

Νέες ενεργειακές τεχνολογίες καύσης στερεών καυσίμων

των
Γ. Μπεργελέ
καθηγητή
Ε. Κακαρά
αναπλ. καθηγητή
Τμ. Μηχ/γων
Μηχ/κών ΕΜΠ

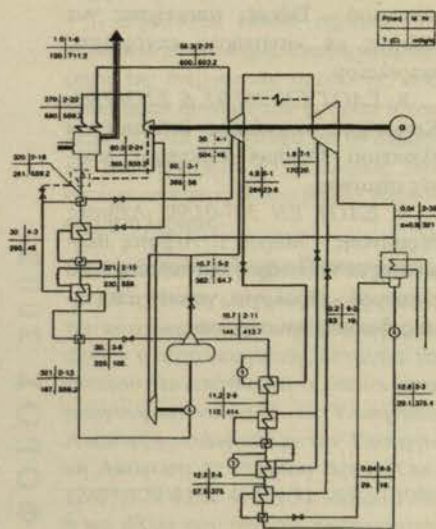
1. Εισαγωγή.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας για τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, στοχεύει στην κατασκευή εγκαταστάσεων με υψηλότερο βαθμό απόδοσης και μειωμένες τιμές εκπεμπόμενων ρύπων, ενώ παράλληλα αποβλέπει σε αυξημένη διαθεσιμότητα και μειωμένο κόστος λειτουργίας. Για την επίτευξη των στόχων αυτών, πραγματοποιείται σημαντική έρευνα όσον αφορά την εξέλιξη και βελτιστοποίηση συμβατικών κυκλωμάτων νερού-ατμού και την αύξηση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του ατμού (θερμοκρασία και πίεση), καθώς επίσης, και την ανάπτυξη συστημάτων συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου-ατμοστροβίλου /1/.

Στην εργασία αυτή γίνεται συγκριτική μελέτη θερμοκών κύκλων με :

- Αποπαραγωγό υπερκρίσιμων πιέσεων σε συμβατικό κύκλωμα,
- Ρευστοποιημένη κλίνη υπό πίεση (PFBC) σε συνδυασμένο κύκλο,
- Αεριοποίηση γαϊάνθρακα σε συνδυασμένο κύκλο (IGCC).

Οι τεχνολογίες αυτές, αποτελούν τις πλέον βιομηχανικά ώριμες επιλογές



Σχήμα 1: Κύκλωμα νερού-ατμού υπερκρίσιμων λέβητα.

Μονάδα	Χώρα	Ισχύς (MWe)	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)	Έτος έναρξης λειτουργίας
Kawagoe	Ιαπωνία	700	310	566/566/566	1989/1990
Matsura 2	Ιαπωνία	1000	255	593/593	1997
Sch. Pump	Γερμανία	800	268	547/565	1997
Stauding 5	Γερμανία	509	262	545/562	1992
Hessler	Γερμανία	700	275	580/600	-
Studstrup 3	Δανία	352	240	540/540	1984
Fynsvaerket 7	Δανία	384	240	540/540	1991
Elsam Konvoi 1+2	Δανία	386	290	582/580/580	1998
Zimmer	Η.Π.Α.	1300	265	543/538	1990
Rockport 2	Η.Π.Α.	1300	265	543/538	1989

Πίνακας 1: Επιλογή υπερκρίσιμων μονάδων σε λειτουργία ή σχεδιασμό.

"καθαρών" τεχνολογιών για την παραγωγή ενέργειας και αναμένεται ότι, θα βρουν ευρεία εφαρμογή την επόμενη δεκαετία. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην εξέταση των κύριων σημείων των τεχνολογιών αυτών, ως προς την δυνατότητα εφαρμογής τους στον Ελληνικό χώρο, λαμβάνοντας υπόψη, τα χαρακτηριστικά των εγχώριων στερεών καυσίμων.

2. Ατμοπαραγωγό υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών ατμού.

2.1 Κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας.

Επίτευγμα της τεχνολογίας αυτής, είναι η αύξηση του βαθμού απόδοσης, μέσω της αύξησης της πίεσης λειτουργίας και των θερμοκρασιών του υπέρθερμου και ανάθερμου ατμού και της αντίστοιχης αύξησης του αποδιδόμενου έργου στον στροβίλο. Οι πρώτοι λέβητες υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών ατμού, κατασκευάστηκαν στην Γερμανία, την Αγγλία και τις Ηνωμένες Πολιτείες κατά τις δεκαετίες του 1950 και 1960.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας παρουσιάζει άμεση εξάρτηση από τα υλικά κατασκευής των τμημάτων του λέβητα. Οι ιδιότητες των υλικών ως προς την θερμική κόπωση, την διαστολή και αντοχή τους στις υψηλές πιέσεις και την θερμική αγωγιμότητά τους, καθορίζουν την δυνατότητα αύξησης των χαρακτηριστικών του ατμού, με αντίστοιχη επίτευξη υψηλής διαθεσιμότητας της μονάδας.

Οι ωστενιτικοί χάλυβες που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν, λόγω της αυξημένης αντοχής σε ερπυσμό, παρουσίασαν προ-

βλήματα κατά την λειτουργία των μονάδων, τα οποία εντάθηκαν λόγω της αυξημένης απαίτησης που παρουσιάστηκε, να λειτουργήσουν οι μονάδες σε μεταβλητό φορτίο αντί του αρχικού σχεδιασμού ως μονάδες βάσης, συναρτήσει και της μεγάλης ισχύος των μονάδων που κατασκευάστηκαν, κυρίως στις ΗΠΑ. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η μείωση του ποσοστού κατασκευής νέων σταθμών υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών και η επιλογή συμβατικών λύσεων, που παρουσίαζαν υψηλότερη διαθεσιμότητα. Αντίθετα, επιτυχής ήταν η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στην Γερμανία, καθώς υιοθετήθηκαν λύσεις που αφορούσαν μικρότερου μεγέθους μονάδες, ενώ δεν δημιουργήθηκαν οι συνθήκες λειτουργίας που προαναφέρθηκαν.

Η εξέλιξη στον υπολογισμό και τη χρήση νέων ωστενιτικών υλικών, η αξιοποίηση της εμπειρίας από την λειτουργία των υφιστάμενων μονάδων και η αύξηση της τιμής της ενέργειας μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, οδήγησε στην επαναξιολόγηση της τεχνολογίας αυτής. Η αρχή της δεκαετίας του 1990, χαρακτηρίζεται από την κατασκευή υπερκρίσιμων μονάδων μεγάλης ισχύος για την περιοχή μέσου φορτίου.

Στον πίνακα 1 αναφέρονται χαρακτηριστικά υπερκρίσιμων μονάδων που λειτουργούν ή πρόκειται να τεθούν σε λειτουργία.

2.2 Κριτικά σημεία - Εξέλιξη της τεχνολογίας.

Οι υπερκρίσιμοι σταθμοί, θέτουν νέες απαιτήσεις στα υλικά και στις ιδιότητές

τους, ιδιαίτερα αυτά που αφορούν τα παρακάτω επιμέρους τμήματα του ατμοπαραγωγού /2/ :

- διαχωριστές,
- σωληνοτόχωμα του ατμοπαραγωγού,
- τελευταίες επιφάνειες συναλλαγής του υπερθερμαντήρα,
- συλλέκτες του Υ/Θ,
- επίσης πρέπει να προστεθεί και η σχεδίαση του δρομέα και των περιυγίων του στροβίλου υψηλής πίεσης, λόγω των υψηλών φορτίσεων του δρομέα και του σωληνοτοχίου κελύφους /3/.

Τα κύρια σημεία εξέλιξης της τεχνολογίας, αφορούν την λειτουργία σε μεταβαλλόμενο φορτίο, την αντιμετώπιση των καταπονήσεων των σωληνοτοχιωμάτων και τα προβλήματα διάβρωσης του υπερθερμαντήρα.

Η θερμοκρασία ατμού περιορίζεται στους 540°C, έτσι ώστε, να ελαχιστοποιηθεί η χρήση ωστενιτικών χυλίων, ιδιαίτερα σε ταμίγια με μεγάλο πάχος. Η χαμηλή θερμοκή αγωγιμότητα και η υψηλή θερμοκή τους διαστολή, περιορίζει την χρησιμότητα αυτών των χυλίων. Η χρησιμοποίηση υψηλής αντοχής φερριτικού χάλυβα P91 για υδροσωλήνες και συλλέκτες ή T91 για ανιούς, θα επιτρέψει λειτουργία με υψηλότερα χαρακτηριστικά ατμού, καλύπτοντας τις απαιτήσεις μεταβολής φορτίου των σύγχρονων λεβητών.

Για την αντιμετώπιση των ισχυρών θερμικών φορτίσεων των σωληνοτοχιωμάτων, έχει προταθεί η χρήση κρεμαστών εναλλακτών (τύπου Schotten), η ανακυκλοφορία καυσαερίου ή μείωση της απορροφούμενης θερμότητας στον οικονομητήρα, καθώς επίσης, προτείνεται και η χρήση νέων υλικών HCM12 και P91.

Τα προβλήματα διάβρωσης στον υπερθερμαντήρα, δύναται να αντιμετωπισθούν, με τη χρήση ωστενιτικών ανοξείδωτων χυλίων (310HCbN, Inconel 671, Inconel 617), που παρουσιάζουν και υψηλή αντοχή ως προς την πίεση.

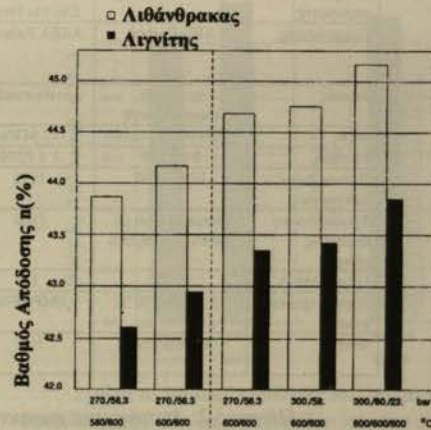
Φερριτικοί χάλυβες με 9-12% περιεκτικότητα σε χρώμιο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του δρομέα του στροβίλου, των βαλβίδων και των σωληνώσεων. Με την υιοθέτηση αυτών και παρόμοιων υλικών, τα χαρακτηριστικά του ατμού μπορούν να ανέλθουν πάνω από 248bar/566°C με μέγιστο 593°C.

Η περαιτέρω ανάπτυξη εξελιγμένων υλικών, είναι η κύρια παράμετρος που θα οδηγήσει στην επίτευξη ακόμα υψηλότερων χαρακτηριστικών. Στόχος έρευνας της κοινοπραξίας Elsam, μαζί με κορυφαίους κατασκευαστές λεβητών και στροβίλων, στα πλαίσια του προγράμματος Thermie B της Ευρωπαϊκής Ένωσης την 'Strategy for the Development of Advanced Pulverised Coal Fired-Plants', είναι ο καθορισμός τεχνολογικών λύσεων για την κατασκευή υπερ-υπερκριτικού λέβητα, με ακόμα υψηλότερα χαρακτηριστικά (θερμοκρασία υπέρθερμου ατμού 700°C και πίεση 37.5 MPa) με καθαρό β.α. 52% (LHV), μέχρι το έτος 2005, ενώ εκτιμάται ότι είναι δυνατή και η περαιτέρω αύξησή του.

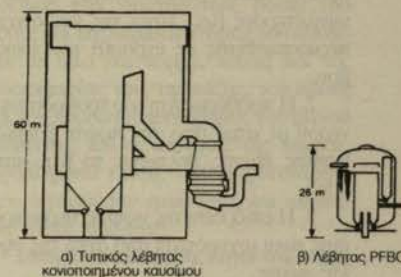
Αξιοποιώντας τις εξελίξεις της μεταλλουργίας και των πιο σύγχρονων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, νέες μονάδες βασισμένες στον υπερκριτικό κύκλο, κατασκευάστηκαν ή σχεδιάζονται. Οι μονάδες μάλιστα αυτές, μπορούν να κατασκευαστούν σε πολύ μεγάλα μεγέθη, όπως η μονάδα Zimmer, η οποία λειτουργεί από το 1990, ισχύος 1300 MW.

2.3 Προσομοίωση θερμικού κυκλώματος υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών ατμού.

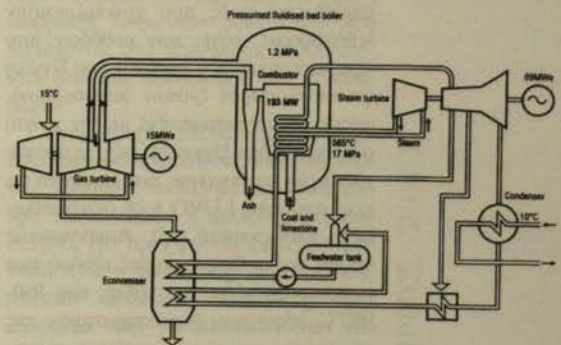
Στα πλαίσια της αξιολόγησης της τεχνολογίας, υπολογίστηκε με το πρόγραμμα ENBIPRO /4/, η περιπτώση ατμοπαραγωγού με υπερκρίσιμες παραμέτρους, στον οποίο εξετάστηκαν διάφορες εναλλακτικές προτάσεις, διαμόρφωσης του θερμικού κυκλώματος. Βασικές παράμετροι του ατμοπαραγωγού, είναι η ισχύς του, η οποία ανέρχεται σε 700 MWe, ενώ διαθέτει υπερθέρμανση και απλή αναθέρμανση ατμού με στοιχεία 270bar/580°C και 56.3 bar/600°C αντιστοίχως. Η πίεση στο συμπυκνωτή, είναι 0.04 bar και η αναγεννητική προθέρμανση χαμηλής και υψηλής πίεσης, προθέρμανε το τροφοδοτικό νερό στους 280°C. Η τροφοδοτική αντλία, βρίσκεται στον ίδιο άξονα με μικρό στρόβιλο, όπου εκκινώνεται ατμός πίεσης 10.7 bar μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή. Δύο δυνατές τροποποιήσεις του συγκεκριμένου κυκλώματος, ερευνώνται: από την μία η δυνατότητα μιας δεύτερης αναθέρμανσης και από την άλλη η προθέρμανση του νερού με ατμό από την πρώτη βαθμίδα υψηλής πίεσης. Για συγκριτικούς λόγους, υπολογίστηκε το ίδιο κύκλωμα για δύο καύσιμα: λιθάνθρακα και λιγνίτη.



Σχήμα 2: Εύρος βαθμού απόδοσης για υπερκρίσιμους ατμοπαραγωγούς.



Σχήμα 3: Διαστάσεις συμβατικού λέβητα κοινοποιημένου καυσίμου και μονάδας ρευστοποιημένης κλίνης υπό πίεση ισχύος 80 MWe [8].



Σχήμα 4: Λειτουργικό διάγραμμα της στατικής μονάδας P200 της εταιρίας ABB.

Σταθμός	Vartan	Tidd	Escatron	Wakamatsu
Τοποθεσία	Στοκχόλμη (Σουηδία)	Brilliant (Ohio-H.P.A.)	Escatron (Ισπανία)	Wakamatsu (Ιαπωνία)
Εταιρία παραγωγής	Stockholm Energi	American Electric Power	Endesa	Electric Power Development Co
Προμηθευτής	ABB Carbon	ASEA Babcock	ABB Carbon + Babcock Wilcox Espanola	ABB Carbon + Ishikawajima Harima Heavy Industries
Σκοπός	εμπορική συμπαράγωγή	επιδεικτικός	επιδεικτικός	επιδεικτικός
Ισχύς	135MWe+224MWt	73 MWe	79 MWe	71 MWe
Μονάδα	2 x P200	1 x P200	1 x P200	1 x P200
Χρόνος έναρξης λειτουργίας	1989/1990	1990	1990	1993
Τροφοδότηση αδρανούς υλικού	αναμεμιγμένο με πάστα γαϊάνθρακα	ξηρό	ξηρό	αναμεμιγμένο με πάστα γαϊάνθρακα (+ έγχυση ξηρού)
Πίεση (MPa)	1.2	1.2	1.2	1.2
Χαρακτηριστικά ατμού	13.7MPa/530 °C	9.0MPa/496°C	9.5MPa/510°C	10.2MPa/593°C/593°C
Φίλτρα	Υφασμάτινα	Η/Φ	Η/Φ	Κεραμικά +υφασμάτινα)

Πίνακας 2: Λειτουργικά χαρακτηριστικά 4 μονάδων PFBC [6].

Από τους υπολογισμούς προκύπτουν τα εξής στοιχεία:

1. Ατμοπαραγωγοί με καύσιμο λιθάνθρακα, επιτυγχάνουν κατά 1.5-2.0% υψηλότερους β.α., λόγω της μικρότερης περιεκτικότητας σε υγρασία του καυσίμου.
2. Η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού με ατμό από την πρώτη βαθμίδα υψηλής πίεσης, βελτώνει το β.α. κατά 0.5%.
3. Η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας είναι ισχυρότερη από αυτή της υψηλής πίεσης.
4. Η διπλή αναθέρμανση, βελτώνει τον β.α. κατά 0.5%.

Η τεχνολογία λεβήτων υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών, δύναται να εφαρμοστεί και για το ελληνικό καύσιμο. Η αναμενόμενη μείωση του β.α., σε σχέση με ατμοπαραγωγούς που χρησιμοποιούν λιθάνθρακα, λόγω των μεθόδων που πραγματοποιείται η ξήρανση του λιγνίτη (ανακυκλοφορία ζεστών καυσαερίων), μπορεί να αντιμετωπισθεί με την χρήση άλλων μεθόδων ξήρανσης (π.χ. με ανακυκλοφορία καυσαερίων, που λαμβάνονται πριν από τους LUVO ή σε ρευστοποιημένη κλίνη ατμού [5]). Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι θερμοκρασίες εξόδου των καυσαερίων είναι της τάξης των 950-980°C, λόγω των χαρακτηριστικών της τέφρας των εγχώριων καυσίμων, προκύπτει ότι η θερμοκρασία των μετάλλων, μπορεί να φτάσει μέχρι, περίπου, 600°C, χωρίς σημαντικά προβλήματα διάβρωσης. Έτσι, σε σχέση με τους λιθάνθρακες, που παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμοκρασία εξόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά μικρότερου κόστους.

μοκρασία εξόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά μικρότερου κόστους.

2.4 Αξιολόγηση της τεχνολογίας.

Οι λεβήτες υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών ατμού, επιτυγχάνουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, ενώ ταυτόχρονα επιδεικνύουν υψηλή διαθεσιμότητα (πάνω από 90%). Η περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας, εξαρτάται από την ανάπτυξη νέων υλικών που θα διαθέτουν αυξημένη αντοχή σε διάβρωση υψηλής θερμοκρασίας και ερπυσμό. Με τους φερρικούς χάλυβες, επιτυγχάνουμε θερμοκρασία ατμού μέχρι 540°C, η οποία μπορεί να αυξηθεί με την χρήση ωστενιτικών χάλυβων, οι οποίοι έχουν μεν υψηλότερη αντοχή σε

ερπυσμό αλλά έχουν και υψηλότερο συντελεστή θερμικής διαστολής, με αποτέλεσμα να είναι ευαίσθητοι σε θερμική κόπωση και άρα, ακατάλληλοι για τμήματα με μεγάλα πάχη (π.χ. συλλέκτες υπερθερμαντήρων). Για το λόγο αυτό, διεξάγεται έρευνα για την ανάπτυξη νέων υλικών, με βελτιωμένες ιδιότητες.

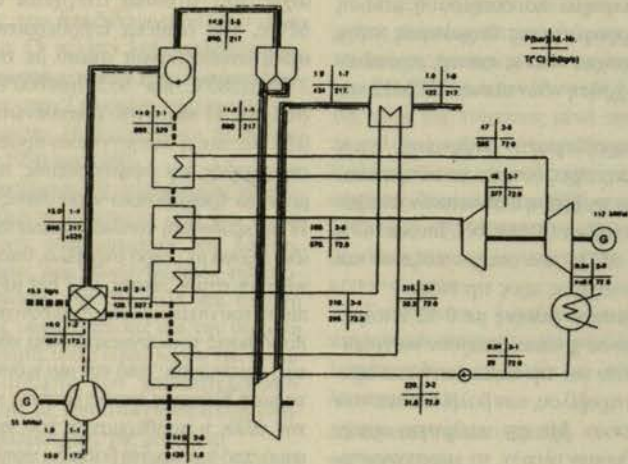
Η τεχνολογία παρουσιάζει βελτιωμένη περιβαλλοντική συμπεριφορά, ως προς τις συμβατικές μονάδες, λόγω της αυξημένης αξιοποίησης του καυσίμου, συμβάλλοντας στην μείωση των εκπομπών CO₂. Για την μείωση των εκπομπών NO_x και SO₂ εφαρμόζονται οι ίδιες τεχνικές όπως και στους συμβατικούς σταθμούς.

Όσον αφορά την εφαρμογή της τεχνολογίας για τους ελληνικούς λιγνίτες, δεν εντοπίζονται προβλήματα και η μείωση του βαθμού απόδοσης, η οποία αναμένεται, σε σχέση με λιθάνθρακες, μπορεί να ξεπεραστεί με βελτιωμένες μεθόδους ξήρανσης του καυσίμου.

3. Συνδυασμένος κύκλος με ρευστοποιημένη κλίνη υπό πίεση (PFBC).

3.1 Κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας.

Στις σύγχρονες μονάδες αξιοποίησης στερεών καυσίμων σε ρευστοποιημένη κλίνη, έχουν υιοθετηθεί τεχνολογικές λύσεις, όπως η καύση υπό πίεση και η χρήση συνδυασμένων κυκλωμάτων αεριοτροβίλων-ατμοτροβίλων. Στον συνδυασμένο κύκλο PFBC (Pressurized



Σχήμα 5: Θερμικό κύκλωμα ανακυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης υπό πίεση.

Fluidized Bed Combustion), ο παραγόμενος ατμός από την καύση στην κλίνη, εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο, ενώ η ενέργεια των υπό πίεση καυσαερίων, αξιοποιείται με εκτόνωση σε αεριοστρόβιλο. Η ισχύς η οποία παράγεται από τον ατμοστρόβιλο, είναι της τάξης του 80% της συνολικής.

Με την λειτουργία της κλίνης υπό πίεση 10-20 bar, επιτυγχάνεται η σχεδόν πλήρης καύση (άνω του 99%), ακόμα και για μικρούς λόγους αέρα καύσης /6/, /7/, ενώ αυξάνει ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας ανά μονάδα όγκου.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνολογίες ρευστοποιημένης κλίνης υπό πίεση: Η στατική και η ανακυκλοφορούσα ρευστοποιημένη κλίνη.

3.1.1 Μονάδες με στατική ρευστοποιημένη κλίνη υπό πίεση.

Κύριος φορέας ανάπτυξης της τεχνολογίας αυτής είναι η ABB Carbon, η οποία έχει εξελίξει την μονάδα P200 (θερμικής ισχύος 200MW_{th}) που χρησιμοποιεί τον αεριοστρόβιλο Asea Stal GT35P (ονομαστικής ισχύος 17MW_e). Η εταιρία διαθέτει επίσης και την μονάδα P800.

Η τροφοδοσία του προθραυσμένου γαιάνθρακα στον λέβητα, πραγματοποιείται είτε πνευματικά σε ξηρή μορφή είτε υπό μορφή υδαρούς μίγματος ή πάστας (paste) μετά την ανάμειξη του με αβυσθόλιθο (CaCO₃) ή δολομίτη (μίγμα CaCO₃ και MgCO₃) για την δέσμευση του SO₂. Αντίστοιχα, μετά την συμπίεσή του, εισάγεται στην κλίνη και ο αέρας καύσης. Η καύση εξελίσσεται σε θερμοκρασία, περίπου, 850-900°C και τα καυσαέρια οδηγούνται προς εκτόνωση σε αεριοστρόβιλο, αφού έχουν περάσει από κυκλωνικούς διαχωριστές, για τον καθαρισμό τους από τα σωματίδια.

Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών και των υψηλών πιέσεων λειτουργίας, οι μονάδες PFBC χαρακτηρίζονται από τις χαμηλές εκπομπές NOx, ενώ η χρήση του αδρανούς υλικού, οδηγεί και σε μειωμένες εκπομπές SO₂.

Στις μονάδες PFBC, χρησιμοποιούνται ειδικοί αεριοστρόβιλοι με υψηλό λόγο συμπίεσης και ενδιάμεση ψύξη (intercooling) /8/, έτσι ώστε, να αντιμετωπισθεί η μείωση του β.α. λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών εισόδου, που δεν ξεπερνούν τους 900°C. Οι αεριοστρόβιλοι είναι επίσης ανθεκτικοί στην λειτουργία

με μικρές συγκεντρώσεις σωματιδίων στα καυσαέρια, λόγω του μη πλήρους καθαρισμού από τους κυκλωνικούς διαχωριστές και τα υφασματόφιλτρα ή ηλεκτροστατικά φίλτρα.

3.1.2 Μονάδες με ανακυκλοφορούσα ρευστοποιημένη κλίνη υπό πίεση (PCFB).

Η τεχνολογία της ανακυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου, δεν έχει παρουσιάσει εμπορικές εφαρμογές και περιορίζεται σε πειραματικό στάδιο. Αναμενόμενα οφέλη της εξέλιξης της τεχνολογίας αυτής, είναι οι μειωμένες εκπομπές και το μικρότερο κόστος επένδυσης.

Οι εταιρείες LLB (Lurgi, Lentjes, Babcock), Ahlstrom, VEAG, L.&C. Steinmuller και Siemens-KWU, είναι οι κύριοι φορείς εξέλιξης της τεχνολογίας. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι πειραματικές εγκαταστάσεις της LLB, 15 MW_{th} ZDWSF- στο Friedrichsfeld, και της Ahlstrom ισχύος 10 MW_{th}.

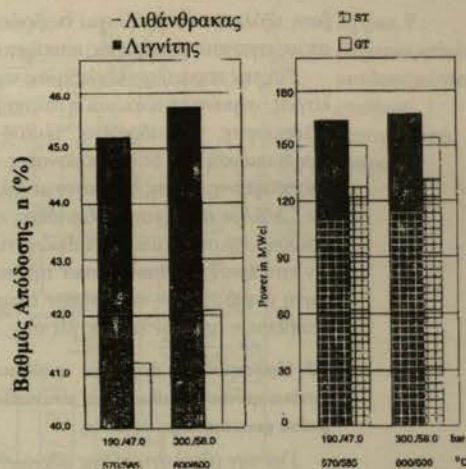
3.1.3 Υβριδικός Συνδυασμένος Σταθμός.

Για να αντιμετωπισθεί ο περιορισμός του βαθμού απόδοσης λόγω της απαιτούμενης ελάχιστης θερμοκρασίας καυσαερίων (880 - 950°C) πριν από τον αεριοστρόβιλο, έχει προταθεί ο συνδυασμός της καύσης σε ρευστοποιημένη κλίνη, με μερική ή παράλληλη αεριοποίηση. Παράδειγμα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας, είναι ο κύκλος ABCG (Air Blown Gasification Cycle) /9/.

3.2 Κριτικά σημεία - Εξέλιξη της τεχνολογίας.

Κατά την λειτουργία των μονάδων, σημαντική εμπειρία αποκτήθηκε, όσον αφορά τα πλεονεκτήματα αλλά και τα λειτουργικά προβλήματα της τεχνολογίας αυτής. Σημαντικές παράμετροι για την αποφυγή των προβλημάτων εμφράξεων στις γραμμές τροφοδοσίας του καυσίμου και στα συστήματα απαγωγής της τέφρας, οι οποίες παρατηρήθηκαν, είναι ο σχεδιασμός του συστήματος έγχυσης, συναρτήσει του είδους και της σύστασης, καθώς και της κοκκομετρίας του καυσίμου, της περιεκτικότητας του νερού, ανάλογα με το είδος εισαγωγής του καυσίμου στην κλίνη και του είδους του υλικού δέσμευσης.

Αντίστοιχα, για τις εμφράξεις στα



Σχήμα 6: Βαθμοί απόδοσης και συμμετοχή στην συνολική ισχύ του ατμοστρόβιλου και του αεριοστρόβιλου κατά την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη.

συστήματα ατομάρισης της τέφρας, καθοριστικοί παράγοντες είναι οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας και ο σχεδιασμός των συστημάτων, βάσει του είδους και της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο και τέφρα, καθώς και της κοκκομετρίας του, της μάζας, του είδους και του ποσοστού αντίδρασης του υλικού δέσμευσης και οι ιδιότητες της τέφρας. Προβλήματα επίσης που παρουσιάστηκαν, αφορούσαν εμφράξεις και πυρκαγιές στους κυκλώνες.

Εκτιμάται επίσης ότι, λόγω του διαμερισμού του καυσίμου, των υψηλών θερμοκρασιών, του είδους του υλικού δέσμευσης και της παρουσίας αλκαλίων, παρατηρήθηκε δημιουργία τμημάτων μέσα στο στρώμα ρευστοποίησης.

Για την προστασία των πτερυγίων των αεριοστρόβιλων από μηχανική και χημική διάβρωση, λόγω των σωματιδίων που περιέχονται στα καυσαέρια, τοποθετούνται διατάξεις καθαρισμού των καυσαερίων.

Έχουν εφαρμοσθεί διατάξεις που αποτελούνται από πρωτεύοντες και δευτερεύοντες κυκλώνες, καθώς και κεραμικά φίλτρα τύπου κεριού ή φίλτρα κεραμικού σωλήνα. Για την χημική διάβρωση, σημαντική είναι η μείωση της συγκεντρώσεως πτητικών αλκαλικών ενώσεων, η οποία εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε χλώριο, νάτριο, κάλιο, καθώς και από την πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας. Άλλα διαβρωτικά στοιχεία που προέρχονται από το καύσιμο, είναι βανάδιο και μόλυβδος /6/.

Η χρησιμοποίηση ωστενιτικών χαλύ-

βον, εξάλειψε το πρόβλημα διαβρώσεων στους αγωγούς μεταφοράς καυσίμου.

Για την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας, σημαντική είναι και η αύξηση της αξιοποίησης του αδρανούς υλικού για την δέσμευση του SO₂. Οι μονάδες ρευστοποιημένης κλίνης απαιτούν μεγαλύτερο Ca/S, σε σύγκριση με διατάξεις αποθείωσης /6/ συμβατικών σταθμών στερεών καυσίμων, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων στερεών αποβλήτων από την λειτουργία τους.

3.3 Προσομοίωση θερμοκινώματος συνδυασμένου σταθμού με ανακυκλοφορούσα ρευστοποιημένη κλίνη.

Για την αξιολόγηση της τεχνολογίας αυτής, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση θερμοκινώματος ενός συνδυασμένου σταθμού με ανακυκλοφορούσα ρευστοποιημένη κλίνη. Το κύκλωμα αποτελείται από τέσσερα τμήματα ανταραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης, κυκλώνα, κεραμικά φίλτρα και εναλλάκτη ψύξεως της απαγόμενης τέφρας - τα οποία λειτουργούν εντός πειστικών δοχείων.

Το καύσιμο, μεταφέρεται στον ανταραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Το παραγόμενο καυσάεριο, θερμοκρασίας 850-900°C, καθαρίζεται σε ένα πολυβάθμιο Κυκλωνικό Διαχωριστή (Κυ-κλώνας, Κεραμικά Φίλτρα τύπου κεριού) και οδηγείται στον αεριοστρόβιλο. Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του αεριοστρόβιλου, καθώς επίσης και μικρού ποσοστού της τέφρας, το οποίο απάγε-

ται, από την ρευστοποιημένη κλίνη, αξιοποιείται από εναλλάκτη προθέρμανσης νερού.

Η διαχωριζόμενη τέφρα από τον κυκλώνα, ψύχεται σε εναλλάκτη ψύξεως και η αντίστοιχη θερμότητα που απάγεται, χρησιμοποιείται στην ατιοπαραγωγή. Ο ατμός που παράγεται, εκτονώνεται σε ένα πολυβάθμιο στρόβιλο συμπυκνωμάτων.

Η εξέταση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του κυκλώματος, πραγματοποιήθηκε για καύσιμο φυσικό λιγνίτη και λιθάνθρακα, καθώς επίσης, για τις περιπτώσεις υποκρίσιμων και υπερκρίσιμων παραμέτρων ατμού. Στο σχήμα 6, δίδεται εκτίμηση του βαθμού απόδοσης και της συμμετοχής στην συνολική ισχύ του ατιοστρόβιλου και του αεριοστρόβιλου, κατά την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη.

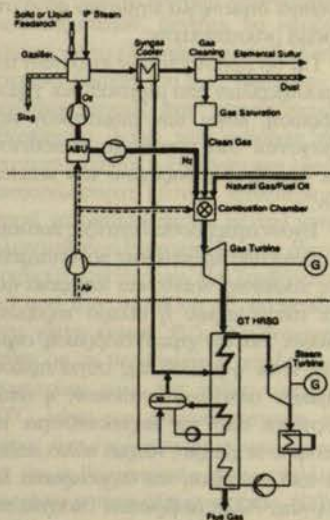
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, αλλά και τα συμπεράσματα ερευνητών /10/,/11/, η χρήση λιγνίτη, εξασφαλίζει μεγαλύτερους β.α. λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας του καυσίμου σε υγρασία, η οποία αντίστοιχα, οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης του αεριοστρόβιλου. Με την χρήση ψεκασιμού νερού εντός ή πέραν του θαλάμου καύσης, στην περίπτωση καύσης λιθάνθρακα, επιτυγχάνεται αύξηση του β.α., ο οποίος όμως παραμένει μικρότερος αυτού, για καύση λιγνίτη. Η συμμετοχή στην συνολική ισχύ της εγκατάστασης του αεριοστρόβιλου, η οποία περιορίζεται από την θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων (880°C), είναι μεγαλύτερη με την καύση λιγνίτη από ότι με την καύση

λιθάνθρακα, καθώς η θερμοκρασία των 880°C, παίζει ρόλο, όχι μόνο στη συναλλαγή θερμότητας, κατά τον κύκλο Νερού/Ατμού, αλλά και στην ατιοποίηση του νερού, που περιέχεται στον άνθρακα. Με την αύξηση των παραμέτρων ατμού, παρατηρείται μικρή αύξηση του βαθμού απόδοσης, λόγω της αύξησης του βαθμού απόδοσης της εκμετάλλευσης του ατμού. Αντίθετα, η χρήση προθερμάνσεων με απομαστεύσιμο ατμό, δεν οδηγεί σε βελτίωση του συνολικού β.α. του κύκλου.

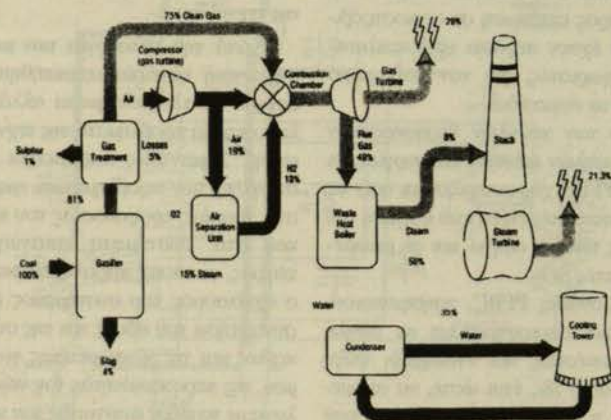
Τα ελληνικά καύσιμα είναι ευανάφλεκτα και άρα, αναμένεται η καύση τους να είναι πλήρης. Για την αντιμετώπιση προβλημάτων στον αεριοστρόβιλο και στα συστήματα τροφοδοσίας και έγχυσης και χωρίς να προκληθεί αστάθεια στην καύση λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των ελληνικών λιγνιτών σε υγρασία, προτείνεται να υπάρξει προξήρανση του καυσίμου, η οποία όμως θα αναμένεται να μειώσει τον βαθμό απόδοσης κατά 1-2%, ανάλογα με το είδος της προξήρανσης. Η χρήση εγχώριων καυσίμων, δεν αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα διάβρωσης, καθώς η περιεκτικότητα σε χλώριο είναι μικρή, ενώ η περιεκτικότητα σε αλκάλια και χαλαζία είναι αποδεκτή, για την χρήση τους σε εγκαταστάσεις PFBC. Αντίστοιχα, τα χαρακτηριστικά της τέφρας, είναι αποδεκτά για αποφυγή συσσωματώσεων και τηγμάτων.

3.4 Αξιολόγηση της τεχνολογίας.

Η τεχνολογία με στατική κλίνη, εμφανίζει αρκετά σημαντικά παραδείγματα βιομηχανικής εφαρμογής, με εγκαταστά-



Σχήμα 7 : Βασικά υποσυστήματα μονάδας IGCC.



Σχήμα 8 : Γενικό διάγραμμα λειτουργίας της μονάδας Puertollano.

σεις μεγέθους κυρίως 70-80 MWe. Λόγω της υψηλής πίεσης λειτουργίας, οι εγκαταστάσεις είναι πιο συμπαγείς από τις συμβατικές ίδιες ισχύος και προτείνονται για ανακατάσταση παλαιών σταθμών. Ο βαθμός απόδοσης των μονάδων, πλησιάζει το 45% και είναι μεγαλύτερος για καύσιμο λιγνίτη, σε σύγκριση με τον λιθάνθρακα. Ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, περιορίζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες εισόδου των καυσαερίων στον αεριοστρόβιλο. Για τον λόγο αυτό εξετάζεται ο συνδυασμός με αεριοποίηση του καυσίμου. Επίσης, σημαντικός παράγοντας για την λειτουργία του αεριοστρόβιλου, είναι και η ποιότητα καθαρισμού των καυσαερίων από τα σωματίδια τέφρας. Λόγω των χαρακτηριστικών λειτουργίας των μονάδων, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης με χαμηλές εκπομπές NOx και SO₂.

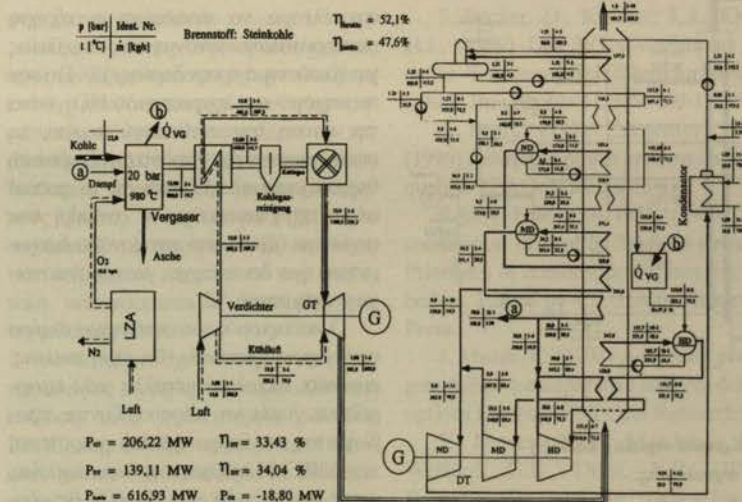
4. Συνδυασμένος κύκλος με αεριοποίηση (IGCC).

4.1 Κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας.

Η βασική αρχή λειτουργίας των μονάδων αεριοποίησης, είναι η μετατροπή του γαιάνθρακα σε αέριο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, σε συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου-ατμοστρόβιλου. Ο γαιάνθρακας εισάγεται σε μονάδα αεριοποίησης, η οποία τροφοδοτείται με ατμό και οξυγόνο ή αέρα. Από τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται, λόγω της παρουσίας του ατμού, σχηματίζεται συνθετικό αέριο, το οποίο είναι μίγμα, κυρίως, μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H₂). Το αέριο αυτό, μετά τον καθαρισμό του, οδηγείται στο θάλαμο καύσης του αεριοστρόβιλου. Παράλληλα, παράγεται και ατμός υψηλής πίεσης από την αξιοποίηση της θερμότητας των καυσαερίων από τον στρόβιλο, καθώς και της θερμότητας που προέρχεται από την ψύξη του αερίου. Η συμμετοχή του ατμοστρόβιλου, ανέρχεται σε 30-40%, της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια μονάδα IGCC, αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα :

- Αεριοποιητή,
- Ψύκτη συνθετικού αερίου,
- Σύστημα καθαρισμού αερίου,
- Κρυογεννητική μονάδα διαχωρισμού συστατικών του αέρα (ASU: Air Separation Unit), που είναι απαραίτητη, μόνο όταν, το μέσο αεριοποίησης είναι το



Σχήμα 9 : Θερμικό κύκλωμα συνδυασμένου σταθμού αεριοποίησης άνθρακα.

οξυγόνο,

- Αεριοστρόβιλο,
- Λέβητα ανάκτησης θερμότητας των καυσαερίων,
- Ατμοστρόβιλο,

Για την μετατροπή του γαιάνθρακα σε συνθετικό αέριο, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέθοδοι αεριοποίησης :

- Μέθοδος Σταθερής Κλίνης,
- Μέθοδος Ρευστοποιημένης Κλίνης,
- Μέθοδος Ροής Αερίου.

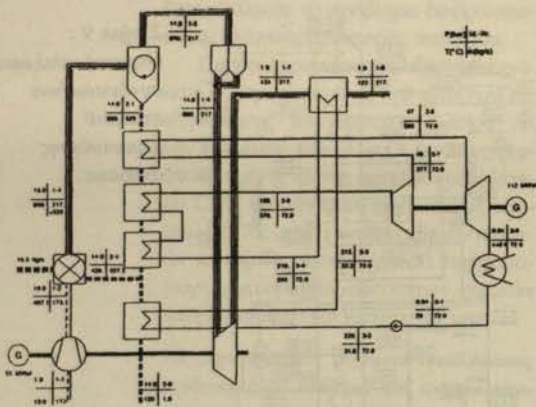
Από τις σημαντικότερες μονάδες IGCC, που λειτουργούν παγκοσμίως, δύο είναι εγκατεστημένες στην Ευρώπη και τρεις στις ΗΠΑ. Η λειτουργία της πλειονότητας των μονάδων αυτών, υποστηρίζεται οικονομικά από την Ευρωπαϊκή Ένωση (πρόγραμμα Thermie) και το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α., αντίστοιχα.

Η μονάδα Buggenum στην Ολλανδία, της οποίας η κατασκευή ολοκληρώθηκε το 1993, χρησιμοποιεί την μέθοδο αεριοποίησης της εταιρίας Shell (Shell Coal Gasification Process) και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του αεριοποιητή είναι ~ 1500°C, 30 bar. Ο αεριοστρόβιλος είναι τύπου V94.2 της εταιρίας Siemens και ο βαθμός απόδοσης σχεδιασμού, είναι 43% /12/. Στην μονάδα Puertollano στην Ισπανία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδο αεριοποίησης PRENFLO, που είναι τύπου εξαγωγισμένης ροής αερίου, με ξηρή τροφοδότηση κόνεσης καυσίμου, με πίεση λειτουργίας 25 bar και θερμοκρασία 1200-1600°C. Αεριοστρόβιλος είναι ο V94.3 της εταιρίας Siemens, στον οποίο δύνα-

ται να χρησιμοποιηθεί καύσιμο φυσικό αέριο ή συνθετικό αέριο ή μίγμα των δύο. Ο βαθμός απόδοσης σχεδιασμού είναι 45% (LHV), για καύσιμο πισσούχο, άνθρακα χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα, ενώ προβλέπεται μικρή μείωση του, εάν χρησιμοποιηθεί μίγμα καυσίμου με την αξιοποίηση πετρελαιοκού κωκ από διυλιστήριο /12/. Η συνολική ισχύς της μονάδας, ανέρχεται σε 335 MW /13/ και λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιοκαταναλώσεις, εκτιμάται ότι η καθαρή ισχύς θα είναι 300 MW.

Η μονάδα Wabash River στις Η.Π.Α., λειτουργεί από το Νοέμβριο του 1995, σε αντικατάσταση υφιστάμενου σταθμού, από τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν ο ατμοστρόβιλος, η γεννήτρια και άλλες βοηθητικές εγκαταστάσεις. Για την αεριοποίηση με οξυγόνο, λειτουργεί διβάθμιο αεριοποιητής ροής αερίου της εταιρίας Destec Energy. Ο βαθμός απόδοσης σχεδιασμού, ανέρχεται σε 38% (HHV) /6/. Στην μονάδα Polk Power στις Η.Π.Α., χρησιμοποιείται αεριοποιητής ροής αερίου της Texaco. Η μονάδα λειτουργεί για επδεικτικούς σκοπούς και η διαθεσιμότητά της, κατά τον Ιανουάριο του 1997, ανήλθε σε 90% /14/, /15/. Στην μονάδα Pinon Pine στις Η.Π.Α., ο αεριοποιητής είναι τύπου ρευστοποιημένης κλίνης και ονομάζεται KRW (Kellogg-Rust-Westinghouse) και αποτελεί, μία από τις ελάχιστες μονάδες που λειτουργούν με μέσο αεριοποίησης του αέρα. Η προβλεπόμενη ισχύς της μονάδας, είναι 107 MWe.

ΠΥΡΦΩΡΟΣ 2002



Σχήμα 10 :
Θερμικό κύκλωμα
συνδυασμένου
σταθμού αεριοποί-
ησης άνθρακα
(αυξημένη θερμο-
κρασία στον
αεριοστρόβιλο).

4.2 Κριτικά σημεία - Εξέλιξη της τεχνολογίας.

Για την αεριοποίηση του στερεού καυσίμου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο ή αέρας. Για τον διαχωρισμό του οξυγόνου από το άζωτο του αέρα, απαιτείται σημαντική κατανάλωση ενέργειας, σε αντίστοιχη μονάδα διαχωρισμού. Ανάθετα, η χρήση αέρα, οδηγεί σε αύξηση του μεγέθους των συστημάτων, λόγω της διάσπασης του αζώτου του αέρα. Το ποσοστό της θερμότητας του αρχικού καυσίμου, που παραμένει στο ψυγμένο και καθαρό αέριο, στην περίπτωση της αεριοποίησης με οξυγόνο, ανέρχεται σε 75-80% και με την εκμετάλλευση της θερμότητας από την ψύξη του αερίου, οδηγεί σε συνολική απόδοση, περίπου 95%, ενώ στην περίπτωση αεριοποίησης με αέρα, η απόδοση είναι 65-70%. Η δυναμικότητα αεριοποίησης για αεριοποιητή, δεδομένου μεγέθους, υποδιπλασιάζεται όταν αυτή γίνεται με αέρα. Επίσης, παράγονται άνω του διπλάσιου όγκου καυσαερίων, με αποτέλεσμα την απαίτηση μεγαλύτερων εγκαταστάσεων, ενώ επιπροσθέτως, αυξάνεται και η απαίτηση απόδοσης των συστημάτων συγκράτησης των ρυθών. Τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα, την αύξηση του κόστους κτήσης του εξοπλισμού /15/. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, η διαδικασία παραγωγής του οξυγόνου είναι δαπανηρή, εξάγεται το συμπέρασμα ότι, και οι δύο διαδικασίες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Λόγω της χαμηλής θερμογόνου ικανότητας του συνθετικού αερίου σε σύγκριση με το φυσικό αέριο, απαιτείται η κατασκευή συστήματος προσαγωγής καυσίμου και καυστήρων, σημαντικά μεγαλύτερων παραγών. Επίσης, το συνθετικό αέριο είναι τοξικό και εκρήγνυται εύκολα, με

αποτέλεσμα να απαιτείται η τήρηση αυστηρότατων κανονισμών ασφαλείας για το σύστημα τροφοδοσίας /12/. Για τον περιορισμό του σχηματισμού NO_x κατά την καύση του συνθετικού αερίου, το οποίο παρουσιάζει υψηλότερη αδιαφρακτική θερμοκρασία φλόγας από ότι το φυσικό αέριο, χρησιμοποιείται η ανάμιξη του αερίου με άζωτο από την μονάδα διαχωρισμού ή αν δεν υπάρχει, γίνεται αντίστοιχα χρήση ατμού /12/.

Ο καθαρισμός του συνθετικού αερίου από αέριους ρυπαντές (θειούχες ενώσεις, αμμωνία, αλκαλικά μέταλλα κτλ) εφαρμόζεται χωρίς να παρουσιάζονται προβλήματα, σε θερμοκρασίες μικρότερες των 150°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυτής στα επίπεδα των 500-600, θα οδηγήσει σε αύξηση του β.α. και μείωση των απαιτήσεων των ψυκτών συνθετικού αερίου. Τεχνικές για την απομάκρυνση της σκόνης είναι υπό εξέλιξη, με πλέον σημαντική αυτή της χρήσης κεραμικών φίλτρων (όπως τα φίλτρα κεριού). Αντίστοιχα, εξετάζονται και τεχνικές αποθείωσης, κυρίως με την ανάπτυξη χημικών ουσιών, ικανών να δεσμεύσουν τις θειούχες ενώσεις (H_2S και COS), που περιέχονται στα αέρια, σε θερμοκρασίες 540°C. Η τεχνολογία καθαρισμού σε υψηλές θερμοκρασίες, δεν έχει φθάσει ακόμα σε επίπεδα ωριμότητας και εμφανίζει πολλά προβλήματα.

Για να ανταμειπωθεί η φθορά του πυρίμαχου υλικού αεριοποιητών και η διάβρωση των υλικών του ψυκτικού του συνθετικού αερίου από την παρουσία H_2S και HCl στο παραγόμενο συνθετικό αέριο, χρησιμοποιούνται υλικά που να εξασφαλίζουν την μεγάλη διάρκεια ζωής των συστημάτων. Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιούνται πυρίμαχα με μεγάλη περιεκτικότητα σε χρώμιο (>70%) /6/, ενώ στην δεύτερη, ωστενιτικοί χαλύβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε χρώμιο και νικέλιο (EPRI - Electric Power Research Institute).

Σημαντικό στοιχείο για την λειτουργία των μονάδων IGCC, είναι το επίπεδο σύζευξης της διαδικασίας αεριοποίησης με την διαδικασία παραγωγής ενέργειας. Με υψηλή σύζευξη, επιτυγχάνεται αύξηση του β.α. αλλά παράλληλα, αυξάνει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας και προξενεί μείωση της διαθεσιμότητας /16/. Η σύζευξη αναφέρεται στα ακόλουθα:

- Το άζωτο που παράγεται από την

μονάδα ASU, θα εγχύεται στον στρόβιλο για αύξηση της μάζας που εκτονώνεται και άρα, θα έχουμε αύξηση της παραγόμενης ισχύος. Επίσης, το N_2 δρα σαν διαλυτικό μέσο και μειώνει την συγκέντρωση των εκπομπών NO_x .

- Ατμός που παράγεται για την ψύξη του συνθετικού αερίου, αποτονώνεται στον αεριοστρόβιλο.

- Απομάστευση αέρα από τον συμπιεστή, για να οδηγηθεί στην μονάδα ASU.

- Απομάστευση ατμού από τον ατμοστρόβιλο, για τροφοδότηση του αεριοποιητή.

Σημαντικά είναι τα προβλήματα με τις αυξημένες απαιτήσεις σε συστήματα αυτομάτου ελέγχου, μίας τόσο πολύπλοκης μονάδας /15/.

4.3 Προσομοίωση θερμικού κυκλώματος IGCC.

Εξετάζεται η περίπτωση θερμικού κυκλώματος συνδυασμένου σταθμού με αεριοποίηση άνθρακα, στο οποίο χρησιμοποιούνται οξυγόνο από διαχωριστή αέρα (LuftZerlegungsAnlage) και ατμός από τον κύκλο νερού/ατμού, ως μέσα αεριοποίησης. Η εγκατάσταση διαχωρισμού του αέρα (LZA), δαπανά περίπου 1 MJ ανά kg οξυγόνου καθαρότητας έως 95% και ο αεριοποιητής άνθρακα λειτουργεί σε συνθήκες 20 bar/980°C. Ως καύσιμο χρησιμοποιείται λιθάνθρακας, με θερμογόνου ικανότητα 28 MJ/kg.

Το καυσάεριο θερμοκρασίας 1300°C και πίεσης ~15 bar, εκτονώνεται στον αεριοστρόβιλο. Τα παρεχόμενα στον αεριοστρόβιλο καυσαερίων, θερμοκρασίας ~582°C, διατίθενται σε τρεις διαδοχικές ροές διαφορετικής πίεσης για αμιοπαγωγή, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ροή Υψηλής Πίεσης:
131 bar/ 540°C / 72,5 kg/s
- Ροή Μέσης Πίεσης (Εξαερίωσης):
29,5 bar/ 540°C / 89,4 (20,5) kg/s
- Ροή Χαμηλής Πίεσης:
8 bar/ 364°C / 99,9 (10,5) kg/s.

Ο μικτός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης, είναι 52,1%, ο οποίος δίδει καθαρό βαθμό απόδοσης 47,6% μετά τον υπολογισμό των απωλειών για την παραγωγή του οξυγόνου. Λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες, καθώς και τις κατανάλωσεις των βοηθητικών εγκαταστάσεων, των συστημάτων επεξεργασίας και μεταφοράς καυσίμου, προκύπτει συνολική μείωση του μικτού βαθμού απόδοσης, κατά 4,5%.

Η εισαγωγή του καυσ aerίου στον αεριοστροβίλο, με θερμοκρασία 1400°C αντί των 1300°C, έχει ως αποτέλεσμα, την αύξηση του βαθμού απόδοσης, κατά περίπου 0,8%, ο μικτός βαθμός απόδοσης ανέρχεται σε 52,9% και ο αντίστοιχος καθαρός β.α. σε 48,4%.

4.4 Αξιολόγηση της τεχνολογίας.

Για την αξιολόγηση της τεχνολογίας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι είναι σε επδεικακό στάδιο. Στοιχεία εξέλιξης της τεχνολογίας, σχετίζονται με τις μεθόδους καθαρισμού του αερίου σε υψηλή θερμοκρασία, το σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου, καθώς επίσης, με θέματα που αφορούν την λειτουργία των αεριοστροβίλων, την διάβρωση των υλικών του ψύκτη, την σύζευξη των συστημάτων αεριοποίησης και παραγωγής ενέργειας και στην επίδραση των ρεολογικών χαρακτηριστικών της τέφρας στην λειτουργία του αεριοποιητή. Όσον αφορά την διαδικασία αεριοποίησης, και οι δύο είτε με αέρα ή με οξυγόνο, παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Εκτιμάται ότι η αεριοποίηση με αέρα, θα αποτελέσει την πλέον συμφέρουσα επιλογή για καινοτομία με μεγάλη περιεκτικότητα σε πτηνικά, όπως ο λιγνίτης.

Για τις εγκαταστάσεις IGCC, ο βαθμός απόδοσης είναι 42 - 45 %, ενώ η ανάγνη προεπεξεργασίας του στερεού καυσίμου (π.χ. ξήρανση, κομποποίηση), οδηγεί σε μείωση του βαθμού απόδοσης. Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης καυσίμων πολύ χαμηλής ποιότητας, π.χ. πετρελαϊκό κωκ, βιομάζα κτλ. Σημαντική είναι η περιβαλλοντική επίδοση των εγκαταστάσεων IGCC, με μείωση των ρύπων και την σχεδόν πλήρη εξάλειψη των στερεών σωματιδίων από τα καυσάερια. Η δυνατότητα συγκράτησης του θείου, ξεπερνά το 90%, ενώ η περαιτέρω δυνατότητα μείωσης των εκπομπών NOx, εξαρτάται από τις βελτιώσεις στην τεχνολογία των αεριοστροβίλων.

5. Συμπεράσματα.

Από την εξέταση των τεχνικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των τριών πλέον ανεπτυγμένων τεχνολογικών επιλογών, για την βελτιωμένη αξιοποίηση των στερεών καυσίμων, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προκύπτει ότι, κάθε μία από αυτές επιδεικνύει σημαντικά επιτεύγματα, χωρίς όμως να συγκρατώνται την πλειοψηφία των πλεονεκτημάτων από τεχνολογικής-θερμοδυναμικής άπο-

ψης, έναντι των άλλων.

Αξιολογώντας τις τεχνολογίες ως προς την ωριμότητα που έχουν επιδείξει, η επιλογή μονάδας υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών, δύναται να αποτελέσει την πιο αξιόπιστη επιλογή για την εφαρμογή των "καθαρών" τεχνολογιών για τους ελληνικούς λιγνίτες. Η τεχνολογία PFBC είναι συγκριτικά η δεύτερη επιλογή, ενώ λόγω των αυξημένων απαιτήσεών της, τελευταία κατατάσσεται η εφαρμογή της τεχνολογίας IGCC.

Αντίστοιχα, χαρακτηρίζοντας τις τεχνολογίες ως προς την περιβαλλοντική επίδοσή τους, η λειτουργία μονάδας IGCC, παρουσιάζει τις μικρότερες εκπομπές ρύπων στα καυσάερια με ιδιαίτερα μικρή εκπομπή σωματιδίων. Η σημαντική μείωση των ρύπων NOx και SO₂, οδηγεί την τεχνολογία PFBC στην δεύτερη θέση, ενώ πρέπει να αναφερθεί ότι για να είναι συγκρίσιμη μια μονάδα υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών αμιού, είναι απαραίτητος ο εξοπλισμός της με πρόσθετες αντιρρυπαντικές διατάξεις.

Αναφορές.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ερευνητικού έργου, με τίτλο «Προτάσεις για την καλύτερη αξιοποίηση του λιγνίτη» που ανατέθηκε το 1997 από την Δ.Ε.Η. / Δ.Μ.Κ.Θ. στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Εργαστήριο Αεροδυναμικής και Εργαστήριο Ατμοπαραγωγών και Θερμικών Εγκαταστάσεων) και ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 1998.

1. ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ (Συγκριτική Αξιολόγηση Θερμικών Κύκλων), Γ. Μπεργελές & Ε. Κωσάρας, ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - Δ/ΝΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, 2000.

2. Cossmann, R., Knizia, M. (1993) Gerichtspunkte für Auslegung und Konstruktion von Dampferzeugern mit hohen Dampfparametern. VGB Tagung "Kraftwerke und Kraftwerksbetrieb" Februar 1993.

3. Scarlin, R.B. (1994) High efficiency power plant with advanced steam conditions. Power-Gen Europe '94, 7, pp. 372-385.

4. Stamatelopoulos, G.N. (1996) Berechnung und Optimierung von Kraftwerkskreisläufen, VDI Fortschritt - Berichte, 6, Nr. 340.

5. Bocker, D., Klocker, K.J., Klutz, H.J., (1989) Das WTA-Verfahren - ein neues Trocknungsverfahren für Braunkohle. Braunkohle 41, 5, S. 169-172.

6. Scott, D.H., Carpenter, A.M. (1996) Advanced power systems and coal quality. IEA Coal Research 87.

7. Hoy, H.R., Gill, D.W. (1987) The combustion of coal in fluidised beds. In Principles of combustion engineering for boilers. Edited by C.J. Lawn. Academic Press.

8. Maude, C. (1993) Advanced power generation - a comparative study of design options for coal. IEA Coal Research/55.

9. Dawes, S.G., Mordecai, M., Welford, G.B., Otter, N.R. (1997) Recent design and cost studies for air blown gasification. FBC Conference, Vancouver, May 1997.

10. Bohm, H. (1994) Fossilbefeuerte Kraftwerke - Stand, Anforderungen, Entwicklungstendenzen, VGB Kraftwerkstechnik 74, H. 3, S. 173-186.

11. Thelen, F. (1993) Gas-/Dampfturbinenprozesse für feste Brennstoffe mit Druckwirbelschichtfeuerung, VGB Kraftwerkstechnik 73, 8, S. 671-677.

12. Huth, M., Vortmeyer, N., Schetter, B., Bechker, B., Karg, J. (1997) Clean combustion of syngas from coal and heavy oil residuals in Siemens gas turbines. Proceedings of the fourth Int. Conference on Technologies and combustion for a clean environment. 7-10 July 1997, Lisbon, Portugal.

13. Sendin, U. (1994) The 335MW IGCC Puertollano project funded by the Commission of European Communities. Proceedings of the European Workshop on Technologies for the clean and efficient combustion of lignites. Most, Czech Republic, 7 April 1994.

14. Watts, J.U., Sarkus, T.A., Rekos, N.F., Nelkin, G.A., Geiling D.W., Jewell, D.M. (1997) DOE's Clean Coal Technology Program: Commercial Successes. Proceedings of the fourth Int. Conference on Technologies and combustion for a clean environment. 7-10 July 1997, Lisbon, Portugal.

15. Swanekamp, R. (1996) Startup of large-scale projects casts spotlight on IGCC. Power (June issue).

16. Power (1997- March/April issue) First large-scale air-blown gasifier has full hot-gas clean up.