαμβάνοντας διορθωτικές δράσεις ώστε να μην μεταβληθούν λειτουργίες διεργασιών. Πρόκειται για ένα σύστημα πρακτικά αυτόνομο καθώς η παρέμβασή του από χειριστές του Control Room είναι σπάνια και συνήθως για λόγους συντήρησης. Εκτός από την ρύθμιση και τον συνεχή έλεγχο της λειτουργίας όλης της διαδικασίας από την άφιξη της βιομάζας στον σταθμό μέχρι και την προσφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, τα DCS και APC υπάρχουν και χρειάζονται για λόγους ασφάλειας και προστασίας του σταθμού σε περίπτωση βλάβης.

Οι βλάβες στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα εντοπίζονται κυρίως:

- Στην παράδοση, αποθήκευση και χειρισμό του βιοκαυσίμου ή της ακατέργαστης βιομάζας.
- Στην λειτουργία του λέβητα και στην καύση του βιοκαυσίμου στον αντιδραστήρα.
- Στους στροβίλους και τις γεννήτριες – H/Z.
- Στο σύστημα ψύξης.
- Διαρροές στην μονάδα αποθείωσης ή εκπομπές τοξικών ουσιών όπως μονοξειδίου του άνθρακα.

Ο γρήγορος εντοπισμός και η αναγνώριση της βλάβης, μπορεί να αποδειχθεί σωτήριο για τον σταθμό και το προσωπικό. Οι βλάβες περιλαμβάνουν διαρροές υγρών και αερίων, υπερχειλίση δεξαμενών, πλημμύρα, φωτιά εξαιτίας εσφαλμένης λειτουργίας μηχανολογικού εξοπλισμού και άλλα. Αν το πρόβλημα μπορεί να περιοριστεί άμεσα μέσω του τμήματος συντήρησης και της πυροσβεστικής αφού ενημερωθεί από τους χειριστές του Control Room, τότε συνεχίζει μετά την αποκατάσταση της βλάβης η λειτουργία του σταθμού. Εντούτοις, αν δεν μπορεί να περιοριστεί και να απομονωθεί το πρόβλημα, τότε εφαρμόζεται μια λύση έκτακτης ανάγκης με την διακοπή της εκάστοτε μονάδας που παρουσίασε την βλάβη ή ακόμα και ολόκληρου του σταθμού. Ο σταθμός παραγωγής ενέργειας έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να κλείνει μια μονάδα (Process Shutdown System – PSD) ή ακόμα και ολόκληρο τον σταθμό (Emergency Shutdown System – ESD) σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Η μέθοδος περιορισμού βλάβης με σκοπό την απομόνωση του εξαρτήματος ή της μονάδας όπου υπάρχει πρόβλημα και την προσωρινή αντικατάσταση από εφεδρική μονάδα ή εξάρτημα για να συνεχιστεί η ομαλή λειτουργία, γίνεται από ειδικούς ρυθμιστές PLC που ονομάζονται PLC – Fail safe. Τα συστήματα PSD και Fail safe βρίσκονται στην μονάδα ελέγχου και μπορούν να μπουν σε λειτουργία αν κριθεί απαραίτητο, μέσω αυτοματισμών ή



χειροκίνητα από τον μηχανικό βάρδιας, ενώ το σύστημα ESD εφαρμόζεται μόνο με χειροκίνητη διαδικασία από τον χειριστή ύστερα από συνεννόηση με τον υπεύθυνο της μονάδας ή του σταθμού. Μια άλλη αιτία ύπαρξης αυτών των συστημάτων είναι η συντήρηση μίας μονάδας. Με την απομόνωση της μονάδας, μία εφεδρική ή μικρότερη μονάδα ίδιας λειτουργίας, τίθεται σε λειτουργία έως ότου ολοκληρωθούν οι διαδικασίες συντήρησης ή αντικατάστασης ακόμα και ολόκληρης της μονάδας από μία καινούργια. Η λειτουργία του σταθμού δεν επηρεάζεται και όλες οι διαδικασίες συνεχίζονται κανονικά.

## 5.4 Αξιοποίηση της βιομάζας σε ΑΗΣ – Συμπαγωγή.

Η αξιοποίηση του βιοκαυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ποικίλει ανάλογα με το είδος του βιοκαυσίμου που έχει σκοπό να χρησιμοποιήσει ο σταθμός παραγωγής ενέργειας και κατά συνέπεια με τον τρόπο που έχει σχεδιαστεί. Τα εργοστάσια τα οποία μπορούν να χειριστούν βιοκαύσιμα σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ευρείας κατανάλωσης, είναι τα θερμοηλεκτρικά και συγκεκριμένα οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί, αμοστροβίλων – αεριοστροβίλων και οι σταθμοί συνδυασμένου κύκλου. Η διαδικασία περιλαμβάνει τρία στάδια:

- Χρήση του βιοκαυσίμου για την παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- Μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική.
- Εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυνατότητα μεγάλης εφαρμογής είναι:

- Με συνκαύση στερεού βιοκαυσίμου κυρίως δασικής ή φυτικής προέλευσης (λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα), σε καυστήρα για την παραγωγή θερμικής ενέργειας σε λέβητα στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς με ανάμειξη με λιγνίτη.
  - Με αεριοποίηση βιομάζας σε αντιδραστήρες και εκμετάλλευση του αερίου καυσίμου σε αεριοστροβίλους ή μηχανές εσωτερικής καύσης.

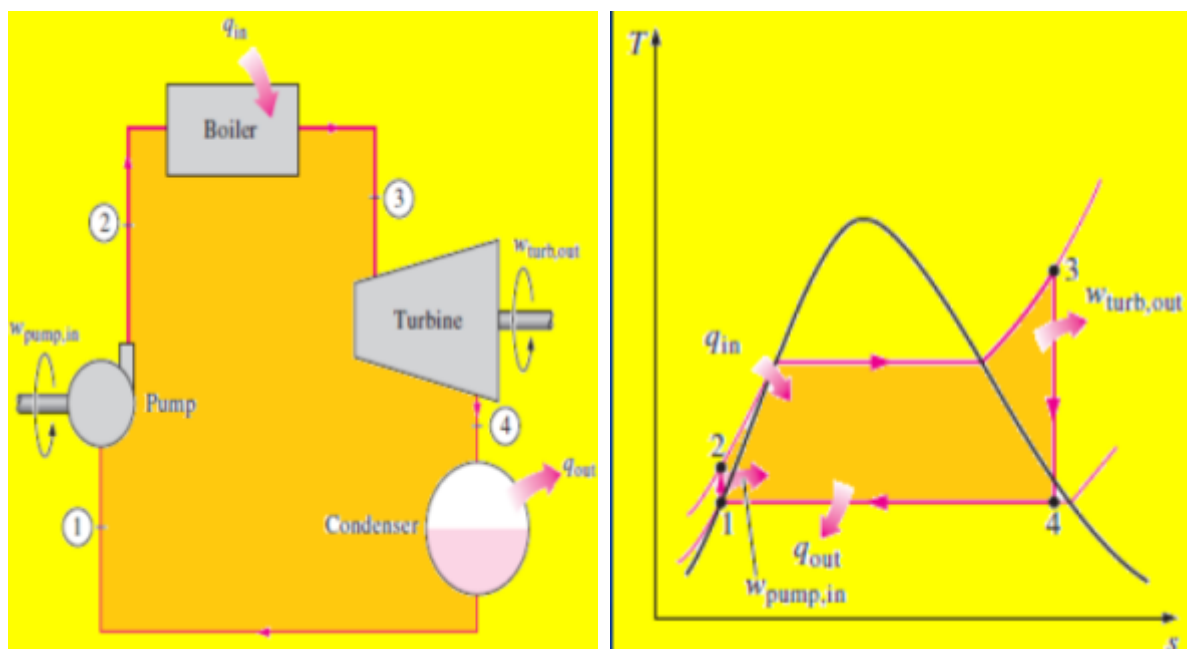
Η συν – καύση μπορεί να λάβει χώρα ως διεργασία κατά τους βασικούς κύκλους παραγωγής ισχύος που εφαρμόζονται για την ηλεκτροπαραγωγή αφού το καύσιμο ως πρώτη ύλη είναι που μεταβάλλει τη σύστασή του και μόνο. Έτσι στη συνέχεια επιγραμματικά και μόνο αναφέρονται οι βασικοί κύκλοι παραγωγής ισχύος.

### 5.4.1 Κύκλος ατμού (Steam Rankine Cycle)

Σε έναν ιδανικό κύκλο Rankine, το νερό σε χαμηλή πίεση και θερμοκρασία γύρω στους 25°C μεταφέρεται με μια αντλία τροφοδοσίας (Feed Water Pump) στην πίεση λειτουργίας του λέβητα (Boiler). Στη συνέχεια το υπό πίεση διφασικό μείγμα νερού – ατμού εισέρχεται στον λέβητα, θερμαίνεται αρχικά μέχρι τη θερμοκρασία ατμοποίησης σε συνθήκες σταθερής πίεσης (ισοβαρής) και εξέρχεται ως υπέρθερμος ατμός με θερμοκρασία έως 600°C που εξαρτάται από την λειτουργία του σταθμού. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται στον αμοστρόβιλο (Turbine) μέσα στον οποίο εκτονώνεται ισεντροπικά ώστε να περιστρέψει τον ρότορα που συνδέεται με μια



γεννήτρια (Electric Generator). Στο στάδιο αυτό η πίεση και η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού μειώνονται, με αποτέλεσμα να εξέρχεται από τον στρόβιλο υγρός ατμός. Ο υγρός ατμός μεταφέρεται στο συμπυκνωτή (Condenser) ο οποίος είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας και υπό σταθερή πίεση συμπυκνώνεται σε κορεσμένο υγρό επιστρέφοντας στην αντλία τροφοδοσίας ως θερμό νερό για να ξεκινήσει ένας νέος κύκλος. Η περίσσεια θερμότητα του υγρού ατμού αποβάλλεται μέσω του συστήματος ψύξης του συμπυκνωτή στον πύργο ψύξης (cooling tower), όπου ένα μέρος του νερού αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα, το υπόλοιπο ψύχεται και επιστρέφει μέσω μιας αντλίας πίσω στον συμπυκνωτή ώστε να βοηθήσει εκ νέου στην συμπύκνωση. Οι διεργασίες μεταφοράς θερμότητας στον λέβητα και τον συμπυκνωτή, γίνονται υπό σταθερή πίεση (ισοβαρής μεταβολή) ενώ η παραγωγή ισχύος από τον στρόβιλο και η κατανάλωση ισχύος στην αντλία, γίνονται υπό σταθερή εντροπία (ισεντροπική μεταβολή) ιδανικά.



Εικόνα 25: Ιδανικός κύκλος Rankine

Αξίζει να αναφερθεί ότι, σε ένα σύγχρονο ατμοηλεκτρικό σταθμό μεγάλης κλίμακας με λιγνίτη ο θερμικός βαθμός απόδοσης μπορεί να φτάσει και πάνω από 50% με τη χρήση υλικών με υψηλότερα όρια ανοχής που επιτρέπουν την υπερθέρμανση του υδρατμού σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και την αύξηση της πίεσης λειτουργίας του λέβητα. Επίσης αξιοποιώντας τη θερμότητα του θερμού νερού ο βαθμός απόδοσης μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω σε εγκαταστάσεις συμπαραγωγής (θέρμανση).

#### 5.4.2 Οργανικός Κύκλος ατμού (Organic Rankine Cycle - ORC).

Ο οργανικός κύκλος Rankine έχει παρόμοια λειτουργία με τον κύκλο ατμού Rankine, με την διαφορά ότι δεν χρησιμοποιείται νερό ως μέσο λειτουργίας. Σε αυτό τον κύκλο αντί για νερό χρησιμοποιείται κάποιο οργανικό υλικό όπως OMTS (Octamethyltrisiloxane), ψυκτικό R-245fa, κυκλοπεντάνιο, έλαια σιλικόνης, τολουόλιο. Το οργανικό υλικό που χρησιμοποιείται σε σταθμούς παραγωγής και συμπαραγωγής



ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα σε εύρος 300 kW – 2 MW ηλεκτρικής ισχύος, είναι τα έλαια σιλικόνης. Τα οργανικά υλικά σε αντίθεση με το νερό, έχουν υψηλότερη μοριακή μάζα και χαμηλότερη θερμοκρασία εξάτμισης.

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικές ιδιότητες υλικών σε κύκλο ORC. (Βενέτος 2015)

Υλικό	$T_{crit}$ (°C)	$p_{crit}$ (bar)	Boiling Point (°C)	$E_{evapor}$ (kJ/kg)
Ατμός	373,9	220,6	100	2257,5
Τολουόλιο	318,7	41,1	110,7	365
R245fa	154,1	36,4	14,8	195,6
Κυκλοπεντάνιο	238,6	45,1	49,4	391,7
OMTS	291	13,2	152,7	153

Ο οργανικός κύκλος του Rankine μπορεί να λειτουργεί με πηγές θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, που χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως μέτρια πίεση ατμοποίησης και εξακολουθεί να επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις από τον κύκλο ατμού. Ωστόσο, η θερμότητα εξάτμισης των οργανικών υγρών είναι περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτή του νερού/ατμού, πράγμα που αντιστοιχεί σε υψηλότερες ροές μάζας, με αποτέλεσμα την χρήση μεγαλύτερων αντλιών τροφοδοσίας με αρνητικό αντίκτυπο στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Σε περιπτώσεις όπου η καύση βιομάζας παράγει θερμότητα με θερμοκρασία μικρότερη των 300°C, ο θερμικός βαθμός απόδοσης σε σχέση με τον κύκλο ατμού είναι μεγαλύτερος και για αυτό προτιμάται και εφαρμόζεται σε μικρής και μεσαίας κλίμακας σταθμούς (< 2 MW). Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 400°C μέχρι αυτή την στιγμή, ο κύκλος ατμού Rankine είναι πιο αποδοτικός και χρησιμοποιείται ευρέως σε μεγάλες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες καθώς σε μεγάλες θερμοκρασίες ο θερμικός βαθμός απόδοσης ενός συστήματος με ORC είναι μικρότερος (12 – 17%).

Ο οργανικός κύκλος Rankine χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα συμπαραγωγής θερμικής – ηλεκτρικής ενέργειας μικρής και μεσαίας κλίμακας από 500 kW – 2 MW ηλεκτρικής και 2 MW – 4 MW θερμικής ενέργειας αντιστοίχως. Ο συμβατικός κύκλος ατμού Rankine σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με βιομάζα, εμφανίζει προβλήματα οικονομικής φύσης κυρίως σε θέματα συντήρησης και λειτουργίας και μειωμένης απόδοσης της εγκατάστασης, σε μονάδες μικρότερες των 2 MW. Επιπλέον, ο ORC είναι πιο απλός στην εγκατάσταση και στον χειρισμό από ένα αντίστοιχο σύστημα με ατμό και επιπλέον μπορεί να λειτουργεί ακόμη και με βιοκαύσιμα χαμηλής θερμογόνου δύναμης για την παραγωγή ενέργειας. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 6% – 17% και σχετίζεται άμεσα με τη μέγιστη θερμότητα που μπορεί να ανακτηθεί και τη θερμική απόδοση του λέβητα. Αυτοί είναι οι λόγοι που μονάδες μικρότερης ισχύος προτιμούν να λειτουργούν με τον οργανικό κύκλο Rankine.

Στο πρώτο διεθνές συνέδριο πάνω σε συστήματα ORC παρουσιάστηκαν αποτελέσματα - χαρακτηριστικά λειτουργίας του κύκλου τα οποία δίνονται στον πίνακα:

Πίνακας 5.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας κύκλου ORC. (Βενέτος)



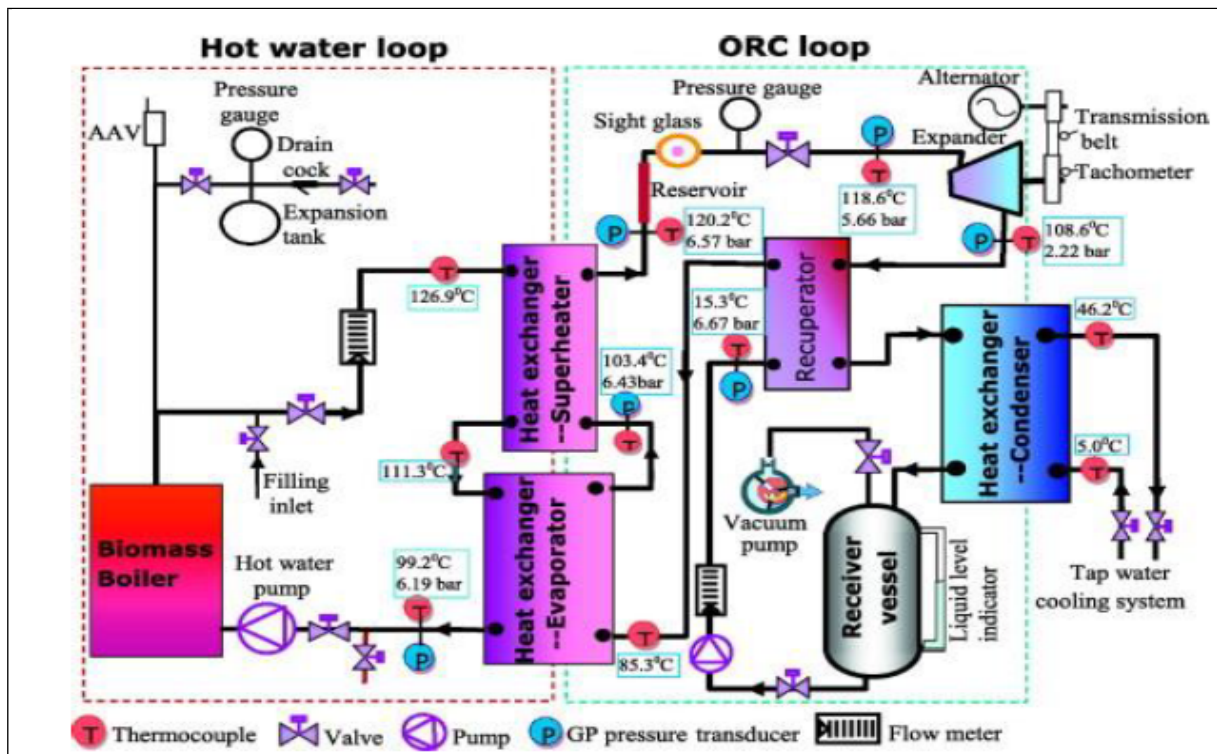
$P_{evap}$ (bar)	14		17		6		12		18	
$\eta_i$ turbine (%)	70	80	70	80	70	80	70	80	70	74
$T_{sup}$ (°C)	234	234	248	248	219	267	272	330	305	329
$P_{th, reco}$ (kW <sub>th</sub> )	2479	2540	2388	2452	2737	2715	2386	2357	2134	2121
$P_{gen, bto}$ (kW <sub>e</sub> )	506	574	509	578	440	509	442	509	426	450
$\eta_{cycle, bto}$ (%)	20,4	22,6	21,3	23,6	16,1	18,7	18,5	21,6	19,9	21,2
$P_{gen, nto}$ (kW <sub>e</sub> )	488	556	487	556	439	508	441	508	424	449
$\eta_{cycle, nto}$ (%)	19,7	21,9	20,4	22,7	16	18,7	18,5	21,5	19,9	21,2

### 5.4.3 Δυαδικός κύκλος παραγωγής ισχύος.

Η παραγωγή ισχύος με δυαδικό κύκλο, συνδυάζει δύο κύκλους ισχύος με σκοπό να ξεπεραστούν κάποιες δυσκολίες που εμφανίζει ο κύκλος του υδρατμού (steam). Στον συνδυασμένο αυτόν κύκλο, ο συμπυκνωτής του κύκλου των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργεί ως βραστήρας του κύκλου των χαμηλών θερμοκρασιών.

Εξετάζονται δύο δυαδικοί κύκλοι παραγωγής ισχύος με εφαρμογές σε συστήματα συμπαραγωγής μικρής και μεσαίας κλίμακας. Στην πρώτη περίπτωση έχουν έναν συνδυασμένο κύκλο νερού και οργανικού κύκλου του Rankine για συμπαραγωγή της τάξης των 1 – 10 kW ηλεκτρικής και 8 – 44 kW θερμικής παραγόμενης ενέργειας, με ηλεκτρική απόδοση έως 20% και θερμική απόδοση έως 80% για μία μονάδα εγκατεστημένης ισχύος 200kW. Είναι ένας κύκλος ισχύος που συνδυάζει τον κύκλο ατμού και τον οργανικό κύκλο Rankine. Το σύστημα αποτελείται από αντλίες νερού και οργανικού υλικού, λέβητα βιομάζας, εξατμιστή (Evaporator), συμπυκνωτή και στρόβιλο. Η θερμότητα από την καύση βιομάζας θερμαίνει το νερό στον λέβητα βιομάζας. Ταυτόχρονα η αντλία οργανικού υλικού τροφοδοτεί το υγρό στον εξατμιστή και το ζεστό νερό ενεργεί ως πηγή θερμότητας για την θέρμανση του οργανικού κύκλου Rankine. Εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, το οργανικό υγρό μετατρέπεται σε ατμό και οδηγείται στον στρόβιλο υπό πίεση, όπου παράγει ηλεκτρικό ρεύμα μέσω της γεννήτριας που είναι συνδεδεμένος. Μετά τον στρόβιλο, ο ατμός οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται σε κορεσμένο υγρό και αντλείται ξανά για να ξεκινήσει ένας νέος κύκλος. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και στοχεύει σε εφαρμογές οικιακής χρήσης, με σκοπό την εκμετάλλευση βιομάζας για μιας μικρής κλίμακας μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή απόδοση.

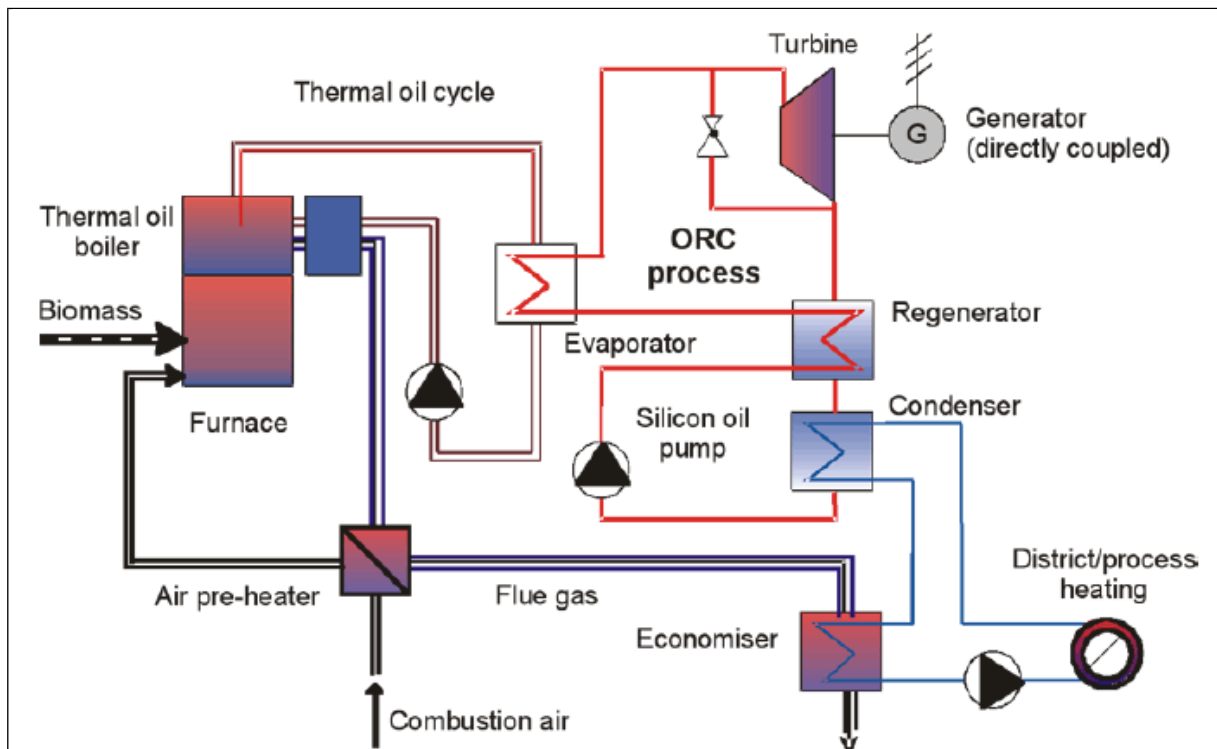




Εικόνα 26: Διαδικός κύκλος παραγωγής ισχύος με κύκλο ατμού και ORC.

Στην δεύτερη περίπτωση έχουμε μια τεχνολογία που ήδη εφαρμόζεται σε σταθμούς συμπαραγωγής θερμότητας - ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ισχύος γίνεται με συνδυασμό ενός κύκλου λαδιού και ενός κύκλου οργανικού υλικού Rankine. Η διαδικασία όπως και πριν έχει σαν στόχο την μεταφορά θερμότητας από τον εξατμιστή του κύκλου των υψηλών θερμοκρασιών του λαδιού στον κύκλο των χαμηλών θερμοκρασιών του οργανικού υλικού. Περιλαμβάνει έναν καυστήρα βιομάζας, έναν λέβητα λαδιού, αντλίες λαδιού και οργανικού υλικού, εξατμιστή, διαστολέα, αναγεννητή, συμπυκνωτή και ένα σύστημα ψύξης, καθαρισμού και αξιοποίησης των καυσαερίων.

Η στερεή βιομάζα καίγεται στον καυστήρα και θερμαίνει μέσω του λέβητα ελαίου, το έλαιο. Το θερμό έλαιο λειτουργεί ως μέσο θέρμανσης μέσω του εξατμιστή για να θερμάνει το οργανικό υλικό σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης. Το υπό πίεση οργανικό υγρό εργασίας εξατμίζεται και ελαφρώς υπερθερμαίνεται στον εξατμιστή με την ενέργεια που παρέχεται από τον κύκλο θερμικού ελαίου ενώ στην συνέχεια μεταφέρεται στον στρόβιλο. Ο ατμός τροφοδοτεί τον αξονικό στρόβιλο ο οποίος συνδέεται με μία ασύγχρονη γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην συνέχεια, οδηγείται στον αναγεννητή προτού εισέλθει στον συμπυκνωτή και κατόπιν στην αντλία τροφοδοσίας για να επαναληφθεί ακόμα ένας κύκλος ORC.



Εικόνα 27: Οργανικός κύκλος Rankine με έλαιο σιλικόνης [74]

Στον σταθμό Συμπαγωγής από βιομάζα που φαίνεται στην Εικ.21 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φθάνει το 1MW ενώ η παραγωγή θερμικής ενέργειας 4.6 MW. ([www.bios-bioenergy.at](http://www.bios-bioenergy.at))

#### 5.4.4 Ανοικτός Κύκλος Brayton.

Είναι ο ιδανικός κύκλος ισχύος για μηχανές εσωτερικής καύσης με απευθείας χρήση βιοκαυσίμου. Η διαδικασία παραγωγής ισχύος γίνεται με την ύπαρξη ενός συμπιεστή, ενός στρόβιλου και ενός θαλάμου καύσης, ενώ μπορεί να προστεθεί και μία συσκευή αναγέννησης στις περιπτώσεις στις οποίες η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από το στρόβιλο είναι ψηλότερη από τη θερμοκρασία εξόδου του συμπιεστή για αύξηση της θερμικής απόδοσης. Η διαδικασία παραγωγής ισχύος με εφαρμογή της διαδικασίας αναγέννησης ακολουθεί τέσσερα στάδια.

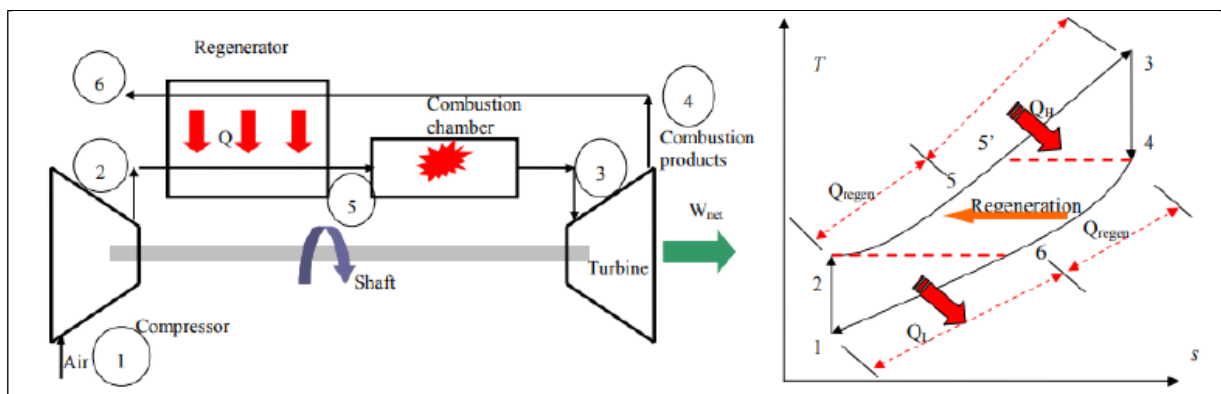
- Ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στον συμπιεστή και συμπιέζεται αδιαβατικά σε μια υψηλότερη πίεση και θερμοκρασία. Στον θάλαμο καύσης καίγεται το βιοκαύσιμο (βιοαέριο, syngas, βιοαιθανόλη, LFG) υπό σταθερή πίεση, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του υψηλής πίεσης αερίου που εισέρχεται στο θάλαμο από τον συμπιεστή. Το βιοκαύσιμο πρέπει να φιλτραρισθεί προσεκτικά από σωματίδια καθώς μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στον αεριοστρόβιλο.
- Στην συνέχεια, το υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης αέριο οδηγείται στον αεριοστρόβιλο όπου εκτονώνεται αδιαβατικά και παράγει μηχανικό έργο στον



στρόβιλο ο οποίος συνδέεται με μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα καυσαέρια από τον στρόβιλο, αν δεν υπάρχει σύστημα αναγέννησης, αφού φιλτραριστούν εξέρχονται στην ατμόσφαιρα, ενώ στην περίπτωση χρήσης αναγεννητήρα γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων για την επιπλέον θέρμανση του αέρα πριν εισέλθει στον θάλαμο καύσης.

Η χρήση του ανοικτού κύκλου Brayton με αναγέννηση σε αεριοστρόβιλους, έχει βαθμό θερμικής απόδοσης από 20 - 45% ανάλογα με το σύστημα και το μοντέλο του αεριοστρόβιλου που χρησιμοποιείται. Ο βαθμός θερμικής απόδοσης εξαρτάται από το λόγο της ελάχιστης προς τη μέγιστη θερμοκρασία και από το λόγο των πιέσεων, ενώ στον ιδανικό κύκλο ορίζεται από την σχέση,

$$\eta_{th,regen} = 1 - \left(\frac{T_1}{T_3}\right) (\Gamma_p)^{(k-1)k}$$



Εικόνα 28: Ανοικτός Κύκλος Brayton με Αναγέννηση [74]

- Όπου,  $k$ : Ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων ( $c_p/c_v$ ),  
 $T_1, T_3$ : Η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα και η θερμοκρασία του αερίου μετά την έξοδο από το θάλαμο καύσης αντίστοιχα,  
 $\Gamma_p$ : Ο λόγος των πιέσεων ( $P_2/P_1 = P_3/P_4$ ).

Οι αεριοστρόβιλοι που λειτουργούν με ανοικτό κύκλο Brayton σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, εμφανίζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μπορούν να συνδυαστούν με μονάδες παραγωγής ατμού σε συνδυασμένο κύκλο για καλύτερη εκμετάλλευση ενέργειας και υψηλότερο θερμικό βαθμό απόδοσης.
- Έχουν γρήγορη εκκίνηση που δεν ξεπερνά τα δύο λεπτά, σε αντίθεση με ένα σύστημα με κύκλο ατμού Rankine που χρειάζεται έως και τέσσερις ώρες.

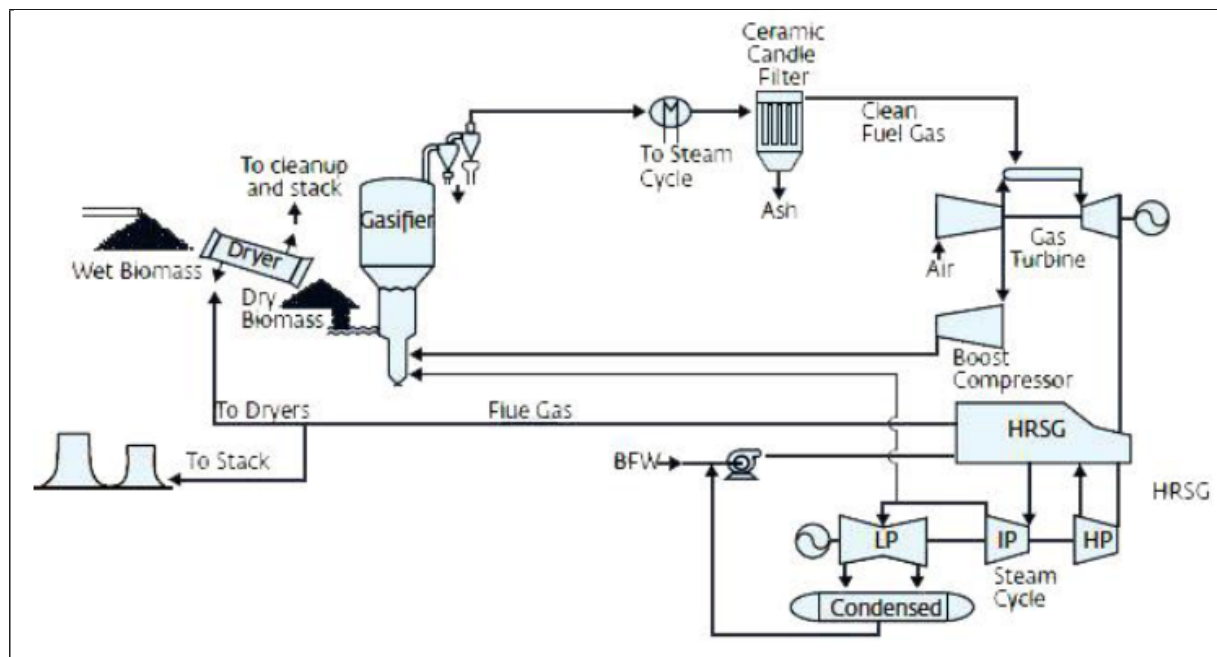


- Είναι αξιόπιστοι, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι σχετικά οικονομικοί.
- Έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογής σε μονάδες από 500 kWel έως 350 MWel. Ωστόσο, εξαιτίας της ανταγωνιστικότητας με τα άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας, πιο αποδοτική είναι η χρήση τους κυρίως σε μονάδες από 5 – 10 MWel [74].

#### 5.4.5 Συνδυασμένος Κύκλος Αερίου – Ατμού.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκει ο συνδυασμός ενός κύκλου ατμού Rankine και ενός κύκλου Brayton με σκοπό την καλύτερη εκμετάλλευση ενέργειας και την βελτίωση του θερμικού βαθμού απόδοσης. Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και συμπαραγωγής με φυσικό αέριο και λιγνίτη με επιτυχία, ωστόσο δεν έχει εφαρμοστεί ακόμα σε κάποιο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα αλλά βρίσκεται σε προχωρημένα στάδια μελέτης. Οι μελέτες στηρίζονται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle – BIGCC) με χρήση αντιδραστήρα αεριοποίησης βιομάζας.

Ο συνδυασμένος αυτός κύκλος εκμεταλλεύεται το αέριο καύσιμο (syngas, biogas) και τον ατμό που παράγεται από την αεριοποίηση βιομάζας. Ο ατμός μεταφέρεται σε έναν κύκλο ατμού Rankine ενώ το αέριο τροφοδοτεί ένα κύκλο Brayton με σκοπό την κίνηση ενός αεριοστρόβιλου. Στην συνέχεια, αφού το αέριο εξέλθει από τον στρόβιλο, μεταφέρεται σε μία γεννήτρια ανάκτησης θερμότητας (HSRG).



Εικόνα 29: Σχηματική αναπαράσταση σταθμού ηλεκτροπαραγωγής μεγάλης κλίμακας (>30MWe) με εφαρμογή τεχνολογίας BIGCC [74].

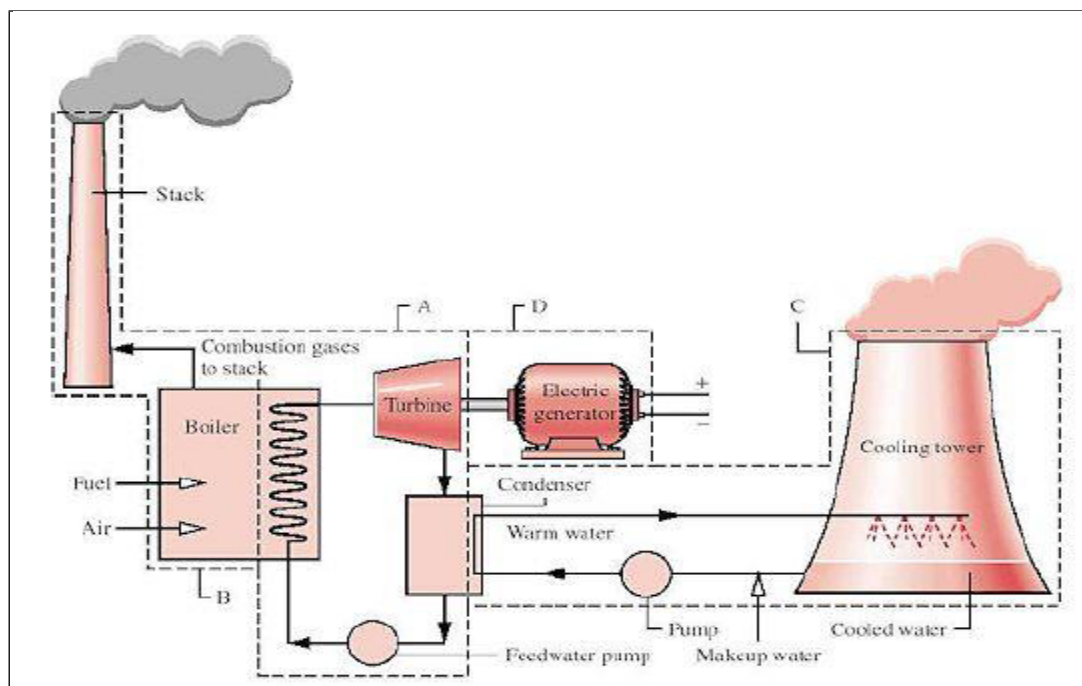


Κύριος στόχος της είναι η μεταφορά θερμότητας στο κύκλο ατμού ώστε να μετατραπεί σε υπέρθερμο ατμό και να τροφοδοτήσει έναν ατμοστρόβιλο συνδεδεμένο με μία γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική ενεργειακή απόδοση του BIGCC είναι 40% χωρίς χρήση συστήματος δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, η τεχνολογία αυτή λόγω της πολυπλοκότητας, της υψηλής ζήτησης βοηθητικής ισχύος στην διαδικασία αεριοποίησης και της υψηλής επένδυσης που απαιτείται στην μονάδα, την καθιστά κατάλληλη για μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις.

## 5.5 Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Βιομάζας.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βιομάζα μπορούν να χωριστούν, σε μικρής κλίμακας με εγκατεστημένη ισχύ κάτω από 100 kW, μεσαίας κλίμακας με εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 20 MW, μεγάλης κλίμακας με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 20 MW, και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με συνκαύση άνθρακα και βιομάζα με εγκατεστημένη ισχύ γύρω στα 100 MW.

Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΗΣ) που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ως καύσιμο βιομάζα, είναι κυρίως μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας με εγκατεστημένη ισχύ από 5 – 20 MW, ενώ το κόστος επένδυσης για τέτοιους σταθμούς κυμαίνεται από 3000 €/kW έως 5000 €/kW. Η βιομάζα που χρησιμοποιείται είναι κυρίως δασικής ή αγροτικής προέλευσης σε μορφή πέλλετ ή μπρικετών. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του σταθμού είναι περίπου 25%, ενώ για ΑΗΣ ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μπορεί να φτάσει έως και 90%.



Εικόνα 30: Ατμοηλεκτρικός Σταθμός κατά κύκλο Rankine. (www.tankonyvtar.hu) [74]



Λειτουργικά ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός βιομάζας είναι ίδιος με έναν συμβατικό ατμοηλεκτρικό σταθμό με λιγνίτη ή φυσικό αέριο, ωστόσο εντοπίζονται ορισμένες διαφορές, τις οποίες θα αναλύσουμε παρακάτω, τόσο στο κατασκευαστικό κομμάτι όσο και στην απόδοση.

## 6. Συμπεράσματα - Ανασκόπηση.

Συνολικά, η καθαρή ηλεκτρική απόδοση μιας μονάδας σύνκαυσης λιγνίτη / βιομάζας κυμαίνεται συνήθως από 35-44% (ETSAP, 2010b, IEA 2012), ανάλογα με την τεχνολογία, το μέγεθος και τη συγκεκριμένη βιομάζα ως πρώτη ύλη. Η άμεση ταυτόχρονη καύση έχει ως αποτέλεσμα ελαφρώς υψηλότερες αποδόσεις (δηλαδή περίπου 2% βαθμούς) από την έμμεση και παράλληλη ταυτόχρονη πυροδότηση λόγω των απωλειών μετατροπής στους αεριοποιητές και τους λέβητες βιομάζας (ECN 2012a). Η συνολική αποτελεσματικότητα της άμεσης από κοινού καύσης μειώνεται με υψηλότερα ποσοστά βιομάζας λόγω ρύπανσης και σκωρίας, σχετιζόμενης διάβρωσης, ειδικά σε λέβητες με κονιοποίηση άνθρακα ή σχάρα (IEA Bioenergy Task 32, 2009b, IRENA 2012).

Η συνολική αποτελεσματικότητα της άμεσης συμπαραγωγής σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με λιγνίτη με λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης, είναι λιγότερο ευαίσθητη σε υψηλότερα επίπεδα βιομάζας, αν και τα υψηλά επίπεδα απαιτούν πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου του λέβητα και του καυσίμου. Επιπλέον, οι λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης μπορούν να χειριστούν τη βιομάζα με μεγαλύτερα μεγέθη σωματιδίων (<72mm αντί <6mm) και υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία (10-50% αντί για <25%) από ό,τι οι λέβητες κονιορτοποίησης (IRENA 2012).

Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, η από κοινού πυροδότηση σε σύγχρονες, μεγάλες και υψηλής ισχύος μονάδες παραγωγής άνθρακα οδηγεί σε απόδοση μετατροπής βιομάζας που είναι σημαντικά υψηλότερη από ό,τι μπορεί να επιτευχθεί σε μικρές (<10 MW) και μεσαίας κλίμακας (10-50MW) αποκλειστικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας με αποδοτικότητα 14-18% και 18-33%, αντίστοιχα (Baxter, 2005, IPCC, 2011, IEA 2012).

Εκτός από την υψηλότερη αποδοτικότητα, οι οικονομίες κλίμακας μεγάλων σταθμών παραγωγής ενέργειας, θα οδηγήσουν επίσης σε μειωμένο κόστος για την παρεχόμενη ενέργεια ανά μονάδα χρησιμοποιούμενου καυσίμου βιομάζας. Η ταυτόχρονη καύση βιομάζας αποτελεί συγκριτικά χαμηλό κόστος για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) καθώς η καύση της βιομάζας θεωρείται ουδέτερη ως προς τον λιγνίτη (δηλαδή το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται στη διαδικασία αποσύρεται από την ατμόσφαιρα με φωτοσύνθεση κατά την ανάπτυξη του εργοστασίου), οι μονάδες καύσης ηλεκτροπαραγωγής απελευθερώνουν λιγότερες καθαρές εκπομπές GHG από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Το κόστος των αποκλεισμένων εκπομπών είναι σχετικά χαμηλό, διότι το αυξητικό κόστος επένδυσης για εξοπλισμό ή κατασκευή νέων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με καύση είναι μέτριο σε σύγκριση με άλλες επιλογές για τη μείωση των εκπομπών



παραγωγής ενέργειας. Εάν συνδυαστεί με τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS), η από κοινού καύση βιομάζας οδηγεί σε αρνητικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (δηλαδή καθαρή απομάκρυνση CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα), που αναφέρεται επίσης ως «δέσμευση βιογόνου άνθρακα».

Υποθέτοντας ένα μέσο επίπεδο εκπομπών CO<sub>2</sub> 95 kg / GJ και ανάπτυξη της αγοράς σύμφωνα με τον IEA «Σενάριο νέων πολιτικών» (IEA World Energy Outlook, IEA 2011), εκτιμάται ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> το 2035 θα μπορούσαν να μειωθούν μεταξύ 45-450 εκατομμυρίων τόνων ετησίως εάν το 1-10% της εισροής καυσίμου άνθρακα αντικατασταθεί από βιομάζα. Αυτή η εκτίμηση προϋποθέτει ότι οι ανοδικές εκπομπές εφοδιασμού με βιομάζα είναι αμελητέες, αν και η αλυσίδα εφοδιασμού περιλαμβάνει επίσης εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Ενώ η από κοινού χρήση βιομάζας μπορεί να μειώσει τις καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στα εργοστάσια με λιγνίτη, άλλες ρυπογόνες εκπομπές αξίζουν μια συγκεκριμένη αξιολόγηση. Η ταυτόχρονη καύση μειώνει συνήθως το διοξείδιο του θείου, το οποίο οδηγεί σε όξινη βροχή και άλλες επιβλαβείς εκπομπές σε σύγκριση με τον άνθρακα, αλλά η έκταση αυτών των μειώσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκεκριμένη πρώτη ύλη βιομάζας, την τεχνολογία και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων (Al-Mansour και Zuwala, 2010).

Για παράδειγμα, η χρήση επεξεργασμένων απορριμμάτων ξύλου ως καυσίμου (π.χ. από έπιπλα ή κατεδαφίσεις) μπορεί να απαιτεί φιλτράρισμα τοξικών αερίων, απολύμανση τέφρας ή ειδικό σχέδιο για τα συστήματα καύσης να αντιμετωπίζουν χημικές ουσίες που περιέχονται σε επιστρώσεις ξύλου, κόλλες ή συντηρητικά. Η μείωση των εκπομπών σωματιδίων βιομάζας μπορεί να απαιτήσει προσοχή εάν συμβεί ταυτόχρονη καύση σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής μικρότερης κλίμακας με φίλτρα σωματιδίων χαμηλής ποιότητας και χωρίς αποθείωση, η οποία συνήθως παγιδεύει λεπτά σωματίδια σε μια παράλληλη διαδικασία.

Η ταυτόχρονη καύση βιομάζας με λιγνίτη, αποτελείται από την καύση βιομάζας και άνθρακα, στην ίδια μονάδα παραγωγής ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συμπαραγωγή βιομάζας σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με λιγνίτη, πραγματοποιείται με ανάμιξη βιομάζας με λιγνίτη πριν από την καύση, αλλά η βιομάζα μπορεί επίσης να αεριοποιηθεί και να καεί σε ξεχωριστούς καυστήρες, μετά την οποία το αέριο καύσιμο ή ατμός αναμιγνύεται με τις ροές λέβητα του λιγνίτη - μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ( ).

Το πλεονέκτημα της ταυτόχρονης καύσης βιομάζας με λιγνίτη, είναι ότι μειώνει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) από ενέργεια και επιτρέπει την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα με την υψηλή απόδοση που επιτυγχάνεται σε σύγχρονες μονάδες παραγωγής ενέργειας με λιγνίτη μεγάλου μεγέθους, πολύ υψηλότερη από την αποδοτικότητα των 100% μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.

Η συνολική ενεργειακή απόδοση μπορεί να αυξηθεί ακόμη περισσότερο εάν πραγματοποιηθεί συναποκαθορισμός βιομάζας σε συνδυασμένες μονάδες θερμότητας και ισχύος (CHP). Το άλλο πλεονέκτημα της συγχώνευσης βιομάζας με λιγνίτη, είναι ότι η σταδιακή επένδυση για την καύση βιομάζας σε εγκαταστάσεις με



καύση λιγνίτη, είναι σημαντικά χαμηλότερη από το κόστος της ειδικής ισχύος της βιομάζας. Προς το παρόν, τα έργα συμπαραγωγής σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση με λιγνίτη, υπερβαίνουν τη χωρητικότητα βιομάζας αποκλειστικών μονάδων βιομάζας.

Το κόστος της απόκτησης και μεταφοράς βιομάζας, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική σκοπιμότητα της από κοινού καύσης βιομάζας με λιγνίτη. Το κόστος απόκτησης εξαρτάται από τον πιθανό ανταγωνισμό με άλλες χρήσεις ενέργειας από βιομάζα (π.χ. βιοκαύσιμα) ή μη ενεργειακές εφαρμογές. Απαιτείται σταθερή και φθηνή ροή βιομάζας για τη διατήρηση ενός έργου από κοινού καύσης βιομάζας. Η πρώτη ύλη βιομάζας μπορεί να προέρχεται από υπολείμματα ή απόβλητα από βιομηχανίες δασοκομίας, γεωργίας, χαρτοπολτού και χαρτιού και ζάχαρης ή από ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. βραχείας περιστροφής).

Η τοπική διαθεσιμότητα μεγάλων ποσοτήτων φθηνής βιομάζας καθιστά τη βιομάζα ταυτόχρονα πιο ελκυστική. Εάν οι τοπικές πηγές είναι ανεπαρκείς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, προ-κατεργασμένη βιομάζα (π.χ. σφαιρίδια ξύλου). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μεταφορά μεγάλων αποστάσεων και η εφοδιαστική διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομική βιωσιμότητα. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η χρήση ροών αποβλήτων από τη γεωργία και τη δασοκομία μπορεί επίσης να δημιουργήσει πρόσθετη αξία και ευκαιρίες απασχόλησης συμβάλλοντας παράλληλα στην αγροτική ανάπτυξη.

Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη που παρέχουν τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και θερμότητα σε δίκτυα τηλεθέρμανσης (π.χ. στη βόρεια Ευρώπη) ή ακόμη και βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να αυξήσουν σημαντικά την αποδοτικότητα και τα οικονομικά της από κοινού καύσης βιομάζας. Απαιτούνται κατάλληλες πολιτικές για να επιτευχθεί η αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου πόρου βιομάζας ενθαρρύνοντας τη χρήση συμπαραγωγής σε σχέση με τις CHP όπου είναι κατάλληλη.

Οι πολιτικές θα πρέπει επίσης να λαμβάνουν υπόψη τα οφέλη από τη χρήση γεωργικών καταλοίπων ή αποβλήτων κατεδάφισης, τα οποία διαφορετικά θα αποτελούσαν πρόκληση διάθεσης. Η από κοινού καύση βιομάζας με λιγνίτη έχει τεράστιες δυνατότητες μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> καθώς η βιομάζα μπορεί να αντικαταστήσει μεταξύ 20-50% του άνθρακα. Ωστόσο, η καθαρή μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων ρύπων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προέλευση και την αλυσίδα εφοδιασμού πρώτων υλών βιομάζας.

Επιπλέον, ένα υψηλό ποσοστό συμπαραγωγής βιομάζας με λιγνίτη, μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα και την παραγωγή ισχύος. Ωστόσο, η αντικατάσταση μόνο του 10% του άνθρακα στην τρέχουσα εγκατεστημένη ηλεκτρική ικανότητα με καύση άνθρακα θα είχε ως αποτέλεσμα περίπου 150 GW χωρητικότητα βιομάζας, η οποία είναι 2,5 φορές υψηλότερη από την τρέχουσα παγκοσμίως εγκατεστημένη ισχύς βιομάζας. Η από κοινού καύση βιομάζας με λιγνίτη, μπορεί να θεωρηθεί ως εναλλακτική λύση προς έναν εντελώς ενεργειακό τομέα. Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, εκτός από τις Ηνωμένες Πολιτείες, έχουν ήδη κίνητρα πολιτικής ή έχουν υποχρεωτικούς κανονισμούς για να





αυξήσουν το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας ( ).

Αυτό υποστηρίζει τη χρήση της συγχώνευσης βιομάζας και, ως αποτέλεσμα, τα περισσότερα έργα από κοινού βιομάζας πραγματοποιούνται σε αυτές τις χώρες. Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (CDM) αναγνωρίζει τη συμπαραγωγή βιομάζας ως έναν τρόπο μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ωστόσο, για να αξιοποιηθεί το δυναμικό συμπαραγωγής χωρίς δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, απαιτούνται επείγοντα μέτρα και προετοιμασία τεχνολογίας σε αναδυόμενες οικονομίες (π.χ. Ινδία και Κίνα), όπου η χωρητικότητα ισχύος με άνθρακα αυξάνεται ταχύτατα και διατίθενται μεγάλες πηγές βιομάζας. Οι δείκτες που αναπτύχθηκαν από διεθνείς οργανισμούς για τη μέτρηση της βιωσιμότητας της βιοενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της προστασίας του εδάφους και των υδάτινων πόρων, της βιοποικιλότητας, της κατανομής γης και της διάρκειας και των τιμών των τροφίμων) πρέπει να ενσωματωθούν στα σχετικά μέτρα πολιτικής.

Η καθαρή ηλεκτρική απόδοση μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής λιγνίτη / βιομάζας από συνκαύση, κυμαίνεται από 36-44%, ανάλογα με την τεχνολογία των εγκαταστάσεων, το μέγεθος, την ποιότητα και το μερίδιο της βιομάζας. Ενώ ένα 20% συνκαύσης (ως ενεργειακό περιεχόμενο) είναι προς το παρόν εφικτό και περισσότερο από 50% είναι τεχνικά εφικτό, το συνηθισμένο μερίδιο βιομάζας σήμερα είναι κάτω από 5% και σπάνια υπερβαίνει το 10% σε συνεχή βάση.

Ένα υψηλό μερίδιο βιομάζας σημαίνει χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Εκτιμάται ότι το 1-10% της συμπαραγωγής βιομάζας σε εργοστάσια παραγωγής με λιγνίτη, θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από 45 εκατομμύρια σε 450 εκατομμύρια τόνους ετησίως έως το 2035, εάν δεν περιλαμβάνονται ανάντι εκπομπές βιομάζας.

Ωστόσο, τα υψηλά μερίδια βιομάζας περιλαμβάνουν τεχνικά ζητήματα, όπως η εξασφάλιση επαρκούς βιομάζας, καθώς και πιθανά προβλήματα καύσης, όπως σκωρίαση, ρύπανση (που μειώνει τη μεταφορά θερμότητας) και διάβρωση. Το συνολικό κόστος της συμπαραγωγής είναι ευαίσθητο στην τοποθεσία της εγκατάστασης και το βασικό στοιχείο κόστους είναι η πρώτη ύλη βιομάζας. Το κόστος επένδυσης για την ανακατασκευή ενός εργοστασίου παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα για συμπαραγωγή κυμαίνεται μεταξύ 430-500 USD / kW για μονάδες τροφοδοσίας, 760-900 USD / kW για ξεχωριστές μονάδες τροφοδοσίας και 3.000-4.000 USD / kW για έμμεση συνκαύση.

Αυτά τα κόστη εξακολουθούν να είναι σημαντικά χαμηλότερα από το κόστος των 100% μονάδων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Το κόστος καυσίμου βιομάζας εξαρτάται από τον τύπο της βιομάζας, τον όγκο που ανταλλάσσεται και τη γεωγραφική θέση. Το κόστος για σφαιρίδια βιομάζας που διακινούνται παγκοσμίως είναι περίπου 12 € / MW υψηλότερο από το κόστος του άνθρακα. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία κόστους και υποθέτοντας ένα προεξοφλητικό επιτόκιο 7%, ένα τυπικό ισοπεδωμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τη συναυλία βιομάζας κυμαίνεται από 22-130 USD / MWh, με το πραγματικό κόστος να εξαρτάται από παραδοχές σχετικά με την τοποθεσία, τον



τύπο της βιομάζας, τη συνεπάρκεια παράγοντες της τεχνολογίας και της παραγωγικής ικανότητας. Βιωσιμότητα, δυναμικό και εμπόδια.

Η αντικατάσταση του 10% της παγκόσμιας χωρητικότητας με λιγνίτη με από κοινού καύση, θα είχε ως αποτέλεσμα περίπου 150 GW χωρητικότητα βιομάζας. Συγκριτικά, η σημερινή δυναμικότητα ταυτόχρονης καύσης εκτιμάται μεταξύ 1-10 GW (η μεταβλητότητα συνδέεται με το πραγματικό μερίδιο βιομάζας σε μονάδες συνεγκατάστασης) και η συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα βιομάζας ανήλθε σε περίπου 62 GW το 2010.

Επομένως, υπάρχει μεγάλο δυναμικό συμπαραγωγής, αλλά μια σημαντική αύξηση θα δημιουργούσε προβλήματα σχετικά με τη διαθεσιμότητα της βιομάζας, η οποία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοϋλικών. Ενώ οι εκτιμήσεις των πόρων βιομάζας ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό, οι ρεαλιστικές εκτιμήσεις θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη μόνο τη βιώσιμη βιομάζα - δηλαδή, πόρους που δεν ανταγωνίζονται την παραγωγή τροφίμων ούτε περιλαμβάνουν αλλαγές στη χρήση γης με αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα και το περιβάλλον.

Σε αυτή τη βάση, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) εκτιμά ένα παγκόσμιο δυναμικό βιώσιμης ενεργειακής βιομάζας 100-300 EJ ετησίως, κυρίως με βάση τα υπολείμματα γεωργίας και δασοκομίας και τη λιγνο-κυτταρο-ζωική πρώτη ύλη. Η ενεργειακή χρήση της βιομάζας μπορεί να προσθέσει αξία στους δασικούς και γεωργικούς τομείς των αναπτυσσόμενων και των αναδυόμενων χωρών. Τα προηγούμενα χρόνια, η παραγωγή και η εμπορία βιομάζας από τη Λατινική Αμερική, την Αφρική και την Ασία αυξήθηκαν σημαντικά (δηλαδή 75 PJ το 2009), αν και η μεταφορά μεγάλων αποστάσεων μειώνει το όφελος από τη χρήση βιομάζας. Επιπλέον, απαιτείται διεθνής συνεργασία για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα της παραγωγής βιομάζας.

Η παγκόσμια εταιρική σχέση βιοενέργειας (GBEP) και άλλοι οι οργανισμοί βρίσκονται στη διαδικασία οριστικοποίησης δεικτών, καθώς και διαδικασιών πιστοποίησης, για να διασφαλίσουν τη βιωσιμότητα της παραγωγής βιομάζας. Η από κοινού καύση βιομάζας με βάση υπολείμματα και απόβλητα έχει αναγνωριστεί από τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) ως τεχνολογία για τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, έτσι ώστε οι χώρες να μπορούν να πωλούν πιστώσεις άνθρακα που σχετίζονται με τα έργα τους.

Άλλες πολιτικές για την υποστήριξη της από κοινού καύσης περιλαμβάνουν συστήματα εμπορίας εκπομπών CO<sub>2</sub> (π.χ. το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε. ή Ε.Υ. ETS), την κατάργηση των επιδοτήσεων ορυκτών καυσίμων, τα κίνητρα για τη μετατροπή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος συμπαραγωγής και την υποχρεωτική ποσόστωση συμπαραγωγής σχέδια. Ισχύουν πολιτικές υποστήριξης σε χώρες της ΕΕ (δηλαδή Αυστρία, Δανία, Φινλανδία, Κάτω Χώρες, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο) και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι αναδυόμενες οικονομίες με μεγάλες παραγωγές γεωργικών αποβλήτων και ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τον άνθρακα (π.χ. Κίνα και Ινδία) είναι επίσης σε καλή θέση για την υλοποίηση της από κοινού καύσης.



Λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες τιμές για τον λιγνίτη και τη βιομάζα, η από κοινού καύση είναι γενικά πιο ακριβή από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση μόνο τον άνθρακα ή τις μονάδες CHP. Η ανταγωνιστικότητα της από κοινού καύσης βιομάζας με λιγνίτη, μπορεί να βελτιωθεί μέσω μέτρων που καθιστούν την ενέργεια με βάση τον άνθρακα ακριβότερη, ιδίως την τιμολόγηση του άνθρακα μέσω συστημάτων ανώτατων ορίων εκπομπών και φορολογίας άνθρακα.

Με βάση τις τρέχουσες τιμές του λιγνίτη, το αυξητικό κόστος της από κοινού καύσης δεν μπορεί να ανακτηθεί πλήρως με την πώληση αδειών εκπομπών, αλλά το νέο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU ETS) το 2013 είναι πιθανό να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα και τη χρήση σβόλων στην Ευρώπη ως οι μεγάλοι ρυπαντές (π.χ. ιδιοκτήτες εργοστασίων άνθρακα) υπόκεινται σε πλειστηριασμό των δικαιωμάτων εκπομπής CO<sub>2</sub> (Fritsche 2011, VITO et al. 2011).

Άλλα μέτρα για την αύξηση της κερδοφορίας της συμπαραγωγής βιομάζας με λιγνίτη, περιλαμβάνουν την κατάργηση συγκεκριμένων επιδοτήσεων ορυκτών καυσίμων, κίνητρα για τη μετατροπή σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες CHP, κρατική υποστήριξη σε υποδομές εφοδιασμού με βιομάζα και ειδική χρηματοδότηση E&A για συμπαραγωγή. Οι κυβερνήσεις μπορούν επίσης να καθιερώσουν την υποχρεωτική χρήση της από κοινού βιομάζας από συστήματα υποχρεώσεων ποσοστώσεων

Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει υποχρεωτικό μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τα κράτη μέλη που θα επιτευχθεί έως το 2022 (RED, οδηγία 2009/28 / ΕΚ). Για την εκπλήρωση αυτής της υποχρέωσης, οι χώρες μέλη της ΕΕ μπορούν να υιοθετήσουν μια σειρά πολιτικών. Στη Δανία, για παράδειγμα, υπάρχει ένα σύστημα που μοιάζει με ποσοστώσεις για να ενθαρρύνει τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να χρησιμοποιούν βιομάζα, η πλειοψηφία από άχυρο και τα υπόλοιπα από ξυλώδη πρώτη ύλη (FORCE Technology, 2009). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η συμπαραγωγή βιομάζας με λιγνίτη συμβάλλει στην επίτευξη υποχρεωτικών ποσοστώσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με στόχο 2012-2013 1,04 εκατομμύρια πιστοποιητικά ανανεώσιμων υποχρεώσεων, που ισοδυναμούν με 1,04 TWh (DECC, 2011).

Στις Κάτω Χώρες, η πολιτική μετακινείται από μια σταθερή κυβερνητική υποστήριξη σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας με παραγγελία 60-70 ευρώ / MWh σε υποχρεωτική υποχρέωση προμηθευτή που θα εισαχθεί έως το 2015. Στη Γερμανία, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ζητήσει υποστήριξη πολιτικής μέσω της γερμανικής ανανεώσιμης ενέργειας Δράστε το (EEG) για την επέκταση των δραστηριοτήτων συμπαιγνίας (DENA, 2011), δεδομένου ότι η από κοινού απόλυση δεν είναι επί του παρόντος ανταγωνιστική.

Άλλες αναδυόμενες οικονομίες που παράγουν μεγάλες ποσότητες γεωργικών υπολειμμάτων και βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγή άνθρακα (π.χ. Ινδία) είναι επίσης σε καλή θέση για να εφαρμόσουν συμπαραγωγή. Οι πολιτικές θα πρέπει να επιδιώκουν την πιο αποτελεσματική χρήση του δεδομένου δυναμικού βιομάζας, ενθαρρύνοντας την από κοινού πυροδότηση σε εγκαταστάσεις CHP όπου υπάρχουν συστήματα τηλεθέρμανσης (π.χ. στη βόρεια Ευρώπη) και σε σχέση με βιομηχανικές εγκαταστάσεις.



Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τα οφέλη από την καύση απορριμμάτων, τα οποία διαφορετικά θα αποτελούσαν πρόκληση διάθεσης. Τα τεχνικά εμπόδια στην από κοινού καύση με λιγνίτη, περιλαμβάνουν την τοπική διαθεσιμότητα μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας ποιότητας, καθώς και το κόστος συλλογής, χειρισμού, προετοιμασίας και μεταφοράς, σε σύγκριση με το σχετικά χαμηλό κόστος του άνθρακα. Από τεχνική άποψη, ο κίνδυνος σκωρίας, ρύπανσης, διάβρωσης και διάβρωσης που σχετίζεται με τη χρήση βιομάζας μπορεί να αντιμετωπιστεί με την επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών από κοινού καύσης, και πρώτη ύλη. Για παράδειγμα, τα περισσότερα ζητήματα άμεσης απόλυσης προκύπτουν όταν δεν υπάρχει ειδική υποδομή και το μερίδιο βιομάζας είναι πολύ υψηλό και / ή κακής ποιότητας (Maciejewska et al., 2006).



## Βιβλιογραφία

- [1] Baxter L. Biomass–coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy. *Fuel* 2005; 84: 1295–302.
- [2] Aitken DW. Transitioning to a renewable energy future. In: *Proceedings of the international solar energy society*; 2010.
- [3] Khan AA, de Jong W., Jansens P.J, Spliethoff, H. Biomass combustion in fluidized bed boilers: potential problems and remedies. *Fuel Process Technol.* 2009; 90: 21–50.
- [4] Kopetz, H. Biomass—a burning issue: policies needed to spark the biomass heating market. *Refocus* 2007; 8:52–8.
- [5] Demirbas A. Sustainable co - firing of biomass with coal. *Energy Convers Manag* 2003; 44:1465–79.
- [6] Saidur R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S., Mekhilef, S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renew.Sustain.EnergyRev.* 2011; 15: 2262–89.
- [7] Tillman D, Duong DNB, Harding NS. *Solid fuel blending*. UK/Waltham, MA: Elsevier; 2012.
- [8] Tumuluru, J., Sokhansanj, S, Wright, C.T, Boardman, R.D., Yancey, N.A., A review on biomass classification and composition, co-firing issues and pretreatment methods. In: *Proceedings of the ASABE annual international meeting*. Louisville, (Kentucky); 2011.
- [9] Van Loo S., Koppejan, J., *The handbook of biomass combustion and co-firing*. London: Earthscan; 2008.
- [10] IEA-ETSAP, IRENA. Biomass co-firing. Available at: ([http://www.irena.org/Document Downloads / Publications / IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E21%, 20Biomass%20Co-firing.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E21%,%20Biomass%20Co-firing.pdf)): The International Renewable Energy Agency (IRENA); 2013.
- [11] Himes R, Brown, R., Sanchez, J., *Gas co-firing evaluation on a tangential PC-fired boiler*. Palo Alto, California: Electric power research institute; 2000.
- [12] Dusatko G., *Gas co-firing assessment for coal fired utility boilers*. Palo Alto, California: Electric Power Research Institute; 2000.
- [13] Baxter, L., Biomass co-firing overview. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> world conference and exhibition on biomass for energy, industry and climate protection*: Rome, Italy; 2004.
- [14] Moghtaderi B., Sheng, C., Wall, T.F., An overview of the Australian biomass resources and the utilization technologies. *Bioresources* 2006; 1(1):93–115.
- [15] Maciejewska, A., Veringa, H., Sanders, J., Peteves, S.D. Co-firing of biomass with coal: constraints and role of biomass pre-treatment. *Institute for Energy*; 2006.
- [16] Al-Mansour, F., Zuwala, J., An evaluation of biomass co-firing in Europe. *Biomass Bio energy* 2010; 34:620–9.
- [17] Sullivan, K., Meijer, R., Co-firing biomass with coal: balancing US carbon objectives, energy demand and electricity affordability. *DNVKEMA, Inc.*; 2009.
- [18] Canadian, clean power coalition. Biomass co-firing: a final phase III report. In: *proceedings of the advancing technology for cleaner coal*. Canadian clean power coalition; 2011.
- [19] Basu P., Butler, J., Leon, M.A., Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants. *Renew. Energy* 2011; 36:282–8.
- [20] Tillman, D.A. Biomass co-firing: the technology, the experience, the combustion consequences. *Biomass Bioenergy* 2000; 19: 365–84.



- [21] Badour, C., Allan Gilbert, Charles Xu, Hanning Li, Yuanyuan Shao, Guy Tourigny, Fernando Preto, Combustion and air emissions from co-firing a wood biomass, a Canadian peat and a Canadian lignite coal in a bubbling fluidized bed combustor. *Can J. Chem Eng*2012;90: 1170–7.
- [22] Rodrigues,M., Walter,A., Faaij,A., Co-firing of natural gas and Biomass gas in biomass integrated gasification/combined cycles systems. *Energy* 2003;28:1115–31.
- [23] Kumar,A., Cameron,J. ,Flynn,P., Pipeline transport of biomass. *Appl Biochem Biotechnol* 2004; 113:27–39.
- [24] Nieminen,M., Karki,J., Status of Co-firing Technology within Europe – Indirect co-firing technologies. European Biomass Association (Aebiom); 2007.
- [25] Granatstein, D.L., Case study on LahdenLampovoima gasification project, Kymijarvi Power Station, Lahti, Finland. IEA Bioenergy Agreement—Task36; 2002.
- [26] Jiang,D., Dong,C., Yang,R., Zhang,J., Yang, Y., Modeling the gasification based biomass co-firing in a 600MW pulverized coal boiler. In: Proceedings of the international conference on sustainable power generation and supply SUPER- GEN '09 Nanjing,(China);2009.
- [27] Thompson,A., Fuels of opportunity: characteristics and uses in combustion systems. (Fuel.). In: David,A., Tillman,N., editors. Stanley Harding, 85. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Ltd.; 2004.p.574
- [28] Malmgren, A., Riley, G., 5.04-Biomass Power Generation. In: Sayigh A., editor. *Comprehensive renewable energy*. Oxford: Elsevier;2012, p.27–53.
- [29] Uslu, A., Van Stralen J., Use of sustainable biomass to produce electricity, heat and transport fuels in EU27. Biomass futures: energy research centre of the Netherlands; 2012.
- [30] Leckner, B. Co-combustion: a summary of technology. *ThermSci*2007; 11: 5–40.
- [31] Dai, J., Sokhansanj,S., Grace, J.R., Bi X, Lim, C.J, Melin, S., Overview and some issues related to co-firing biomass and coal. *Can J. ChemEng*2008; 86:367–86.
- [32] Tillman, D.A., Stahl, R.W., Wood co-firing experience in cyclone boilers. Sacramento, (CA): Foster wheeler environmental corporation; 2006.
- [33] Ottmar, E., Ramón, P.M., Youba,S., Renewable energy sources and climate change mitigation. NewYork: Intergovernmental panel on climate change; 2012; 116–332.
- [34] Ortiz, D.S., Curtright, A.E., Samaras, C., Litovitz,A., Burger, N., Near-term opportunities for integrating biomass into the US electricity supply. Santa Monica, California: The RAND Corporation; 2011.
- [35] Zulfiqar M., Moghtaderi,B., Wall, T.F., Flow properties of biomass and coal blends. *Fuel Process Technol.* 2006; 87:281–8.
- [36] Parry M., Canziani,O.F., Palutikof, J.P., vanderLinden, P.J., Hanson, C.E., Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the 4<sup>th</sup> assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2007.
- [37] Jenkins, B.M., Baxter,L.L., Miles, Jr.,TR, Miles, T.R., Combustion properties of biomass. *Fuel Process Technol.* 1998; 54:17–46.
- [38] Mola-Yudego, B., Aronsson,P.,Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass Bioenergy* 2008; 32:829–37.
- [39] Scarlat N., Dallemand,J.-F., Skjelhaugen, O.J., Asplund,D., Nesheim,L. An overview of the biomass resource potential of Norway for bioenergy use. *Renew.Sustain Energy Rev*2011; 15:3388–98.



- [40] Cremers, M.F.G., Technical status of biomass co-firing. IEA, Bioenergy Task32: KEMA Nederland B.V.;2009.
- [41] Tillman, D., Duong, D., Fuel selection for co-firing biomass in pulverized coal and cyclone-fired boilers. In: Proceedings of the 34<sup>th</sup> international technical conference on clean coal and fuel systems. Clearwater, (Florida) ; 2009.
- [42] Miller, B.G., Tillman, D.A., Coal characteristics. In: Miller B.G., Tillman, D.A., editors. Combustion engineering issues for solid fuel systems. Burlington: Academic press; 2008.p.33–81 (Chapter2).
- [43] Bain, R.L., Amos, W.P., Downing, M., Perlack, R.L., Biopower technical assessment: state of the industry and the technology. Golden, CO: National renewable energy Laboratory (NREL);2003.
- [44] Badour, C, Gilbert, A., Xu, C., Li, H., Shao, Y., Tourigny, G., et al. Combustion and air emissions from co-firing a wood biomass, a Canadian peat and a Canadian lignite coal in a bubbling fluidized bed combustor. Can J Chem Eng 2012;90:1170–7.
- [45] Haykiri-Acma, H., Yaman, S., Combinations of synergistic interactions and additive behavior during the co-oxidation of chars from lignite and biomass. Fuel Process. Technol. 2008; 89: 176–82.
- [46] De Jong, W., DiNola, G., Venneker, B.C.H., Spliethoff, H., Wójtowicz, M.A., TG-FTIR pyrolysis of coal and secondary biomass fuels: determination of pyrolysis kinetic parameters for main species and NO<sub>x</sub> precursors. Fuel 2007; 86:2367–76.
- [47] Li J, Yang W, Blasiak W, Ponzio A. Volumetric combustion of biomass for CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> reduction in coal-fired boilers. Fuel 2012;102:624–33.
- [48] Rural industries research and development corporation. Facilitating the adoption of biomass co-firing for power generation. Australian government, rural industries research and development corporation; 2011.
- [49] Nuamah, A., Malmgren, A., Riley, G., Lester, E., 5.05–Biomass Co-Firing. In: Sayigh A, editor. Comprehensive renewable energy. Oxford: Elsevier; 2012.p.55–73.
- [51] Oka, S.N., Fluidized bed combustion. New York: Marcel Dekker Inc.;2004.
- [52] Brouwer, J., Owens, W.D., Harding, N.S., Heap, M. P. and Pershing, D.W., Co firing waste biofuels and coal for emissions reduction.
- [53] Pedersen, L.S., Nielsen, H.P., Kiil, S., Hansen, L.A., Dam-Johansen, K., Kildsig, F., et al. Full-scale co-firing of straw and coal. Fuel 1996;75:1584–90.
- [54] Tambe, S.S., Yerrapragada, S.S., Guari, K.L., Kinetics of SO<sub>2</sub>-dolomite reaction: application of random pore model. J. Mater. Civ. Eng 1994;1994:65–77.
- [55] Nussbaumer, T., Combustion and Co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction. Energy Fuels 2003; 2003:1510–21.
- [56] Leckner, B., Karlsson, M., Gaseous emissions from combustion of wood. Biomass Bioenergy 1993; 1993:379–89.
- [57] Tietenberg, T., Environmental and natural resource economics. 5th ed.. Reading, MA: Addison Wesley Longman; 2000.
- [58] Kiel, J., Prospects of torrefaction to optimize bioenergy value chains. The energy delta convention. Groningen: The Netherlands: energy research centre of the Netherlands; 2011.
- [59] Bergman, P.C.A., Boersma, A.R., Zwart, R.W.R., and Kiel, J.H.A. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations “BIOCOAL”. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN);2005.



- [60] Uslu, A., Faaij, A.P.C., Bergman, P.C.A., Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation. *Energy* 2008; 33:1206–23.
- [61] Bergman, P.C.A. Combined torrefaction and pelletisation—The TOP process. Energy research centre of the Netherlands (ECN);2005.
- [62] VanderStelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A., Ptasiński, K.J., Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: a review. *BiomassBioenergy* 2011; 35:3748–62.
- [63] Li, J., Brzdekiewicz, A., Yang, W., Blasiak, W., Co-firing based on biomass torrefaction in a pulverized coal boiler with aim of 100% fuel switching. *Appl. Energy* 2012; 99: 344–54.
- [64] Parikka, M., Global biomass fuel resources. *Biomass Bioenergy* 2004; 27:613–20.
- [65] FAO. FAOSTAT-Database 2002. FAO;2002.
- [66] FAO. State of the World's Forests—2001. FAO;2001.
- [67] Koppejan, J., Database of biomass co-firing initiatives. IEA, Bioenergy task32 c2012-2013.
- [68] Ontario. Ontario coal closure launches countdown to green energy. Archived News Release. c2009ed:Ontario; c2009.
- [69] Nova Scotia Canada. Electricity from biomass caplowered. Nova Scotia, Canada ; 2011.
- [70] Nicholls, D., Zerbe, J., Co firing biomass and coal for fossil fuel reduction and other benefits—status of North American facilities in 2010. United States Department of Agriculture; Forest Service Pacific Northwest; 2012.
- [71] Source watch. Coal plant conversion projects. c2010ed:Sourcewatch;c2010.
- [72] International, Energy Agency. Energy Technology Perspectives. Paris, France: The International Energy Agency (IEA) ; 2010.
- [73] International, renewable energy agency. Biomass for power generation. Renewable energy technologies: cost analysis series: The International Renewable Energy Agency (IRENA) ; 2012.
- [74] Βενέτος Β. «Σταθμοί Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Βιομάζα» Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.