



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Εργαστήριο Ατμοπαραγωγών & Θερμικών Εγκαταστάσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Υπολογισμός θερμοδυναμικού κύκλου ελληνικού Α.Η.Σ.
σε συνθήκες μικτής καύσης ξηρού με φυσικό λιγνίτη.»*

Κούβελα Ιωάννα

Επιβλέπων

**Εμμανουήλ Κακαράς, Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.**

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Ατμοπαραγωγών Ι της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Ατμοπαραγωγών και Θερμικών Εγκαταστάσεων, ολοκληρώνονται οι σπουδές μου.

Αρχικά, αποδίδω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Καθηγητή, Κύριο Εμμανουήλ Κακκαρά, για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και την δυνατότητα ενασχόλησής μου με αυτό το αντικείμενο.

Ιδιαιτέρως, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Μιχάλη Αγρανιώτη για τη συνεχή και πολύτιμη καθοδήγηση, επίβλεψη και στήριξη που μου προσέφερε σε όλη την πορεία εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ, επίσης, για την βοήθειά του και τις επισημάνσεις του τον Δρ. κ. Άγγελο Δουκέλη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και όλα τα μέλη της οικογένειάς μου, οι οποίοι μου συμπαραστάθηκαν και με ενθάρρυναν με κάθε τρόπο σ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κούβελα Ιωάννα

Ιούλιος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	4
1. Τα στερεά καύσιμα στην παγκόσμια αγορά ενέργειας- Ο ρόλος του λιγνίτη στην Ελλάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	5
1.1 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	5
1.2 Η σημασία των στερεών καυσίμων και η συμβολή τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών.....	7
1.3 Ο ρόλος του λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.....	8
1.4 Καθαρές τεχνολογίες άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	16
2. Τεχνολογίες και μέθοδοι ξήρανσης στερεών καυσίμων.....	19
2.1 Ο ρόλος της υγρασίας στα στερεά καύσιμα και η σημασία χρήσης ξηρού λιγνίτη.....	19
2.2 Μικτή ξήρανση των στερεών καυσίμων με τροφοδοσία ξηρού λιγνίτη και ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων(mill drying).....	20
2.3 Τεχνολογία ξήρανσης στερεών καυσίμων με χρήση ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης.....	33
2.3.1 Γενικά για τους ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης- Βασικές αρχές λειτουργίας.....	33
2.3.2 Ξήρανση στερεών καυσίμων σε ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης με χρήση υπέρθερμου ατμού....	40
2.3.3 Ξήρανση σε ρευστοποιημένη κλίνη με εσωτερική εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας του υδρατμού (WTA).....	42
3. Μοντελοποίηση της εγκατάστασης του Α.Η.Σ. Άγιος Δημήτριος V - Αποτελέσματα.....	47
3.1 Μοντελοποίηση του Α.Η.Σ. με τη βοήθεια του εμπορικού λογισμικού Gate Cycle.....	47
3.2 Αποτελέσματα μοντελοποίησης	53
3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων – Σχολιασμός	63
3.4 Μοντελοποίηση ανακυκλοφορίας ψυχρών καυσαερίων.....	71
3.5 Αποτελέσματα μοντελοποίησης	74
3.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων ανακυκλοφορίας – Σχολιασμός.....	84
3.7 Μοντελοποίηση τεχνολογίας ξήρανσης WTA στον Α.Η.Σ. του Αγίου Δημητρίου V.....	89
3.8 Αποτελέσματα μοντελοποίησης	93
3.9 Σύγκριση αποτελεσμάτων- σχολιασμός	103
4. Γενικά συμπεράσματα – Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	106

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον υπολογισμό των βασικών θερμοδυναμικών μεγεθών του Ατμοηλεκτρικού Σταθμού του Αγίου Δημητρίου V στην Κοζάνη και τους εναλλακτικούς τρόπους ξήρανσης του καυσίμου, που βοηθούν στη βελτίωση του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης. Εξετάζεται επίσης εκτενώς, η δυνατότητα εφαρμογής της τεχνολογίας προξήρανσης λιγνίτη σε ρευστοποιημένη κλίνη στον συγκεκριμένο ελληνικό ατμοηλεκτρικό σταθμό. Οι παράγοντες που εξετάζονται σε κάθε περίπτωση είναι ο βαθμός απόδοσης του σταθμού, τα θερμοδυναμικά στοιχεία του σε κάθε σημείο του κύκλου, οι συνθήκες καύσης και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου που χρησιμοποιείται, δηλαδή του λιγνίτη.

Η πραγματοποιηθείσα μελέτη περιλαμβάνει τρία μέρη. Το πρώτο μέρος (σενάριο αναφοράς), αφορά την απόδοση του σταθμού όταν το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι 100% φυσικός λιγνίτης και εν συνεχεία καταγράφονται οι αλλαγές που υπάρχουν στις περιπτώσεις υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό. Αυτό επιτυγχάνεται με τροφοδοσία ξηρού λιγνίτη από εξωτερική πηγή. Τα εξεταζόμενα ποσοστά υποκατάστασης της προσδιδόμενης θερμικής ισχύος είναι 10, 20 και 30 %. Στο δεύτερο μέρος γίνεται τροφοδοσία με 20% ξηρό λιγνίτη από εξωτερική πηγή και ανακυκλοφορία καυσαερίων (Mill Drying). Τέλος, στο τρίτο μέρος εξετάζεται η τεχνολογία ξήρανσης του καυσίμου WTA, δηλαδή η χρήση ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Dryers), εγκατεστημένο στο υπάρχον κύκλωμα νερού –ατμού του σταθμού.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για να μοντελοποιηθούν όλα τα παραπάνω είναι το Gate Cycle. Είναι ένα εμπορικό-βιομηχανικό πρόγραμμα σχεδιασμού ατμοηλεκτρικών σταθμών. Στις δυνατότητές του περιλαμβάνονται:

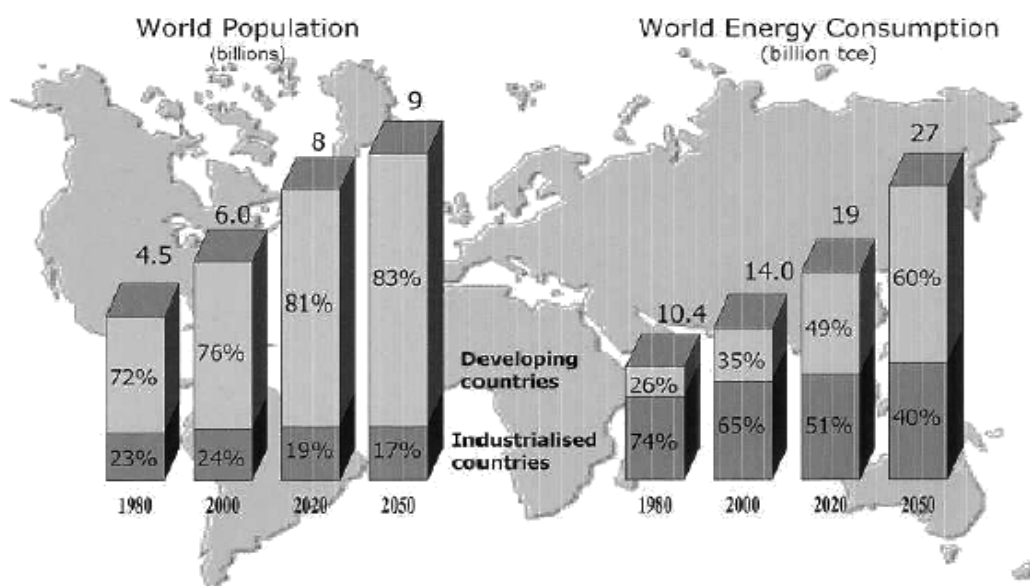
- Η ανάλυση των θερμοδυναμικών στοιχείων του κύκλου του σταθμού (πίεση, θερμοκρασία, ενθαλπία, παροχή) σε κάθε σημείο του, καθώς και η εύρεση της ηλεκτρικής ισχύος και του βαθμού απόδοσής του.
- Η μοντελοποίηση ήδη υπάρχοντων σταθμών σε συνθήκες υπολογισμού ‘off-design’. Οι συνθήκες υπολογισμού ‘off-design’ αναφέρονται στις περιπτώσεις όπου σ’ έναν υπάρχοντα σταθμό δημιουργείται η ανάγκη για κάποιες αλλαγές στη λειτουργία του (χωρίς να αλλάξει η διάταξη της εγκατάστασης), όπως για παράδειγμα την αλλαγή της σύστασης του καυσίμου, και έτσι να φανεί η διαφοροποίηση που υπάρχει σε σχέση με την ‘design’ μοντελοποίηση στο βαθμό απόδοσης, την ηλεκτρική ισχύ και γενικά στα θερμοδυναμικά στοιχεία του κύκλου. Αυτό γίνεται γιατί οι συνθήκες λειτουργίας ‘off-design’ κρατούν σταθερά κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη της εγκατάστασης (π.χ. τα γεωμετρικά) με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την αρχική περίπτωση (design).

1. ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

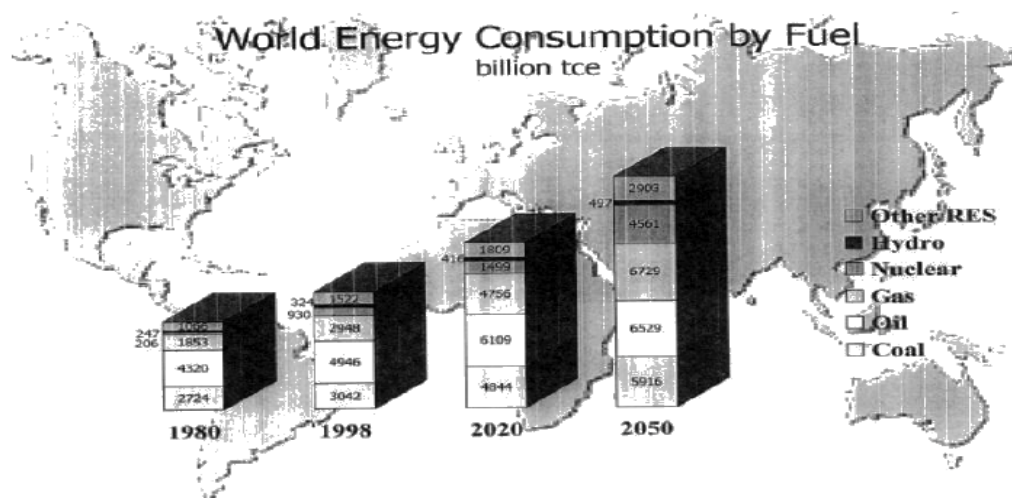
Στις μέρες μας, οι αυξημένες απαιτήσεις των χωρών σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών των σύγχρονων κοινωνιών, έχει οδηγήσει στην αναζήτηση νέων τρόπων παραγωγής ενέργειας και στην προσπάθεια βελτίωσης των ήδη υπάρχοντων, ώστε να πετυχαίνεται ταυτόχρονα και η βέλτιστη παραγωγική ποσότητα αυτής. Έτσι, η ηλεκτρική ενέργεια έχει μετατραπεί σε πολύτιμο αγαθό, ενώ οι τρόποι παραγωγής της σε μείζον θέμα.

Το 1980 ο πληθυσμός της γης ήταν περίπου 4.5 δις και η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανερχόταν σε 10.4 δις TCE (τόνους ισοδύναμου άνθρακα). Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις το έτος 2020 ο πληθυσμός της γης αναμένεται να αυξηθεί σε 8 δις, ενώ η κατανάλωση ενέργειας εκτιμάται ότι θα ανέλθει σε 19 δις TCE, αύξηση 82.61% και 36% σε σχέση με το 1980 και το 2000 αντίστοιχα. Στο σχήμα 1.1.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται σε αντιπαράθεση η αναμενόμενη αύξηση του πληθυσμού της γης καθώς και η εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας μέχρι το έτος 2050. Η μεγαλύτερη αύξηση αναμένεται στις χώρες της Κίνας και της Ινδίας λόγω των αναμενόμενων υψηλών ρυθμών ανάπτυξης των οικονομικών τους.

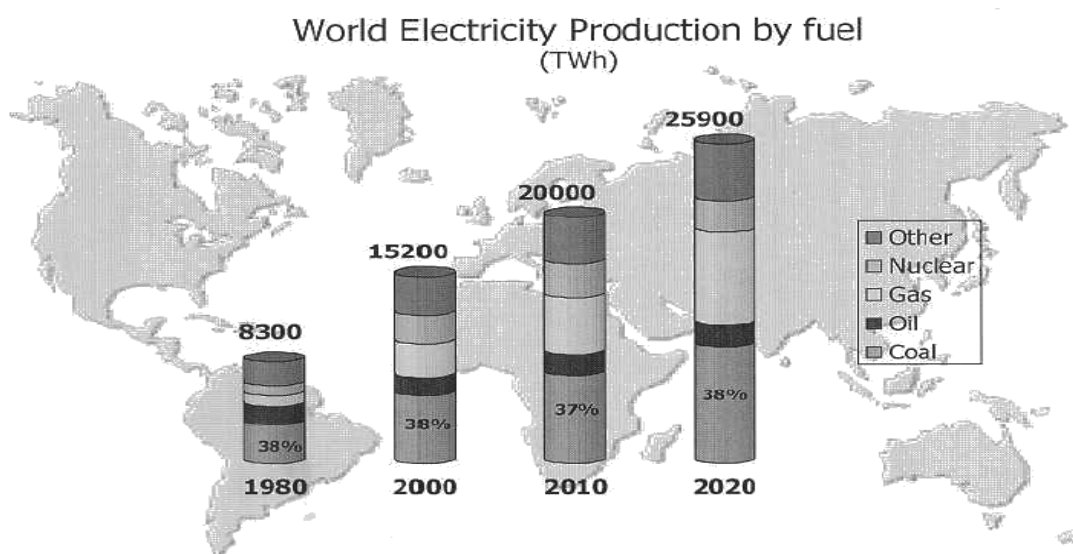


Σχήμα 1.1.1 Πληθυσμιακή αύξηση και κατανάλωση ενέργειας

Στο σχήμα 1.1.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η συμμετοχή των διαφόρων πηγών ενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για τα έτη 1980 και 1998, καθώς επίσης και οι προβλέψεις για την εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας ανά καύσιμο μέχρι το έτος 2050, ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή των διαφόρων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα έτη 1980 – 2020 καθώς και η προβλεπόμενη διαμόρφωση της συμμετοχής των καυσίμων αυτών μέχρι το 2020 παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.3.



Σχήμα 1.1.2 Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά καύσιμο.



Σχήμα 1.1.3 Παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά καύσιμο.

Από τα παραπάνω σχήματα είναι προφανές ότι η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, ενώ η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να έχει την ταχύτερη αύξηση από όλες τις άλλες μορφές ενέργειας.

1.2 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Ο άνθρακας αποτελεί την πιο σημαντική ενεργειακή πρώτη ύλη του ανθρώπου. Κατά τη δεκαετία του 1960 το πετρέλαιο πήρε το προβάδισμα σε σχέση με τον άνθρακα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις η κατανάλωση άνθρακα θα φτάσει στα μέγιστα επίπεδα από τα μέσα του 21^{ου} και κατά τον 22^ο αιώνα, διαδραματίζοντας έτσι πρωτεύοντα ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, σε βάθος χρόνου δεν αποτελούν μία ρεαλιστική και οικονομική λύση, εξαιτίας της μεγάλης διακύμανσης των τιμών τους και της ανασφάλειας που παρουσιάζουν ως προς τον ασφαλή και συνεχή εφοδιασμό τους.

Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Άνθρακα το 37% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής καλύπτεται από τον άνθρακα, ενώ η συμμετοχή του στις συνολικές ανάγκες ανέρχεται περί το 24%. Το ποσοστό αυτό ποικίλει στις διάφορες χώρες. Συγκεκριμένα, στις Η.Π.Α. η συμμετοχή του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξεως του 56%. Στην Κίνα, Ινδία, Πολωνία, Ν. Αφρική και στα Βαλκάνια το ποσοστό συμμετοχής του άνθρακα κυμαίνεται από 75% έως 90%, ενώ στην Ευρωπαϊκή ένωση το ποσοστό αυτό κατά μέσο όρο είναι 27%.

Τα τελευταία χρόνια, η κατανάλωση άνθρακα αυξήθηκε, ενώ η παγκόσμια παραγωγή διπλασιάστηκε. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση άνθρακα αυξήθηκε το 2003 κατά 15% στην Κίνα, 7% στη Ρωσία, 5% στην Ιαπωνία και 2.6% στις Η.Π.Α. Η παγκόσμια παραγωγή αναμένεται να αυξηθεί κατά 50% μέσα στα επόμενα χρόνια φθάνοντας τα 7 δις τόνους το 2030. Στις χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης, συγκεκριμένα, αναμένεται μέχρι το 2020 να αυξηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά ποσοστό 37% σε σχέση με το 2000. Στην αύξηση αυτή ο άνθρακας θα διατηρήσει την κυρίαρχη θέση του.

Γενικά τα στερεά καύσιμα, και ειδικά ο λιγνίτης θα συνεχίσουν και στο μέλλον να κατέχουν πρωτεύοντα ρόλο στις ενεργειακές ανάγκες της Ευρώπης για τους εξής λόγους :

1. Η προμήθεια των στερεών καυσίμων στις χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης είναι εξαιρετικά αξιόπιστη. Οι εισαγωγές άνθρακα πραγματοποιούνται από μεγάλες κυρίως χώρες. (ΗΠΑ, Καναδά, Αυστραλία, Ν.Αφρική κ.τ.λ.).
2. Οι τιμές του άνθρακα παρουσιάζουν αξιοσημείωτη οικονομική σταθερότητα παγκοσμίως. Ως αποτέλεσμα ο άνθρακας είναι και θα παραμείνει ανταγωνιστικό καύσιμο και στο μέλλον σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) τα οποία ακολουθούν ανοδική πορεία συμπαρασυρόμενα από την συνεχώς αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου. Συγκεκριμένα, για περισσότερο από 20 έτη οι τιμές του άνθρακα κυμάνθηκαν από 38 – 40\$ ανά τόνο (πώληση σε ευρωπαϊκό λιμάνι). Αντίθετα οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου χαρακτηρίζονται από έντονες διακυμάνσεις και αστάθεια και παρουσιάζονται απρόβλεπτες και μη ελεγχόμενες.
3. Οι καθαρές τεχνολογίες άνθρακα, υψηλού βαθμού απόδοσης (Ατμοπαραγωγοί υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών – Supercritical Boilers, καύση σε ρευστοποιημένη κλίση υπό πίεση – PFBC, καύση σε περιβάλλον καθαρού οξυγόνου με δέσμευση CO₂ – Oxyfuel Combustion with CO₂ capture, Προξήρανση άνθρακα με εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας – Predrying with internal waste heat utilization, Ολοκληρωμένος συνδυασμένος κύκλος αεριοποίησης του άνθρακα - IGCC) σε συνδυασμό με αντιρρυπαντικές τεχνολογίες και τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες προωθούνται από τις χώρες της Ευρώπης καθώς και τις Η.Π.Α. παρουσιάζονται άκρως υποσχόμενες για το μέλλον του άνθρακα. Οι τεχνολογίες αυτές επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης και ταυτόχρονα παρουσιάζονται φιλικές προς το περιβάλλον, μειώνοντας θεαματικά τις εκπομπές ρύπων. Με τον τρόπο αυτό ο άνθρακας καθίσταται άκρως ανταγωνιστικό καύσιμο σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο λιγνίτης συνεχίζει μέχρι και σήμερα να αποτελεί την πιο ανταγωνιστική και πρωτεύουσα πηγή ενέργειας για τα ελληνικά δεδομένα λόγω των μεγάλων και οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων που παρουσιάζονται στον ελλαδικό χώρο. Το γεγονός αυτό καθιστά τον λιγνίτη πρωταρχικής σημασίας καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες βάσης, αφού καλύπτει ποσοστό μεγαλύτερο του 60% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα μέχρι το 1938 η εξόρυξη του λιγνίτη περιοριζόταν κυρίως σε τοπικό επίπεδο, από τους κατοίκους οι οποίοι χρησιμοποιούσαν το λιγνίτη, ως υποκατάστατο του ξύλου, για τις ανάγκες της οικιακής θέρμανσης. Αρκετά αργότερα, περί το 1950, άρχισε η γεωλογική εξερεύνηση του ελλαδικού χώρου με σκοπό την ανεύρεση κοιτασμάτων λιγνίτη.

Συγκεκριμένα η πρώτη σοβαρή προσπάθεια για την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων στη χώρα μας άρχισε στο Αλιβέρι (Εύβοια) το 1873. Μια πλημμύρα το 1897 κατέστρεψε όλες τις επιφανειακές και υπόγειες εγκαταστάσεις εξόρυξης. Η εκμετάλλευση ξανάρχισε μετά τον πρώτο Παγκόσμιο πόλεμο. Το 1922 η ετήσια παραγωγή έφθασε τους 23.000 τόνους και διατηρήθηκε μέχρι το 1927. Το επόμενο έτος η εκμετάλλευση σταμάτησε για οικονομικούς λόγους.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η ανάγκη εξηλεκτισμού της χώρας οδήγησε στην απόφαση κατασκευής ατμοηλεκτρικού σταθμού στο Αλιβέρι, που θα λειτουργούσε αποκλειστικά με λιγνίτη. Το 1951 η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.) αναλαμβάνει την υπόγεια εκμετάλλευση των ορυχείων στο Αλιβέρι, και κατορθώνει να αυξήσει την ετήσια παραγωγή λιγνίτη σε 750 χιλιάδες τόνους και να τροφοδοτήσει μονάδες ισχύος 280 MW. Η εξερεύνηση του ελλαδικού χώρου για εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη εντείνεται τα επόμενα χρόνια και τα αποτελέσματά της αποδεικνύονται άκρως θετικά.

Το 1955 συστάθηκε η εταιρία ΛΙΠΤΟΛ, που είχε ως αντικείμενο την εξόρυξη και παραγωγή λιγνίτη από τα πλούσια κοιτάσματα στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας, (επιφανειακό λιγνιτορυχείο) καθώς και τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή μπρικετών, αζωτούχων λιπασμάτων, ημικώκ και ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1959 το 90% των μετοχών της ΛΙΠΤΟΛ περιήλθαν στη ΔΕΗ και το 1975 συγχωνεύθηκε η ΛΙΠΤΟΛ με τη ΔΕΗ. Η παραγωγή λιγνίτη που ήταν το 1959 1,3 εκ. τόνους, αυξήθηκε το 1975 σε 11,7 εκ. τόνους, το 1985 σε 27,3 εκ. τόνους και το 2004 σε 53,7 εκατομμύρια τόνους (συμπεριλαμβανομένου και του ορυχείου στη Φλώρινα).

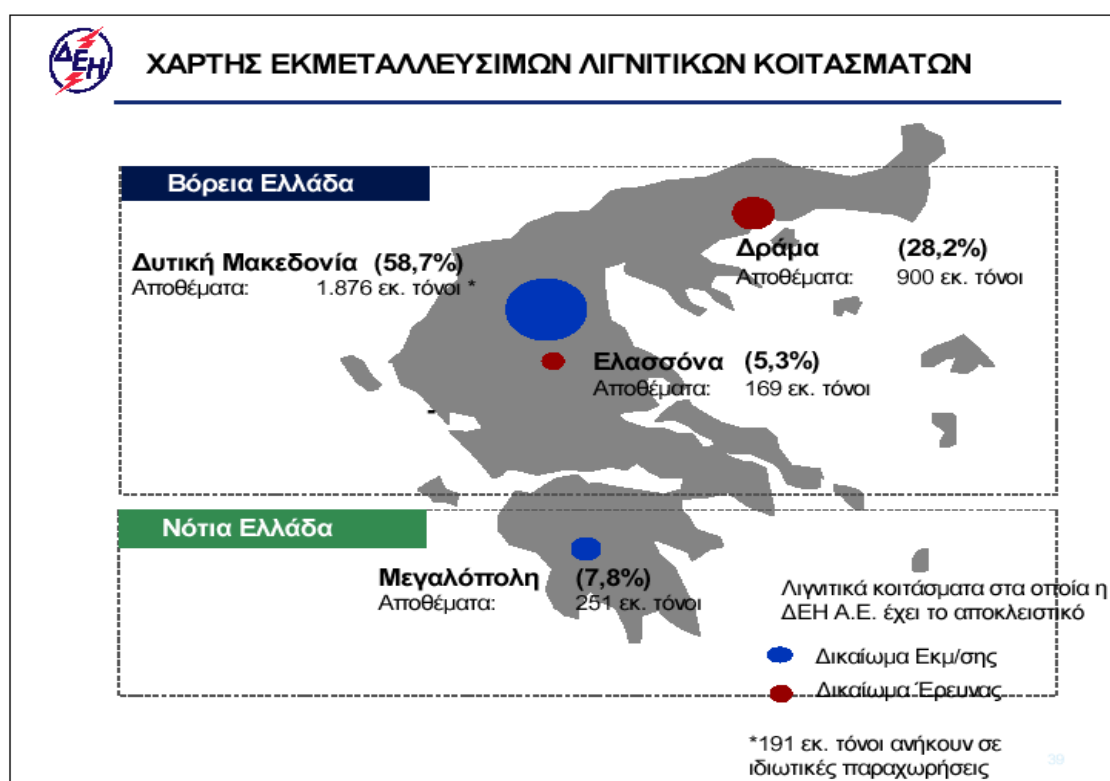
Το λιγνιτικό κοιτάσμα Μεγαλόπολης μελετήθηκε επιστημονικά για πρώτη φορά το 1957 και τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά. Το 1969 άρχισε από τη ΔΕΗ η εκμετάλλευση του λιγνίτη. Το γεγονός αυτό ήταν μία ιδιαίτερη περίπτωση σε παγκόσμιο επίπεδο, επειδή για πρώτη φορά τόσο φτωχός λιγνίτης εξορύσσεται και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το λιγνιτορυχείο της Μεγαλόπολης ξεκίνησε με ετήσια παραγωγή 1 εκ. τόνους και έφθασε το 2005 τους 13.5 εκ. τόνους.

Η αλματώδης πρόοδος που πραγματοποιήθηκε στην εξόρυξη του λιγνίτη τα τελευταία 40 χρόνια ήταν ο ακρογωνιαίος λίθος για την ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας και την δημιουργία ατμοηλεκτρικών μονάδων βάσης, οι οποίες καλύπτουν σήμερα πάνω από το 70% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Σήμερα η ΔΕΗ κατέχει σχεδόν αποκλειστικά δικαιώματα της εκμετάλλευσης του λιγνίτη και παράγει συνολικά περίπου 70 εκ. τόνους λιγνίτη σε ετήσια βάση. Η εντυπωσιακή ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ επιτρέπει στη χώρα μας να κατέχει τη δεύτερη θέση στην παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, την πέμπτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη στον κόσμο.

ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΛΙΓΝΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα φτωχών στερεών καυσίμων όπως είναι ο λιγνίτης και η τύρφη. Η μέχρι σήμερα εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων έχει συμβάλει καθοριστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας αφού ποσοστό της τάξεως του 70% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από το λιγνίτη, καθιστώντας έτσι το λιγνίτη εθνικό καύσιμο πρωταρχικής σημασίας.

Σύμφωνα με το ΠΜΕ, τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα ανέρχονται σε 6.7 δις τόνους εκ' των οποίων οι 3.3 δις τόνοι εκτιμώνται ως εκμεταλλεύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανομή των λιγνιτικών κοιτασμάτων στο ελλαδικό χώρο παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.3.1 Κατανομή των λιγνιτικών κοιτασμάτων στον ελλαδικό χώρο

Όπως φαίνεται από το σχήμα 1.3.1 στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στον άξονα Φλώρινα – Κοζάνη – Πτολεμαΐδα – Ελασσόνα, βρίσκεται συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας, που αποτελεί περίπου το 64% του συνολικού λιγνιτικού αποθέματος.

Πιο συγκεκριμένα για τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα στη Δυτική Μακεδονία έχουμε:

- **Λεκάνη Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου.** Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα ανέρχονται σε 1546 εκ. τόνους.

- **Λεκάνη Φλώρινας.** Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα ανέρχονται σε 330 εκ. τόνους, εκ' των οποίων 191 εκ. τόνοι έχουν παραχωρηθεί σε ιδιώτες.
Οι υπόλοιπες περιοχές που διαθέτουν αξιόλογα λιγνιτικά κοιτάσματα είναι οι εξής:
- **Λεκάνη της Μεγαλόπολης (Πελοπόννησος).** Στην οποία τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 251 εκ. τόνους.
- **Δράμα (Ανατολική Μακεδονία).** Στην περιοχή παρουσιάζεται εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 900 εκ. τόνων λιγνίτη, με σχέση εκμετάλλευσης 6.9:1M³ τόνους και θερμογόνο ικανότητα 4.312 KJ/kg.
- **Ελασσόνα (Θεσσαλία).** Η περιοχή παρουσιάζει εκμεταλλεύσιμο απόθεμα 150 εκ. τόνους με σχέση εκμετάλλευσης 4,3:1M³ τόνους και θερμογόνο ικανότητα 8.582 KJ/kg.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΩΝ

Τα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας (Δυτικής Μακεδονίας και Μεγαλόπολης) ανήκουν στην κατηγορία των φτωχών στερεών καυσίμων. Η ποιότητα του λιγνίτη παρουσιάζει διαφοροποιήσεις όχι μόνο από ορυχείο σε ορυχείο, αλλά και μεταξύ στρωμάτων του ίδιου ορυχείου.

Η θερμογόνο ικανότητα των ελληνικών λιγνιτών κυμαίνεται μεταξύ 4.390 – 5.440 KJ/kg στα κοιτάσματα της Μεγαλόπολης, μεταξύ 7.536 – 9.630 KJ/kg στα κοιτάσματα της Φλώρινας, μεταξύ 5.440 -5.860 KJ/kg στα κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας (Κυρίου Πεδίου, Νοτίου Πεδίου και Καρδιάς) και μεταξύ 4.390 – 5.440 KJ/kg στα κοιτάσματα του Αμυνταίου.

Χαρακτηριστικό του ελληνικού λιγνίτη αποτελεί επίσης το υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου 55%) και τέφρας (περίπου 15-30%). Θα πρέπει επίσης, να σημειωθεί ότι ο λιγνίτης των κοιτασμάτων της Δυτικής Μακεδονίας περιέχει χαμηλά ποσοστά θείου και υψηλά ποσοστά οξειδίων του ασβεστίου, με αποτέλεσμα να ευνοείται η φυσική αποθείωση. Σε αντίθεση ο λιγνίτης της Μεγαλόπολης παρουσιάζει υψηλά επίπεδα θείου, με αποτέλεσμα αυξημένες εκπομπές SO₂ που καθιστούν απαραίτητη την λειτουργία μονάδας αποθείωσης (FGD).

Ωστόσο στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί σημαντική βελτίωση στην ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην προσπάθεια ανάμιξης λιγνιτών διαφορετικών χαρακτηριστικών, που πραγματοποιήθηκε κυρίως από τα λιγνιτορυχεία της ΔΕΗ. Η βελτίωση στα χαρακτηριστικά του λιγνίτη είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου, η οποία μεταφράζεται ως αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και του βαθμού απόδοσης των ατμοηλεκτρικών μονάδων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ :

- **Οικονομικότητα**

Είναι γεγονός ότι το μέσο κόστος της παραγόμενης λιγνιτικής kWh είναι μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος kWh όλων των άλλων καυσίμων (πετρέλαιο & φυσικό αέριο), καθιστώντας έτσι το λιγνίτη άκρως ανταγωνιστικό καύσιμο.

- **Ασφάλεια εφοδιασμού**

Το γεγονός αυτό αποδίδει μεγάλη οικονομική και πολιτική σημασία στον ελληνικό λιγνίτη, ιδιαίτερα εάν ληφθεί υπόψη ότι υπάρχουν αξιόλογα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα των οποίων η εξόρυξη είναι επιφανειακή και σχετικά εύκολη. Ωστόσο η δυνατότητα μακροπρόθεσμης πρόβλεψης της τιμής του, όπου σύμφωνα με αξιόπιστες μεταλλευτικές μελέτες δεν προβλέπεται ιδιαίτερη αύξηση, αυξάνει τη σημασία του λιγνίτη, όσον αφορά την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Το γεγονός αυτό προσδίδει ένα στρατηγικό πλεονέκτημα στο λιγνίτη συγκριτικά με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, οι τιμές των οποίων παρουσιάζουν αστάθεια, μη προβλεψιμότητα καθώς και συνεχείς ανοδικές τάσεις.

Το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου βρίσκονται συγκεντρωμένα σε χώρες που βρίσκονται σε συνεχείς κοινωνικές και πολιτικές αναταραχές, επηρεάζει την τιμή των καυσίμων αυτών, η οποία αποτελεί απρόβλεπτο παράγοντα δυσκολεύοντας τον οικονομικό σχεδιασμό κάθε χώρα που εξαρτάται ενεργειακά από τα καύσιμα αυτά.

Παράλληλα, η εισαγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου προϋποθέτει διαρροή μεγάλων συναλλαγματικών αποθεμάτων, αποδυναμώνοντας με τον τρόπο αυτό την εθνική οικονομία.

- **Εξοικονόμηση συναλλάγματος**

Η χρησιμοποίηση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υποκαθιστά εισαγόμενα καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια αξίας περίπου 1.150 εκ. ευρώ / έτος. Το μέγεθος αυτό καθιστά προφανή την σημασία του λιγνίτη στην ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας, αφού εξοικονομούνται τεράστια ποσά συναλλάγματος.

- **Εγχώριο προϊόν**

Το γεγονός ότι ο λιγνίτης αποτελεί εγχώριο προϊόν είναι εξαιρετικής σημασίας όχι μόνο για την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, αλλά και για την ανάπτυξη των περιφερειακών περιοχών στις οποίες λαμβάνει χώρα η λιγνιτική δραστηριότητα (Ορυχεία και θερμοηλεκτρικές μονάδες). Σύμφωνα με απολογιστικά οικονομικά στοιχεία, από τη ΔΕΗ αποδίδονται σε τοπικές κοινωνίες, όπου αναπτύσσεται η λιγνιτική δραστηριότητα, σε ετήσια βάση 380 εκ. ευρώ με τη μορφή μισθών, έργων και τοπικών προμηθειών.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι στις περιοχές που λαμβάνει χώρα η λιγνιτική δραστηριότητα έχουν δημιουργηθεί θέσεις εργασίας και απασχόλησης, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό την περιφερειακή ανάπτυξη.

- **Ανάπτυξη βιομηχανικών περιοχών**

Ήδη από το 1997 θεσπίστηκε με νόμο το τέλος ανάπτυξης βιομηχανικών περιοχών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς σταθμούς. Τα σημαντικά πόσα που διατίθενται από τη ΔΕΗ, στο πλαίσιο του τέλους αυτού, εφόσον αξιοποιηθούν για αναπτυξιακούς σκοπούς, αναμένεται να προωθήσουν περαιτέρω την ανάπτυξη των περιοχών στις οποίες λειτουργούν ορυχεία και λιγνιτικές μονάδες. Σε ετήσια βάση το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 12 εκ. ευρώ.

- **Τηλεθέρμανση**

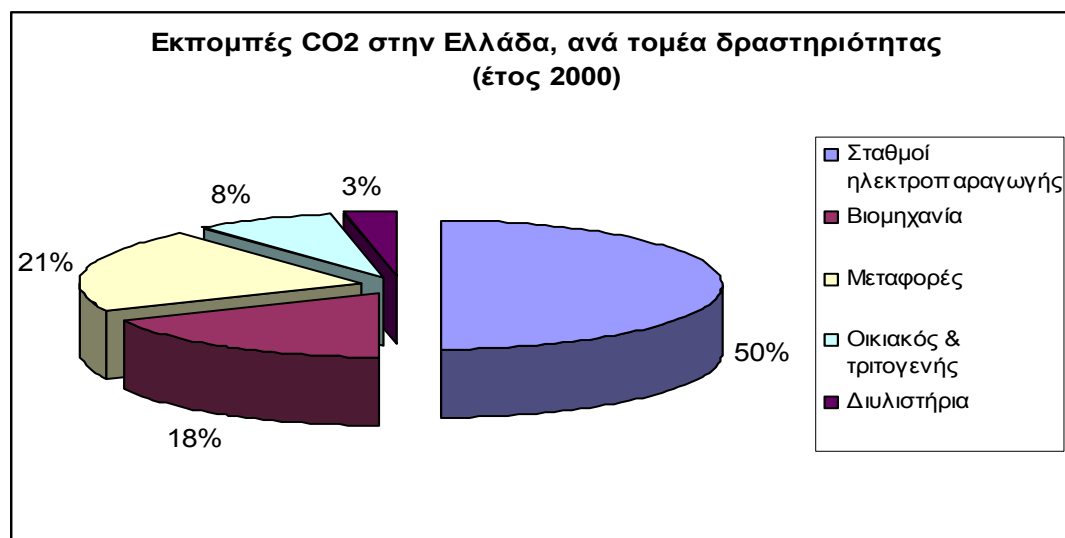
Στην περιοχή της Πτολεμαΐδας τα λιγνιτορυχεία και ατμοηλεκτρικοί σταθμοί διασφαλίζουν τη δυνατότητα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού. Σε αξιόλογο ποσοστό, η θέρμανση της Πτολεμαΐδας και της Κοζάνης πραγματοποιείται με ζεστό νερό το οποίο εξασφαλίζεται από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η παροχή φθηνής οικιακής θέρμανσης στους κατοίκους των περιοχών. Η τηλεθέρμανση αποτελεί για τα ελληνικά δεδομένα μία νέα πρωτοποριακή εφαρμογή που ξεκίνησε από την Πτολεμαΐδα με τη συνεργασία της ΔΕΗ.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΛΙΓΝΙΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα στερεά καύσιμα, ως εκ τούτου και ο λιγνίτης, κατά την καύση τους παρουσιάζουν εκπομπές ιπτάμενης τέφρας, θείου SO₂ και αζώτου NO_x. Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις εκπομπές είναι η σύσταση του καυσίμου, η θερμοκρασία της καύσης, η διάταξη των καυστήρων εντός της εστίας κ.τ.λ.

Για την προστασία λοιπόν του περιβάλλοντος, την αντιμετώπιση των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών και την αειφόρο ανάπτυξη η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει λάβει σειρά περιοριστικών μέτρων, ενώ η υιοθέτηση των αποφάσεων της διάσκεψης του Κιότο (1997), για περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου και ειδικά του CO₂, αυξάνει τους περιοριστικούς παράγοντες στη χρήση των στερεών καυσίμων και θέτει νέες τάσεις στην παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Όσον αφορά την Ελλάδα πρωτεύοντα ρόλο στην εκπομπή ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου διαδραματίζει ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οποίος κατέχει ποσοστό 50% των συνολικών εκπομπών CO₂ σε εθνικό επίπεδο για το έτος 2000 όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3.2 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.3.2 Εκπομπές CO₂ ανά τομέα δραστηριότητας (έτος 2000).

Συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο προβλέπει για την Ευρωπαϊκή Ένωση μείωση των συνολικών εκπομπών έξι αερίων του θερμοκηπίου για την περίοδο 2008 - 2012 κατά 8%, σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 που θεωρείται έτος βάσης. Ωστόσο, ο διακανονισμός των επιμέρους υποχρεώσεων ανάμεσα στα κράτη-μέλη παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με την πρόβλεψη για αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος και της ζήτησης. Οι επιμέρους στόχοι που έχουν τεθεί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 1.3.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1 Καταμερισμός υποχρεώσεων μείωσης των εκπομπών στο εσωτερικό της Ε.Ε.

Χώρα	Ποσοστό	Χώρα	Ποσοστό
Λουξεμβούργο	-28%	Ουγγαρία, Πολωνία, Ολλανδία	- 6%
Γερμανία, Δανία	-21%	Γαλλία, Φινλανδία	0%
Αυστρία	-13%	Σουηδία	+4%
Βρετανία	-12,5%	Ιρλανδία	+13%
Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	- 8%	Ισπανία	+15%
Βέλγιο	- 7,5%	Ελλάδα	+25%
Ιταλία	- 6,5%	Πορτογαλία	+27%

Όπως φαίνεται, στην Ελλάδα έχει επιτραπεί η αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου έως 25% μέχρι το 2012 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Η μη τήρηση των στόχων θα έχει συνέπειες για τη χώρα μας, αφού σε μία τέτοια περίπτωση προβλέπονται αυστηρά οικονομικά πρόστιμα.

Αναφορικά με τις εκπομπές SO₂, NO_x και σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας, που οφείλονται στην καύση του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι ελληνικές λιγνιτικές μονάδες τηρούν τις προδιαγραφές της ευρωπαϊκής κοινοτικής οδηγίας (LCPD Large Combustion Directive, 86/609/EEC). Οι προδιαγραφές αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 1.3.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.2. Όρια εκπομπών κοινοτικής οδηγίας 86/609/EEC

Plants	SO ₂ [mg/m _N ³]	NO _x [mg/m _N ³]	Dust [mg/m _N ³]
P _{th} >500 MW _{th}	<400	650	50
100 MW _{th} < P _{th} <500 MW _{th}	2400 - 4*P _{th}	650	100
for fuels with less than 10 % volatiles	-	1300	-

Για την μείωση των εκπομπών SO₂, οι οποίες εμφανίζονται αυξημένες στην περιοχή της Μεγαλόπολης, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του τοπικού λιγνίτη σε θείο, οι περισσότερες υφιστάμενες λιγνιτικές μονάδες καθώς και όλες οι καινούριες, έχουν υιοθετήσει μονάδες αποθείωσης (FGD – Flue Gas Desulphurisation) με στόχο τη μείωση των εκπομπών SO₂ έως και 95%. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο λιγνίτης της Δυτικής Μακεδονίας εμφανίζει υψηλά ποσοστά ασβεστούχων ενώσεων, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η φυσική αποθείωση.

Όσον αφορά τις εκπομπές ιπτάμενων σωματιδίων τέφρας, η χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων υψηλού βαθμού απόδοσης, στις περισσότερες ελληνικές λιγνιτικές μονάδες συμβάλλει θεαματικά στην μείωση των εκπομπών ιπτάμενων σωματιδίων.

1.4 ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Είναι κοίνα αποδεκτό ότι ο λιγνίτης αποτελεί μια ανταγωνιστική πηγή ενέργειας τόσο για τα ελληνικά δεδομένα όσο και για τις χώρες της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης, αφού καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες αυτές.

Ωστόσο, η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι συνεχώς αυστηρότερες περιβαλλοντικές νομοθεσίες σχετικά με τις επιτρεπόμενες εκπομπές ρύπων και οι αποφάσεις των διεθνών συσκέψεων για την προστασία του περιβάλλοντος και την επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης των σύγχρονων κοινωνιών, οδήγησαν στην αναζήτηση και υιοθέτηση βελτιωμένων τεχνικών καύσης που θα εξασφάλιζαν αφενός μεν υψηλό βαθμό απόδοσης και αφετέρου μειωμένες εκπομπές ρύπων που θα εναρμόνιζαν τη λειτουργία των μεγάλων λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με τις τρέχουσες περιβαλλοντικές νομοθεσίες.

Οι συνθήκες αυτές επέβαλαν τις τελευταίες δεκαετίες την ανάπτυξη μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γαιάνθρακα οι οποίες θα είχαν μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι καθαρές τεχνολογίες καύσης άνθρακα όπως ονομάζονται γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες με μοναδικό εμπόδιο για την ευρεία εφαρμογή τους το απαιτούμενο κόστος των επενδύσεων καθώς και την οικονομική βιωσιμότητά τους.

Οι καθαρές τεχνολογίες διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες με κριτήριο το στάδιο στο οποίο εφαρμόζονται. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει *μεθόδους που στοχεύουν στην προετοιμασία του καυσίμου πριν από την καύση του*, η δεύτερη ασχολείται με *μεθόδους βελτίωσης της καύσης με στόχο τη μείωση των ρύπων εκπομπής* και η τρίτη κατηγορία *πραγματοεύεται την επεξεργασία των καυσαερίων*.

Αναφορικά με την πρώτη κατηγορία, η προετοιμασία του καυσίμου απαιτεί φυσικές ή χημικές διεργασίες οι οποίες αποσκοπούν στη βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου, με μείωση της περιεκτικότητάς του σε υγρασία και τέφρα καθώς και στην αφαίρεση του οργανικού θείου που περιέχεται στο καύσιμο. Έτσι με την εξασφάλιση σταθερής ποιότητας καυσίμου εξασφαλίζεται αύξηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου καθώς και καλύτερη ποιότητα καύσης.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει η διαδικασία της προ ξήρανσης του λιγνίτη, σε εξωτερικό ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης, χωρίς την χρήση θερμών καυσαερίων, με εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας.

Η ενσωμάτωση συστήματος προξήρανσης του λιγνίτη, με εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας, στον κύκλο του ατμού των λιγνιτικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας και τέφρας στο καύσιμο, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμογόνου ικανότητας αυτού. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αύξηση του συνολικού βαθμού απόδοσης της μονάδας, εξοικονόμηση αρχικού καυσίμου, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται αξιόλογη μείωση των εκπομπών CO₂ και σωματιδίων ιπτάμενης τέφρας.

Στην περίπτωση συμβατικών εστιών κονιοποιημένου καυσίμου οι καθαρές τεχνολογίες καύσης που αφορούν πρωτογενή μέτρα μείωσης των παραγόμενων οξειδίων του αζώτου (NO_x), προτείνουν την εισαγωγή αέρα καύσης με τρόπο τέτοιο που να δημιουργούνται εντός της εστίας αναγωγικές και οξειδωτικές ζώνες καύσης ή την ανακυκλοφορία των καυσαερίων. Για τη μείωση του διοξειδίου του θείου (SO₂) χρησιμοποιείται ξηρά αποθείωση, δηλαδή εισαγωγή κονιοποιημένων ασβεστούχων ενώσεων.

Ευρεία είναι πλέον η αποδοχή τεχνολογιών καύσης στερεών καυσίμων, όπως οι εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Combustion). Οι εγκαταστάσεις FBC λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασίες κλίνης 800 – 900° C. Χωρίζονται σε απλές κλίνες και σε κλίνες με ανακυκλοφορία. Οι χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στην εστία και η χρήση των ασβεστούχων αδρανών υλικών αποτελούν του κύριους παράγοντες της σημαντικής μείωσης των εκπομπών NO_x και SO₂. Η τεχνολογία της ρευστοποιημένης κλίνης επιτρέπει την καύση μεγάλης ποικιλίας καυσίμων με μικρή θερμογόνο ικανότητα, μεγάλη κοκκομετρία, ανανεώσιμα καύσιμα όπως βιομάζα, απορρίματα κ.τ.λ. Ο βαθμός απόδοσης προσεγγίζει το 40% και σήμερα λειτουργούν εγκαταστάσεις τέτοιου τύπου, ισχύος 315 MWeI.

Η χρήση εγκαταστάσεων ρευστοποιημένης κλίνης υπό πίεση (Pressure Fluidized Bed Combustion) έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης στο 42 – 45% με μειωμένες απαιτήσεις χώρου, με στόχο για το άμεσο μέλλον την επίτευξη βαθμού απόδοσης 50%. Η τυπική θερμοκρασία εντός της εστίας είναι 800 – 900°C, για πίεση λειτουργίας 10 – 20 bar.

Μια από τις πιο υποσχόμενες καθαρές τεχνολογίες άνθρακα αποτελούν οι ατμοπαραγωγοί υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών (Supercritical Boilers), που οφείλουν την ανάπτυξή τους στην πρόοδο της τεχνολογίας των υλικών. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην επίτευξη πιέσεων μεγαλύτερων της πίεσης του κρίσιμου σημείου (221.2 bar), στις οποίες δεν υπάρχει διαχωρισμός της διφασικής περιοχής νερού-ατμού. Αυξάνοντας έτσι τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ατμού, πετυχαίνουμε αύξηση της παραγόμενης ισχύος και του βαθμού απόδοσης.

Οι υπερκρίσιμες μονάδες παρουσιάζουν αυξημένους βαθμούς απόδοσης της τάξης του 43 -45%, ενώ στόχος είναι η κατασκευή μονάδων μεγέθους 400 – 1000 MW, υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών με βαθμό απόδοσης μεγαλύτερο του 50%. Παράλληλα η αύξηση του βαθμού απόδοσης συνεπάγεται οικονομία καυσίμου και μείωση των εκπομπών ανά παραγόμενη kWh, με σχετικά μικρό επενδυτικό κόστος.

Μία από τις πιο έντονα αναπτυσσόμενες καθαρές τεχνολογίες καύσης είναι η καύση του άνθρακα με αεριοποίησή του, για την παραγωγή αερίου καυσίμου. Η ανάπτυξη των τεχνικών αεριοποίησης τα τελευταία 40 χρόνια υπήρξε σημαντική, με αποτέλεσμα την κατασκευή εξελιγμένων συστημάτων καύσης με τη χρήση συνδυασμένων κύκλων που οδήγησαν στην τεχνολογία IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle).

Η τεχνολογία αυτή έχει ως βάση την αντίδραση του άνθρακα με αέρα ή οξυγόνο και ατμό για την παραγωγή πρωτογενούς αερίου καυσίμου. Το πρωτογενές αέριο καύσιμο αφού υποστεί καθαρισμό από στερεά σωματίδια οδηγείται στον αεριοστρόβιλο όπου λαμβάνει χώρα η καύση του. Τα καυσαέρια στην έξοδο του στροβίλου οδηγούνται σε λέβητα ανάκτησης για την παραγωγή ατμού, ο οποίος αποτονώνεται σε αμμοστρόβιλο παράγοντας τεχνικό έργο. Λόγω των πολλών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα στερεά καύσιμα ως προς τις ιδιότητές τους έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα αεριοποίησης. Οι εγκαταστάσεις IGCC παρουσιάζουν αρκετά υψηλούς βαθμούς απόδοσης, ενώ βασικό πλεονέκτημά τους είναι η θεαματική μείωση των ρύπων με σημαντικότερη την εξάλειψη στερεών σωματιδίων στα καυσαέρια. Η μεγαλύτερη μονάδα IGCC βρίσκεται στο Puertollano της Ισπανίας με εγκατεστημένη ισχύ 335 MW_{el}.

Το τελευταίο στάδιο εφαρμογής των καθαρών τεχνολογιών όπως αναφέρθηκε, είναι η επεξεργασία των καυσαερίων. Με τη χρήση δευτερογενών μέτρων επιτυγχάνεται η μείωση των οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του θείου στα παραγόμενα καυσαέρια. Για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου εφαρμόζεται ευρέως η διεργασία της Επιλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Catalytic Reduction) σε διάφορους αμμοηλεκτρικούς σταθμούς ανά τον κόσμο συνολικής ισχύος 30 GW. Η υπάρχουσα τεχνολογία εξασφαλίζει μείωση των οξειδίων του αζώτου κατά 90%.

Επιπρόσθετα με την έγχυση αμμωνίας στο ρεύμα των καυσαερίων και υπό την παρουσία καταλυτών, προκύπτει δραστική μείωση των οξειδίων του αζώτου, τα οποία μετατρέπονται σε στοιχειακό άζωτο. Παράλληλα χρησιμοποιείται και η Επιλεκτική Μη Καταλυτική Αναγωγή (Selective Non Catalytic Reduction), κατά την οποία η διαδικασία της αναγωγής των οξειδίων του αζώτου σε στοιχειακό άζωτο γίνεται χωρίς τη βοήθεια καταλυτών.

Για τη μείωση του διοξειδίου του θείου χρησιμοποιείται η μέθοδος της υγρής αποθείωσης (Flue Gas Desulphurisation) με τη χρησιμοποίηση ασβεστόχου διαλύματος. Το δευτερογενές αυτό μέτρο αποθείωσης των καυσαερίων λειτουργεί είτε με τη μέθοδο της υγρής αποκονιοποίησης, είτε με καταιονισμό. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις υγρής αποθείωσης έχουν βαθμό απόδοσης μέχρι και 95%.

Η χρησιμοποίηση ασβεστόχων διαλυμάτων εμπλουτισμένων με μαγνήσιο εκτιμάται ότι θα οδηγήσει σε συνολική δέσμευση του 98% του διοξειδίου του θείου, ενώ το παραγόμενο υλικό (γύψος) μετά από ειδική επεξεργασία μπορεί να αποκτήσει εμπορική αξία.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας των μονάδων IGCC έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων συστημάτων αποθείωσης θερμών καυσαερίων με εκτιμώμενο βαθμό απόδοσης 99%, οι οποίες λειτουργούν σε θερμοκρασία 480 – 700°C και χρησιμοποιούν οξείδια μετάλλων όπως ψευδάργυρο – σίδηρο και ψευδάργυρο – τιτάνιο.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

2.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΣΤΕΡΕΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΞΗΡΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Στα στερεά καύσιμα η υγρασία, υφίσταται είτε στην εξωτερική επιφάνειά τους (εξωτερική υγρασία), είτε μέσα στη μάζα τους (υγροσκοπική υγρασία). Η πρώτη μορφή υγρασίας προέρχεται συνήθως από βροχή, από την υγρασία του ορυχείου ή από την κατεργασία του καυσίμου. Η επιφανειακή υγρασία μπορεί να περιοριστεί με την χρησιμοποίηση ρεύματος αέρα που περνά από το σωρό του καυσίμου. Η πιο σημαντική υγρασία είναι η υγροσκοπική υγρασία, η οποία περνά μέσα στη μάζα του καυσίμου, από τους πόρους του, και δεν ελαττώνεται ακόμα και με μακροχρόνια απόθεση του καυσίμου στον αέρα.

Η υγρασία του καυσίμου είναι μία από τις προϋποθέσεις που προκαλούν οξείδωση του καυσίμου κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του. Επιδρά ως καταλύτης της οξείδωσης του άνθρακα, επειδή ο δημιουργούμενος κατά την καύση υδρατμός, επιτείνει την ακτινοβολία του καυσαερίου προς το καύσιμο και αυξάνει τη θερμοκρασία του. Παράλληλα, υψηλό ποσοστό υγρασίας στο καύσιμο συνεπάγεται δυσμενείς συνθήκες τόσο ως προς την καύση του, όσο και ως προς την οικονομική διακίνηση του.

Ωστόσο το πιο σημαντικό μειονέκτημα της υψηλής περιεκτικότητας του καυσίμου σε υγρασία είναι η σημαντική μείωση της θερμογόνου ικανότητας αυτού, υποβαθμίζοντας τη μέγιστη θερμοκρασία καύσης αυτού και συνεπώς και την θερμική ισχύ του καυσίμου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ύπαρξη υψηλού ποσοστού υγρασίας στο καύσιμο αυξάνει το σημείο δρόσου των καυσαερίων. Το γεγονός αυτό προσθέτει επιπλέον απώλειες λόγω θερμών καυσαερίων με αρνητικές επιπτώσεις στο βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

Είναι λοιπόν προφανές ότι η ύπαρξη υψηλού ποσοστού υγρασίας στο καύσιμο συνεπάγεται την υποβάθμιση της θερμικής ισχύος αυτού, τη μείωση της αδιαβατικής θερμοκρασίας καύσης και τον περιορισμό της θερμικής εκμετάλλευσης των θερμών καυσαερίων. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η μείωση του θερμικού βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης και η μη οικονομική εκμετάλλευση του καυσίμου.

Με στόχο την διατήρηση της ανταγωνιστικότητας των στερεών καυσίμων, τα οποία διαδραματίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην διεθνή αγορά ενέργειας, σε μία περίοδο που οι περιβαλλοντικές νομοθεσίες και αποφάσεις των διεθνών συσκέψεων για την προστασία του περιβάλλοντος παρουσιάζονται όλο και πιο αυστηρές, κρίνεται απαραίτητη η αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων που δημιουργεί η ύπαρξη υψηλού ποσοστού υγρασίας στο καύσιμο, με απώτερο στόχο την βελτίωση του βαθμού απόδοσης των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής καθώς επίσης και την οικονομικότερη εκμετάλλευση των στερεών καυσίμων. Έτσι, η χρήση ξηρού λιγνίτη ως καύσιμο των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται απαραίτητη.

2.2 ΜΙΚΤΗ ΞΗΡΑΝΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΞΗΡΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΨΥΧΡΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (MILL DRYING)

Η υιοθέτηση τεχνολογιών ξήρανσης και προετοιμασίας του καυσίμου, σε μονάδες που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα μικρής θερμογόνου ικανότητας και υψηλού ποσοστού υγρασίας, παρουσιάζεται επιτακτική. Η σημαντική αύξηση που επιτυγχάνεται στο θερμικό βαθμό απόδοσης της μονάδας, καθώς και η οικονομία στην κατανάλωση αρχικού καυσίμου, η οποία οδηγεί σε μείωση των ειδικών εκπομπών CO₂, καθιστά τις τεχνολογίες ξήρανσης απολύτως απαραίτητες για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στερεών καυσίμων, στη διεθνή αγορά ενέργειας.

Για την επίτευξη της ξήρανσης των στερεών καυσίμων, πριν την καύση τους στην εστία του ατμοπαραγωγού έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μέθοδοι και τεχνολογίες. Οι περισσότερες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στερεών καυσίμων, χρησιμοποιούν τεχνολογίες κονιοποίησης και ξήρανσης του καυσίμου με ανακυκλοφορία καυσαερίων από το ανώτερο τμήμα της εστίας του ατμοπαραγωγού (ανοικτός & κλειστός κύκλος ξήρανσης και κονιοποίησης).

Το σύστημα της ξήρανσης και κονιοποίησης, αποτελεί ένα σύστημα που επιδρά τόσο στο σχεδιασμό του ατμοπαραγωγού, όσο και στη λειτουργία του στα διάφορα φορτία, καθώς και στην ταχύτητα μεταβολής της ατμοπαραγωγής.

Η ξήρανση, γίνεται συνήθως, με θερμό αέρα ή καυσαέριο, σε περιστρεφόμενα, τύμπανα και συνηθέστερα, κατά την διαδρομή του καυσίμου από το σιλό στο μύλο κονιοποίησης και κατά την διάρκεια της παραμονής του σ' αυτόν. Ξήρανση με αέρα μπορεί να γίνει, εάν η υγρασία φθάνει, μέχρι 40%. Σε μεγαλύτερες περιεκτικότητες υγρασίας, χρησιμοποιούνται θερμά καυσαέρια. Σε περίπτωση στην οποία η περιεκτικότητα σε πτητικά, είναι πολύ μικρή, μπορεί η θερμοκρασία του αέρα ξήρανσης, να φθάσει τους 360°C.

Για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου θερμού αέρα ή καυσαερίων για ξήρανση, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη όχι μόνο οι αεροδυναμικές συνθήκες στο διαχωριστή του μύλου, όπου γίνεται διαχωρισμός του καυσίμου αλλά και η θερμοκρασία του μείγματος καυσαερίων-υδρατμών, γιατί, όταν τα καυσαέρια φθάσουν το σημείο κορεσμού τους σε υδρατμούς, τότε δεν έχουν πια την ικανότητα να απορροφούν υγρασία με αποτέλεσμα η υπόλοιπη υγρασία, παραμένει στον κόκκο του καυσίμου. Η θερμοκρασία του μείγματος καυσαερίων-υδρατμών, πρέπει να είναι πάνω από 100°C, για να αποφεύγεται ενδεχόμενη υγραποίηση των υδρατμών των καυσαερίων, ενώ η θερμοκρασία στους μύλους, εξαρτάται από την σύσταση του καυσίμου καθώς και από το χρησιμοποιούμενο μέσο ξήρανσης.

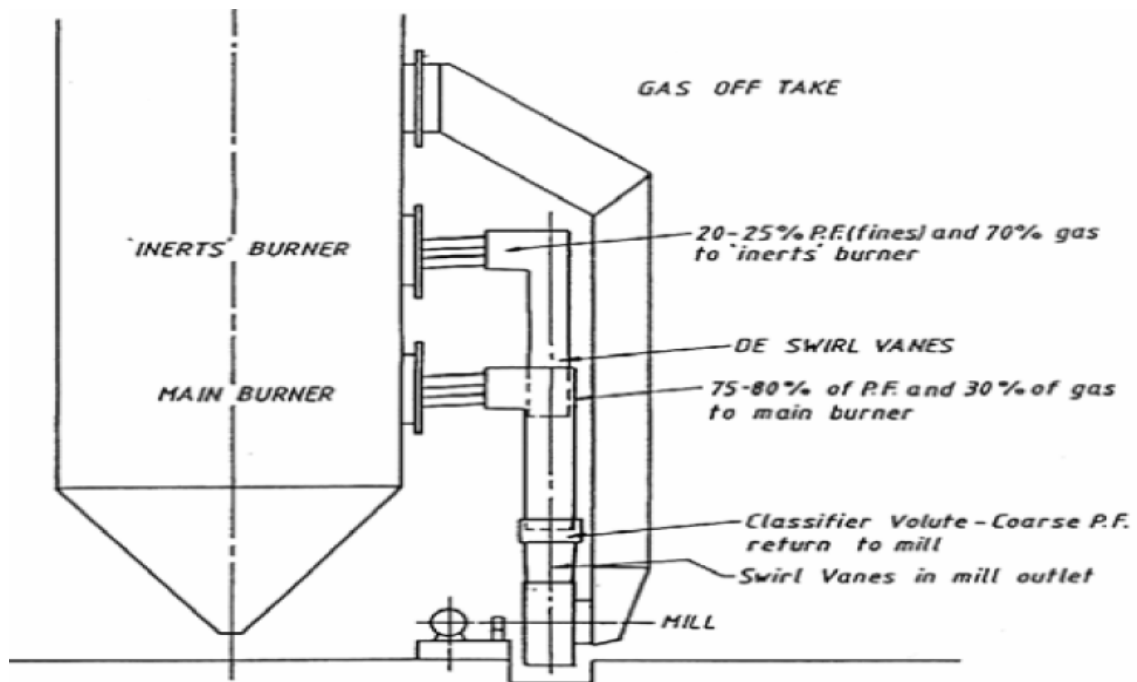
Σε περίπτωση, που η ξήρανση γίνεται με θερμά καυσαέρια, η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει την απελευθέρωση των πτητικών στοιχείων του καυσίμου, που παραμένουν στις διάφορες γωνίες των μύλων. Η περιεκτικότητα του μείγματος καυσαερίων-υδρατμών σε οξυγόνο, πρέπει να είναι μικρότερη από 4%, εφόσον η θερμοκρασία αυτών, φθάνει τους 200 °C. Τα ύψη των θερμοκρασιών, καθορίζονται από τον κίνδυνο ανάφλεξης της ξηρής σκόνης γαιανθράκων και κυρίως φαιανθράκων. Η θερμοκρασία των καυσαερίων στην είσοδο του μύλου για λιθάνθρακες, είναι περίπου 200°C και για φαιάνθρακες, περίπου 500 °C.

Για την ξήρανση του καυσίμου χρησιμοποιούνται, συνήθως, για κάθε μύλο, καυσαέρια που λαμβάνονται από το ανώτερο σημείο του θαλάμου καύσης. Τα καυσαέρια αυτά, θερμοκρασίας 800-1200 °C, κατά την διαδρομή τους προς το μύλο έρχονται σε επαφή, με το προς κονιοποίηση καύσιμο το οποίο έχει μέση διάμετρο περίπου 40 mm. Η μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, εξαρτάται από την υγρασία και την επιφάνεια συναλλαγής του καυσίμου, που είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο λεπτή είναι η κονιοποίηση του.

Τα κύρια μέρη του μύλου και οι βοηθητικές του εγκαταστάσεις, όπως το στροφέιο του, ο διανομέας του καυσίμου, ο διαχωριστής του κονιοποιημένου καυσίμου κλπ., αποτελούν τον κύκλο κονιοποίησης, στον οποίο εισέρχονται το αρχικό καύσιμο και το μέσο ξήρανσης και εξέρχονται, το ξηρό καύσιμο, με μειωμένη υγρασία, και το μείγμα καυσαερίων - υδρατμών.

Το καύσιμο, μεταφέρεται στον κύκλο κονιοποίησης, όπου ξηραίνεται και κονιοποιείται, ενώ βρίσκεται σε συνεχή κίνηση. Η ισχύς του μύλου, επηρεάζεται από την κατάσταση του μέσου μεταφοράς, διότι πρέπει κατά την μεταφορά της σκόνης, να υπερνικηθούν οι αντιστάσεις του διαχωριστή, των καυστήρων, των σωληνώσεων κλπ.

Τα καυσαέρια, ως μέσο ξήρανσης και μεταφοράς, έχουν πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τον θερμό αέρα, λόγω της υψηλής τους θερμοκρασίας, της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητάς τους, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν ασφάλεια, αφού συμπεριφέρονται αδρανώς ως προς τον κονιοποιημένο καύσιμο. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα τυπικό σύστημα προσαγωγής και προξήρανσης του καυσίμου.



Σχήμα 2.1

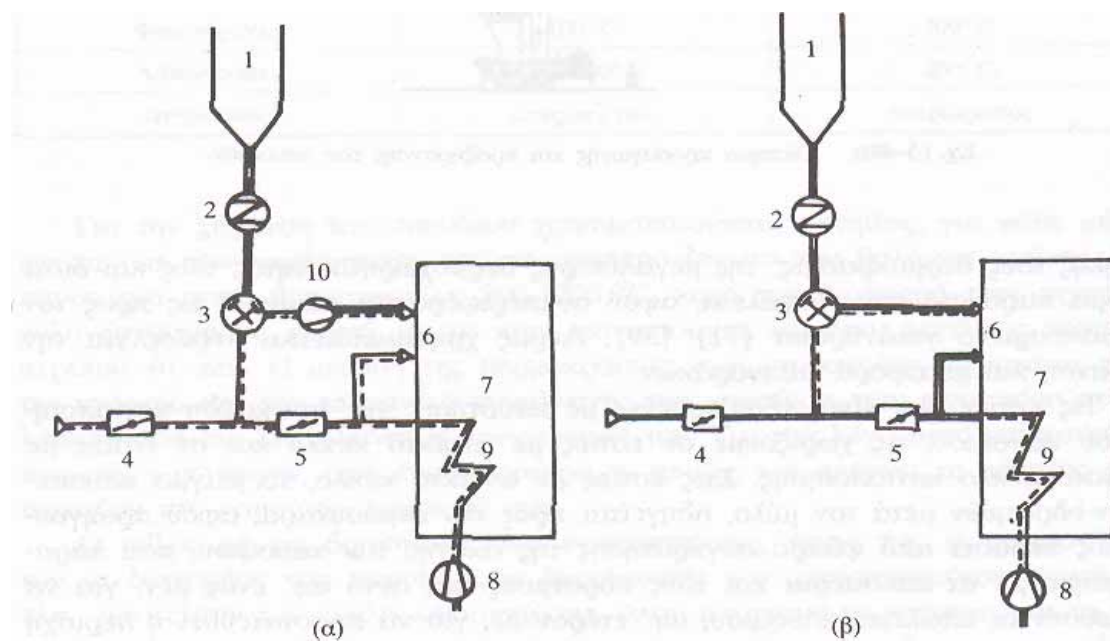
Τις εστίες που είναι εξοπλισμένες με καυστήρες για την καύση κονιοποιημένου καυσίμου, τις χωρίζουμε σε εστίες με ανοικτό κύκλο και σε εστίες με κλειστό κύκλο κονιοποίησης. Στις εστίες με ανοικτό κύκλο, το μείγμα καυσαερίων-υδρατμών μετά τον μύλο, οδηγείται προς την ατμόσφαιρα, αφού προηγουμένως περάσει από φίλτρα συγκράτησης της σκόνης του καυσίμου, που παρασύρθηκε με τα καυσαέρια και τους υδρατμούς και αυτό αφ' ενός μεν, για να μειωθούν οι απώλειες καυσίμου, αφ' ετέρου δε, για να προστατευθεί η περιοχή από ρυπάνσεις. Στις εστίες με κλειστό κύκλο, το μείγμα καυσαερίων-υδρατμών, επαναφέρεται στον αμοπαγωγό, συνήθως πάνω από το επίπεδο των καυστήρων, για να μη μειωθεί η θερμοκρασία στο επίπεδο τους.

Όταν η υγρασία του καυσίμου είναι μεγάλη ή ακόμα όταν η απαγωγή της τέφρας από την εστία γίνεται σε υγρή κατάσταση, συνιστάται η χρησιμοποίηση ανοικτών συστημάτων, για να διατηρείται η θερμοκρασία καύσης σε υψηλό επίπεδο και να μη γίνεται άσκοπη θέρμανση των καυσαερίων ξήρανσης και υδρατμών, που θα είχε συνέπεια την αύξηση των απωλειών, λόγω θερμών καυσαερίων.

Κλειστός κύκλος ξήρανσης και κονιοποίησης.

Η ξήρανση με ανακυκλοφορία καυσαερίων, σε κλειστό κύκλωμα, επιφέρει μείωση των θερμοκρασιακών πεδίων στην εστία του ατμοπαραγωγού, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει τη θερμοκρασία συμπύκνωσης των υδρατμών στα καυσαέρια (σημείο δρόσου). Ωστόσο, η χρησιμοποίηση αέρα ως μέσου ξήρανσης, απαιτεί μεγάλη προσοχή λόγω κινδύνου έκρηξης, ιδιαίτερα στην εκκίνηση και στάση λειτουργίας του συστήματος.

Τυπικά συστήματα κλειστού κύκλου προξηρανσης του καυσίμου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.2
Κλειστός κύκλος ξήρανσης και κονιοποίησης.

α. Μύλος με υποπίεση.

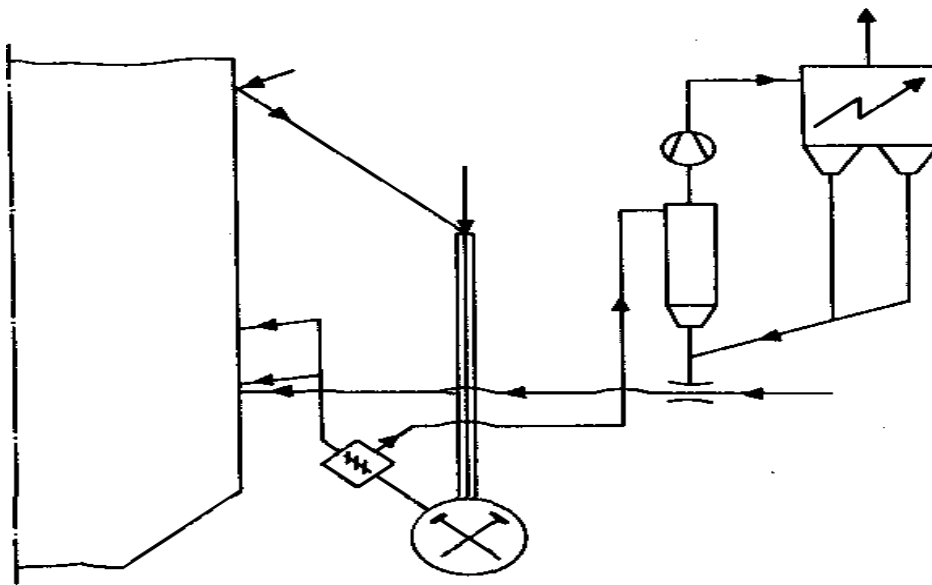
β. Μύλος με υπερπίεση

Το καύσιμο από το σιλό (1) με την βοήθεια του τροφοδότη (2), φτάνει στο μύλο (3), όπου έρχεται σε επαφή με τον αέρα ξήρανσης, ο οποίος έχει προθερμανθεί στον προθερμαντήρα (9). Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται κύκλωμα κλειστού κύκλου ξήρανσης και κονιοποίησης με ενδιάμεση αποθήκευση καυσίμου, το οποίο χρησιμοποιείται ακριβώς όπως και η διάταξη του παραπάνω σχήματος.

Τόσο το μείγμα αερίων – υδρατμών, όσο και το καύσιμο, προσάγονται στην εστία χωριστά, ώστε σε μικρά φορτία να επιτυγχάνεται πλούσιο μείγμα καυσίμου – αέρα. Ως αέρας μεταφοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί θερμός αέρας εάν το καύσιμο δεν παρουσιάζει μεγάλο βαθμό αντίδρασης. Η ενδιάμεση αποθήκευση μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν η περιεκτικότητα του καυσίμου σε πτητικά είναι μικρή ή σε περίπτωση που ο βαθμός αντίδρασης του καυσίμου είναι μικρός. Σε αντίθετη περίπτωση ενδιάμεση αποθήκευση του καυσίμου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε προστατευτική ατμόσφαιρα CO₂ ή άλλου αδρανούς αερίου

Ανοικτός κύκλος ξήρανσης και κονιοποίησης

Στα κλειστά κυκλώματα, τα ψυχρά καυσαέρια και υδρατμοί που προέρχονται από την ξήρανση του καυσίμου, προσάγονται στην εστία, την οποία ψύχουν απορροφώντας θερμότητα από αυτήν και εγκαταλείπουν τον ατμοπαραγωγό με θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία εισόδου τους στην εστία. Η προσαγωγή του μίγματος καυσαερίων και υδρατμών, που προέρχονται από την ξήρανση αποφεύγεται στο ανοικτά κυκλώματα ξήρανσης και κονιοποίησης, στα οποία το μείγμα υδρατμών και καυσαερίων, μετά από κατάλληλη αφαίρεση της περιεχόμενης σκόνης του καυσίμου, οδηγείται στην καπνοδόχο. Το σχήμα 2.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα τυπικό κύκλωμα ανοικτού κύκλου ξήρανσης και κονιοποίησης, με το οποίο επιτυγχάνεται μερική απαγωγή του μίγματος καυσαερίων – υδρατμών στην ατμόσφαιρα, ύστερα από αφαίρεση της σκόνης του καυσίμου. Το ξηρό καύσιμο προσάγεται στην εστία με αποτέλεσμα την ενίσχυση της καύσης.



Σχήμα 2.3
Τυπικό κύκλωμα ανοικτού κύκλου ξήρανσης και κονιοποίησης

Οι υδρατμοί και τα καυσαέρια, καθαρίζονται μηχανικά από την παρασυρόμενη σκόνη του καυσίμου και οδηγούνται, πριν απαχθούν στην ατμόσφαιρα, σε ηλεκτροστατικό φίλτρο. Υπάρχουν εγκαταστάσεις, που το καύσιμο ξηραίνεται από το σύνολο των καυσαερίων. Στην περίπτωση αυτή, τα καυσαέρια λαμβάνονται από τον αμοπαγωγό, με θερμοκρασία 200-300 °C, ανάλογα με την υγρασία του καυσίμου. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της επιφάνειας του προθερμαντήρα αέρα ή ακόμη και την κατάργησή του.

Επειδή η θερμοκρασία λήψης των καυσαερίων, που χρησιμοποιούνται ως μέσο ξήρανσης, είναι ήδη μικρή, η θερμοκρασία τους στην έξοδο του συστήματος ξήρανσης είναι ακόμη μικρότερη (σχεδόν ίση με τη θερμοκρασία κορεσμού των παρεχόμενων υδρατμών). Ως αποτέλεσμα οι απώλειες του αμοπαγωγού λόγω θερμών καυσαερίων μειώνονται στο ελάχιστο.

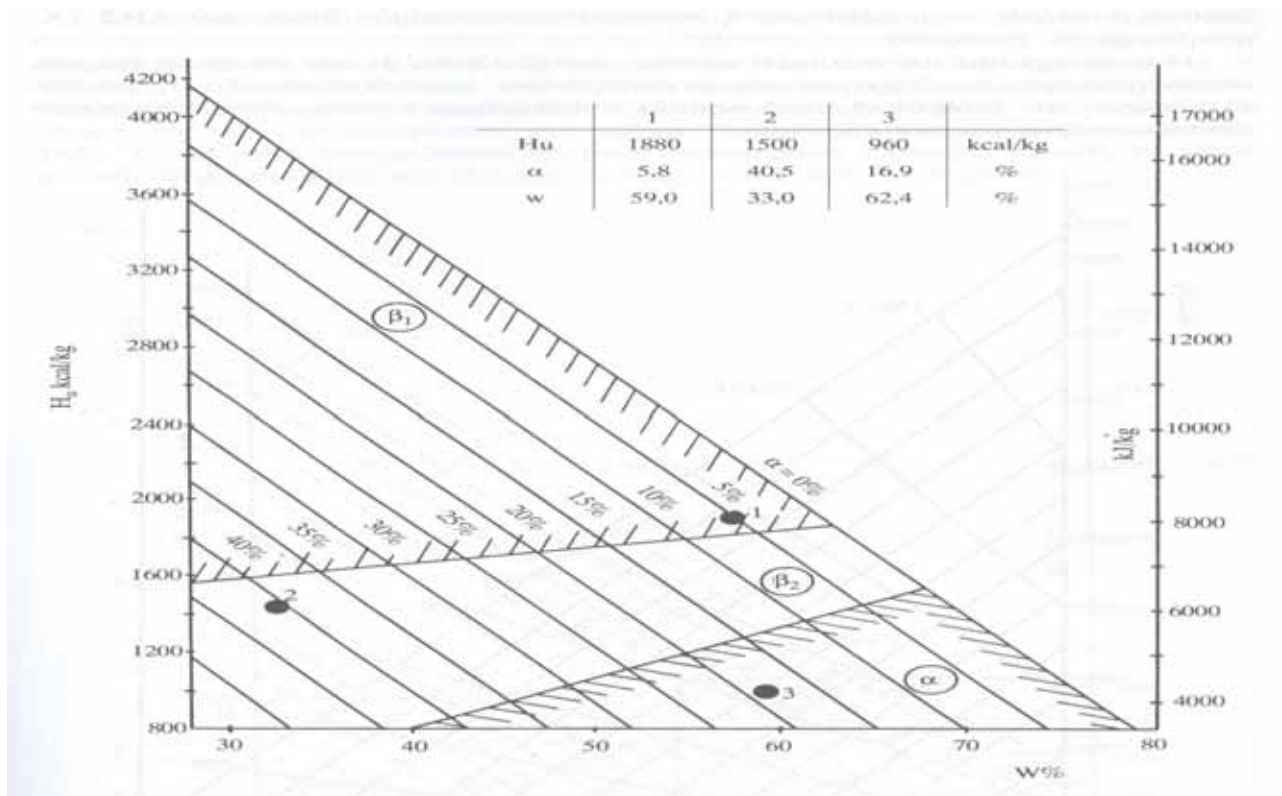
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε περίπτωση καύσης καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, θα πρέπει να εξετασθεί με ιδιαίτερη προσοχή, κατά πόσο είναι σκόπιμη η απαγωγή ψυχρών καυσαερίων και υδρατμών, τα οποία λόγω της χαμηλής τους θερμοκρασίας και της ενδεχόμενης συμπίκνωσης των υδρατμών, μπορούν να επιφέρουν ρύπανση της τοπικής περιοχής.

Εκλογή συστήματος ξήρανσης και κοινοποίησης.

Σε καύσιμα τα οποία παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας, όπως ο λιγνίτης, η εκλογή του συστήματος ξήρανσης καθώς και το σημείο προσαγωγής του μείγματος καυσαερίων – υδρατμών και σκόνης στην εστία, έχει μεγάλη επίδραση στη διατήρηση της καύσης και τις διαστάσεις των βοηθητικών εξοπλισμών του ατμοπαραγωγού. Αυτό συμβαίνει διότι τόσο το σύστημα ξήρανσης όσο και το σημείο προσαγωγής του μείγματος καυσαερίων – υδρατμών στην εστία, επηρεάζει έντονα τα θερμοκρασιακά πεδία εντός της εστίας, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται η μέγιστη θερμοκρασία καύσης οι επιφάνειες συναλλαγής των προθερμαντήρων και υπερθερμαντήρων με αντίκτυπο στην μέγιστη ατμοπαραγωγή της μονάδας, ειδικά κατά τη λειτουργία της στα μερικά φορτία.

Σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να αναφερθεί ότι ο ανοικτός κύκλος ξήρανσης και κοινοποίησης παρουσιάζει πλεονεκτήματα, αναφορικά με τις διαστάσεις του ατμοπαραγωγού, των αγωγών των καυσαερίων και του προθερμαντήρα αέρα. Επίσης πλεονεκτεί λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας των καυσαερίων κατά την απαγωγή τους στην ατμόσφαιρα και της υψηλότερης θερμοκρασίας καύσης που παρουσιάζεται στην εστία του ατμοπαραγωγού, η οποία είναι αναγκαία ειδικά όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα μικρής θερμογόνου δύναμης.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι περιοχές στις οποίες είναι σκόπιμη η χρησιμοποίηση του ενός ή του άλλου συστήματος ξήρανσης, αναφορικά με τη θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου καθώς και την περιεκτικότητά του σε υγρασία



Σχήμα 2.4

Περιοχές χρησιμοποίησης ανοικτού ή κλειστού κύκλου ξήρανσης και κονιοποίησης.

α. Ανοικτός κύκλος ξήρανσης. Διαχωρισμός μείγματος καυσαερίων – υδρατμών και σκόνης καυσίμου. Κλειστός κύκλος ξήρανσης. 1. Άμεση προσαγωγή καυσίμου και 2. Άμεση προσαγωγή με διαχωρισμό του μείγματος καυσαερίων – υδρατμών και προσαγωγή αυτών στο ανώτερο τμήμα της εστίας

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι ο ανοικτός κύκλος ξήρανσης και κονιοποίησης, προτιμάται για καύσιμα με ποσοστό υγρασίας πάνω από 40% και μικρής θερμογόνου δύναμης έως 6.280 KJ/Kg, ενώ κλειστός κύκλος ξήρανσης με άμεση προσαγωγή του καυσίμου, με διαχωρισμό του μείγματος καυσαερίων – υδρατμών και η προσαγωγή αυτών στο ανώτερο τμήμα της εστίας, χρησιμοποιείται για καύσιμα με ποσοστό υγρασίας μέχρι 70% και θερμογόνου δύναμης από 800 έως 1700 Kcal/Kg. Για καύσιμα με μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη από 1600 έως 4200 Kcal/Kg χρησιμοποιείται κλειστός κύκλος ξήρανσης και κονιοποίησης με άμεση προσαγωγή του καυσίμου χωρίς προσαγωγή του μείγματος καυσαερίων – υδρατμών στο ανώτερο τμήμα της εστίας του ατμοπαραγωγού.

Ο ρόλος του μύλου στο σύστημα ξήρανσης και κονιοποίησης.

Ο ρόλος του μύλου στο σύστημα ξήρανσης και κονιοποίησης είναι πρωταρχικής σημασίας, αφού στο μύλο επιτελείται το μεγαλύτερο μέρος της ξήρανσης του καυσίμου, η κονιοποίησή του και ο διαχωρισμός του. Κατά της διάρκεια της κοινής διαδρομής των καυσαερίων και του καυσίμου μέχρι τον μύλο, η ξήρανση επιτυγχάνεται με τα θερμά καυσαέρια, με αποτέλεσμα την αφαίρεση μέρους της περιεχόμενης στο καύσιμο υγρασίας. Για τη μείωση της υγρασίας μέχρι την τελική τιμή της, που είναι αναγκαία για την ανάφλεξη του καυσίμου, η κοινή διαδρομή του καυσίμου και των θερμών καυσαερίων μέχρι το μύλο συνήθως είναι αρκετή, υπό την προϋπόθεση ότι το μέσο μέγεθος του κόκκου μετά την κονιοποίηση είναι αρκετά μικρό.

Εάν η προσαγωγή του καυσίμου στους καυστήρες είναι άμεση, δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση φυσητήρα για την μεταφορά του καυσίμου, η οποία πραγματοποιείται συνήθως με μείγμα προθερμασμένου και ψυχρού αέρα.

Για την κονιοποίηση καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και πτητικά, χρησιμοποιούνται μύλοι με τροχό και πτερύγια πρόσκρουσης, ενώ ως μέσο ξήρανσης και μεταφοράς του καυσίμου χρησιμοποιούνται θερμά καυσαέρια από το ανώτερο τμήμα της εστίας του ατμοπαραγωγού. Η κονιοποίηση των καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία θεωρείται ικανοποιητική όταν το κατάλοιπο σε κόσκινο R.0.09, να είναι περίπου 40-50%, ενώ η απαιτούμενη ποσότητα αερίου που είναι απαραίτητη για τη μεταφορά της σκόνης του καυσίμου εξαρτάται από την περιεκτικότητα του αερίου σε πτητικά. Μέσες τιμές της περιεκτικότητας του αερίου μεταφοράς για διάφορους τύπους στερεών καυσίμων δίδονται παρακάτω.

- Φτωχοί σε αέρια λιθάνθρακες: $0.7 \text{ kg/m}^3_{\text{n}}$.
- Πλούσιοι σε αέρια λιθάνθρακες: $0.4 \text{ kg/m}^3_{\text{n}}$.
- Φαιάνθρακες: $0.2 - 0.4 \text{ kg/m}^3_{\text{n}}$.

Η ποσότητα του νερού που αφαιρείται από 1 kg καυσίμου κατά την ξήρανση είναι:

$$N = \frac{w - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{καυσίμου}}$$

Όπου:

w ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{καυσίμου}}$): η περιεχόμενη υγρασία του φυσικού καυσίμου.

ε ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{kg}_{\text{καυσίμου}}$): η περιεκτικότητα σε υγρασία του ξηρού καυσίμου.

Η ποσότητα του ξηραθέντος καυσίμου $(1 - N)\text{kg}$, έχει παραμένουσα υγρασία $(w - N)\text{kg}$ και $(1 - w)\text{kg}$ ξηρού καυσίμου.

Η θερμότητα που προσάγεται στο μύλο και στο σύστημα ξήρανσης γενικότερα, χρησιμοποιείται για την ατμοποίηση της υγρασίας, την υπερθέρμανση του παραγόμενου ατμού, τη θέρμανση του καυσίμου και της παραμένουσας υγρασίας από την θερμοκρασία αναγωγής μέχρι τη θερμοκρασία εξόδου από τον μύλο. Θεωρώντας 20°C τη θερμοκρασία του φυσικού καυσίμου καθώς και α% τις άδηλες απώλειες του συστήματος ξήρανσης προς το περιβάλλον, η απαραίτητη θερμότητα την οποία πρέπει να προσφέρεται από το μέσο ξήρανσης είναι η εξής:

$$q = (1 + a\%) \cdot \{ [N \cdot (r + \bar{c}_{pD} \cdot (\theta_2 - 20))] + (w - N) \cdot (\theta_2 - 20) \cdot \bar{c}_{pw} + (1 - w) \cdot (\theta_2 - 20) \cdot c_k \} \quad (1)$$

(kJ / kg_{φυσικό_καυσίμου})

Όπου:

r : λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης

\bar{c}_{pD} : μέση ειδική θερμοχωρητικότητα του ατμού (kJ / kg·°C)

\bar{c}_{pw} : μέση ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού (kJ / kg·°C)

\bar{c}_k : μέση ειδική θερμοχωρητικότητα του καυσίμου, $\bar{c}_k \approx 1.3$ (kJ / kg·°C)

θ_2 : θερμοκρασία εξόδου από τον μύλο.

Μετά τον διαχωριστή το αέριο μεταφοράς, το οποίο είναι μείγμα καυσαερίων και υδρατμών, θα πρέπει να συγκρατεί και να μεταφέρει ορισμένη ποσότητα καυσίμου. Ο απαιτούμενος όγκος αερίου μεταφοράς, για τη μεταφορά 1kg καυσίμου δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$V = \frac{1 - N}{s} \cdot \left(\frac{273}{273 + \theta_2} \right) - 1 \cdot 244 \cdot N, \quad (m_n^3 / kg_{\text{φυσικό_καυσίμου}}) \quad (2)$$

Όπου:

s : η περιεκτικότητα σκόνης σε (kg / m_n³) στο αέριο μεταφοράς.

Από τις σχέσεις (1) και (2) υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμοκρασία θ_1 των καυσαερίων που χρησιμοποιούνται ως μέσο ξήρανσης και μεταφοράς.

$$\theta_1 = \frac{q}{\bar{c}_{ραερ} \cdot V} \cdot \theta_2$$

Όπου:

$\bar{c}_{ραερ}$: η μέση ειδική θερμοχωρητικότητα του αερίου ξήρανσης.

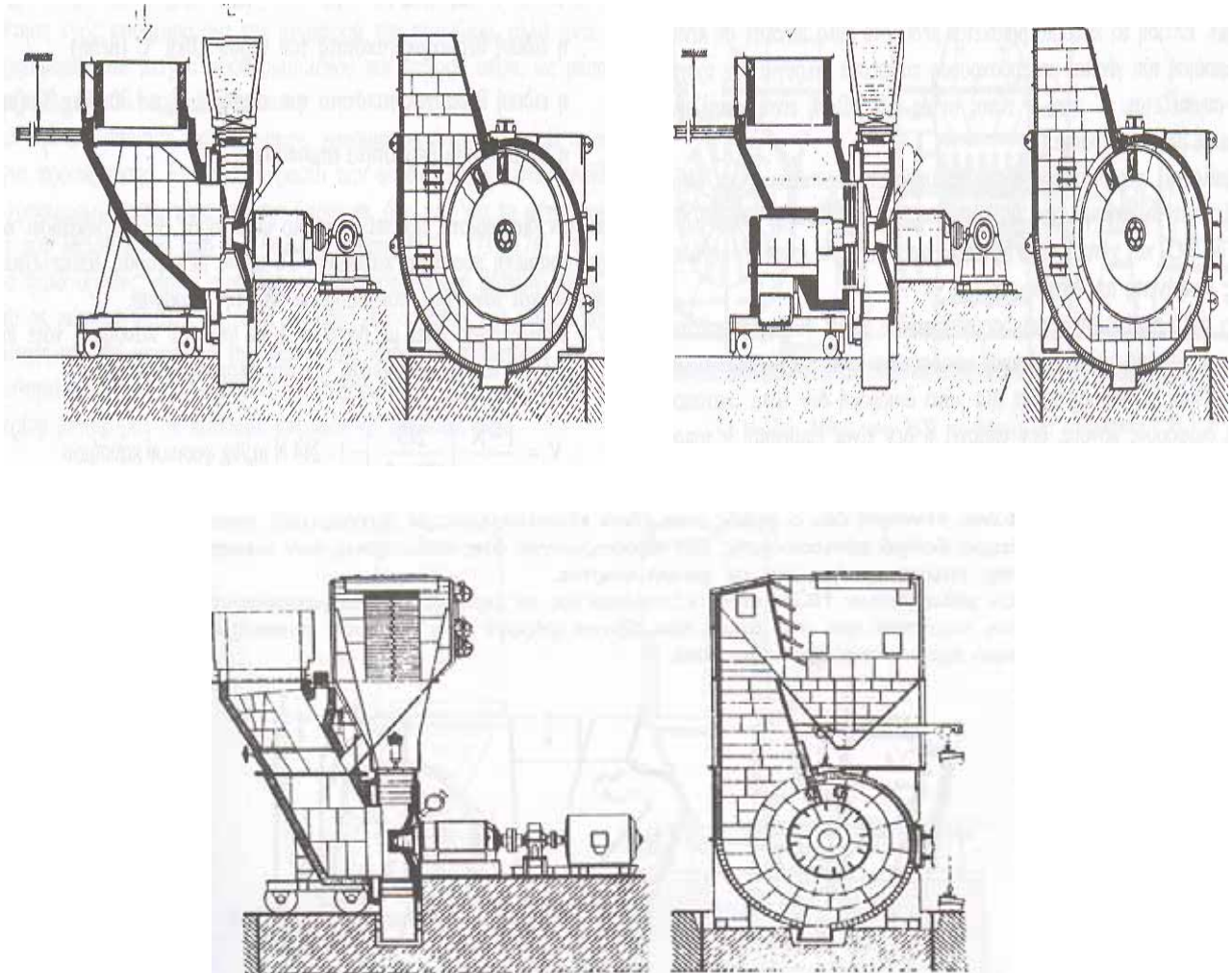
Τα στερεά καύσιμα, εκτός από την καύσιμη ύλη, περιέχουν, ανάλογα με την προέλευσή τους, αδρανείς ουσίες οι οποίες είναι ομοιόμορφα ή ανομοιόμορφα κατανομημένες στη μάζα τους. Οι ουσίες αυτές κονιοποιούνται μαζί με το καύσιμο και μάλιστα τόσο περισσότερο, όσο πιο λεπτός γίνεται ο κόκκος του καυσίμου. Με

την κονιοποίηση, επιτυγχάνεται και ένας μερικός διαχωρισμός του καυσίμου και των αδρανών ουσιών, της τέφρας, λόγω των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων τους. Οι συνήθεις τύποι μύλων, αποτελούνται από το μύλο και το σύστημα διαχωρισμού με το οποίο ρυθμίζεται το μέγεθος του κόκκου, με την επαναφορά του καυσίμου στο μύλο.

Ο μηχανικός διαχωρισμός με τη συνεχή επαναφορά της βαρύτερης ορυκτής ύλης και τέφρας έχει σαν αποτέλεσμα, της λεπτότερη κονιοποίησή της, χωρίς αυτό να είναι ουσιαστικά απαραίτητο. Μεταξύ μύλου και διαχωριστή δημιουργείται μία εσωτερική κυκλοφορία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απαιτούμενης ισχύος των μύλων καθώς και την πρόωρη φθορά τους. Για το λόγο αυτό σε πολλές εγκαταστάσεις τοποθετούνται μύλοι χωρίς διαχωριστή. Στις εγκαταστάσεις αυτές όμως παρατηρούνται αυξημένες ποσότητες ακαύστων τόσο στην ξηρή όσο και στην πτητική τέφρα.

Η απλή κατασκευή των φουσητήρων μύλων, είναι και ο λόγος που προτιμούνται στους ατμοπαραγωγούς μεγάλης ισχύος, όταν το καύσιμο, παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα υγρασίας, όπως ο λιγνίτης. Στους μύλους αυτούς, χρησιμοποιούνται καυσαέρια και υδρατμοί, για την μεταφορά του κονιοποιημένου καυσίμου, μέχρι τον καυστήρα. Σε μικρά φορτία, όταν η παροχή του μείγματος καυσαερίων-υδρατμών, είναι μικρή, παρουσιάζεται και μικρότερη ταχύτητα του μείγματος στο διαχωριστή, με αποτέλεσμα, το μέγεθος του κόκκου του καυσίμου που φθάνει στον καυστήρα, να είναι μικρότερο.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται διάφοροι τύποι μύλων, πτερυγοφόροι ή με σφύρες, με ή χωρίς διαχωριστή.



Σχήμα 2.5

Τύποι μύλων χωρίς διαχωριστή (αριστερά) με διαχωριστή (δεξιά), μύλος με σφύρες χωρίς διαχωριστή (κάτω).

Το μεγαλύτερο μέρος της κονιοποίησης και ξήρανης, γίνεται στα περύγια πρόσκρουσης του περυγιοφόρου τροχού. Για την επίτευξη εντατικής κονιοποίησης και επίσης, επειδή ο περυγιοφόρος τροχός, αποτελεί ένα ακτινικό φουσητήρα, πρέπει τα περύγια (πλάκες πρόσκρουσης), να έχουν τέτοιο μέγεθος, ώστε στην εξωτερική διάμετρο του τροχού, να επιτυγχάνονται ταχύτητες, 80-90 m/sec.

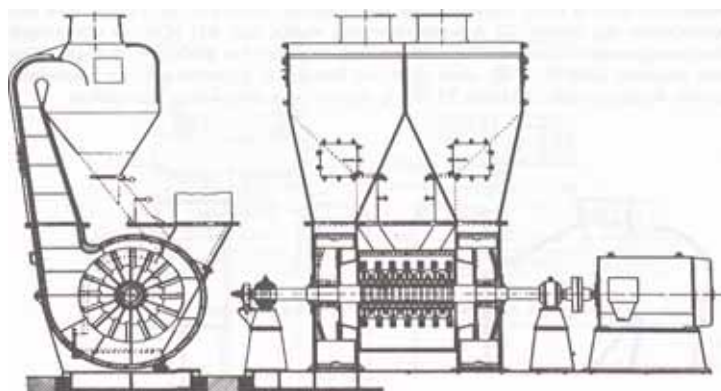
Οι πλάκες πρόσκρουσης, υφίστανται μεγάλες διαβρώσεις και το πάχος τους φθάνει πολλές φορές, μέχρι 120 mm. Το βάρος ενός περυγιοφόρου τροχού για παροχή 120 t/h, είναι περίπου 25000 kg, περιστρέφεται με 400-500 στροφές το λεπτό και φέρει 12 πλάκες πρόσκρουσης. Οι μεγαλύτερες θερμικές καταπονήσεις, παρουσιάζονται, σε λειτουργία πλήρους φορτίου, οπότε η θερμοκρασία στην είσοδο του μύλου, φθάνει τους 500-650 °C. Είναι προφανές συνεπώς ότι, ο περυγιοφόρος τροχός, υφίσταται πολύ μεγάλες θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις.

Ο άξονας του τροχού του φουσητήρα, στον μεν μύλο DGS, εδράζεται και στα δύο άκρα του και φέρει εκτός από τον τροχό του φουσητήρα και ομάδα σφυρών, στον δε μύλο της EVT, ο άξονας εδράζεται μόνο από την πλευρά του φουσητήρα τροχού και σε ορισμένες κατασκευές είναι εξοπλισμένος με ομάδα σφυρών, αλλά με ξεχωριστή

κίνηση και αντίθετη διεύθυνση στρέψης, από τον φυσητήρα τροχό πρόσκρουσης, ωστόσο και οι δυο τύποι των μύλων, μπορούν να εφοδιασθούν με διαχωριστές.

Για την κονιοποίηση, χρησιμοποιούνται τα πτερύγια του φυσητήρα τροχού, τα οποία ταυτόχρονα προκαλούν και αύξηση της πίεσης στο μύλο, έτσι ώστε, να χρησιμοποιούνται μετά τον μύλο, ένας κοινός διαχωριστής και στην εστία ένας απλός καυστήρας. Πολλές φορές, πριν από τον πτερυγοφόρο τροχό, τοποθετείται σύστημα με σφύρες, ώστε να γίνεται προεργασία της κονιοποίησης και καλύτερη κατανομή του καυσίμου στην πτερυγοφόρο τροχό, του οποίου η περιφερειακή ταχύτητα φθάνει τα 80-90 m/sec. Επειδή το καύσιμο βρίσκεται μέσα στο μύλο πάντοτε σε κίνηση και η κονιοποίηση του γίνεται με πρόσκρουση πάνω στα πτερύγια του τροχού, χωρίς να συμπιέζεται, για το λόγο αυτό ο συγκεκριμένος τύπος μύλου, είναι κατάλληλος για καύσιμα με μεγάλη υγρασία. Ο μύλος με πτερυγοφόρο τροχό πρόσκρουσης, κατασκευάζεται δίχως διαχωριστή στην περίπτωση που το προς ξήρανση και κονιοποίηση καύσιμο, παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 και γενικά, όταν η τέφρα του καυσίμου, επιφέρει μεγάλες φθορές στις επιφάνειες του διαχωριστή.

Μια άλλη περίπτωση χρησιμοποίησης μύλου χωρίς διαχωριστή, είναι όταν, το καύσιμο σε μία μόνο διαδρομή κονιοποιείται στο προβλεπόμενο μέγεθος. Εάν ο βαθμός κονιοποίησης, σε μια μόνο διαδρομή δεν είναι ικανοποιητικός και για διάφορους λόγους, δεν υπάρχει ή δεν είναι επιθυμητή η τοποθέτηση διαχωριστή, τοποθετούνται πριν από τον τροχό πρόσκρουσης, σφύρες έτσι ώστε, τελικά να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός βαθμός κονιοποίησης. Είναι ευνόητο ότι, ο μύλος που είναι εξοπλισμένος με διαχωριστή, επιτρέπει καλύτερο βαθμό κονιοποίησης και προσαρμογής στις απαιτήσεις των καυστήρων και της εστίας, ακόμα και σε μικρά φορτία. Οι μύλοι τύπου HGS, είναι εξοπλισμένοι με σφύρες που περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα και στα άκρα του άξονα φέρουν δύο τροχούς φυσητήρες, ενώ το καύσιμο προσάγεται εφαπτομενικά. Τυπικός μύλος τύπου HGS παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.6
Μύλος τύπου HGS της Babcock

2.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΞΗΡΑΝΤΗΡΩΝ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΕΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η τεχνική της ξήρανσης στερεών καυσίμων σε ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης αποτελεί μια από τις σύγχρονες μεθόδους ξήρανσης, εξαιτίας του μεγάλου ρυθμού συναλλαγής θερμότητας που επιτυγχάνεται ανάμεσα στο μέσο ξήρανσης και στο προς ξήρανση καύσιμο, της ευκολίας ελέγχου της διεργασίας καθώς και της συνεχούς και αξιόπιστης λειτουργίας των συστημάτων του τύπου αυτού.

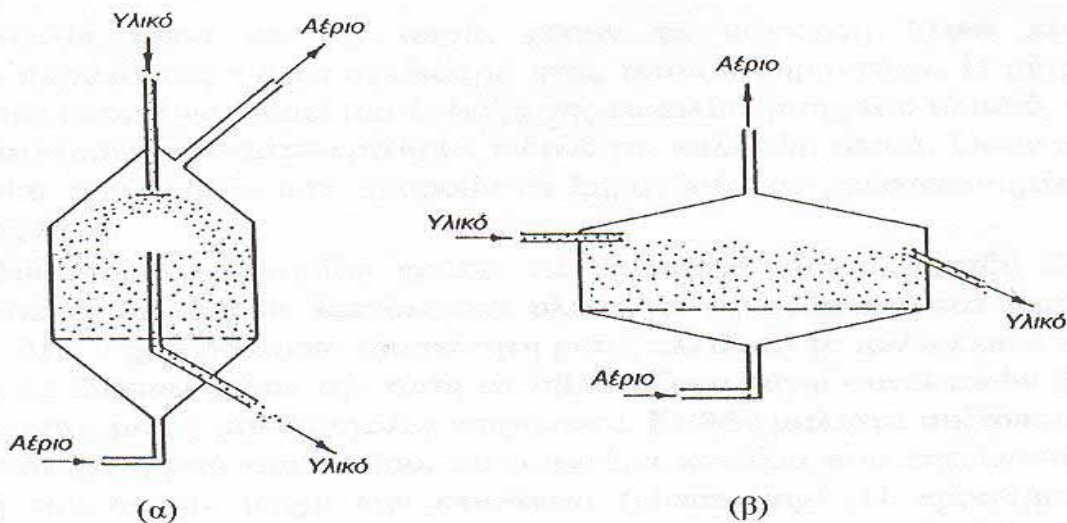
Τα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει η τεχνολογία της ξήρανσης σε ρευστοποιημένη κλίνη (fluidized Bed Drying), συγκρινόμενη με τις προαναφερθείσες τεχνολογίες ξήρανσης συνοψίζονται στα εξής:

1. Η ομαλή και ομοιόμορφη ροή των ρευστοποιημένων σωματιδίων του καυσίμου επιτρέπει τη συνεχή και μη διακοπτόμενη λειτουργία του συστήματος.
2. Σε σύγκριση με άλλες μηχανικές – θερμικές μεθόδους, υπάρχει εξοικονόμηση μηχανικής ενέργειας και μείωση του κόστους συντήρησης στο ελάχιστο.
3. Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας από το μέσο ξήρανσης και ρευστοποίησης προς το προς ξήρανση καύσιμο έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή υπερθέρμανσης του καυσίμου, που ενδεχομένως να δημιουργούσε κίνδυνο αυτανάφλεξης.
4. Οι μεγάλοι ρυθμοί μεταφοράς μάζας και ενέργειας επιτρέπουν την χρησιμοποίηση διαφόρων μέσων ξήρανσης (αέρας, καυσαέρια, ατμός), για την πρόσδοση της απαραίτητης θερμότητας ξήρανσης στο καύσιμο.
5. Η γρήγορη και καλή ανάμιξη των κόκκων του καυσίμου έχει ως αποτέλεσμα ισοθερμικές καταστάσεις και ομοιομορφία του στερεού καυσίμου εντός της ρευστοποιημένης κλίνης.

Η τεχνολογία της ξήρανσης σε ρευστοποιημένη κλίνη βασίζεται στο πέρασμα θερμού αερίου (μέσο ξήρανσης) μέσα από την κλίνη του καυσίμου το οποίο βρίσκεται στην εσχάρα υποστήριξης, η οποία έχει και το ρόλο του διανεμητή του αερίου. Όταν η ταχύτητα του θερμού αερίου υπερβεί την ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης, η κλίνη του στερεού καυσίμου διαστέλλεται μέχρις ότου φθάσει σε μία κατάσταση, όμοια με αυτή του αναβράζοντος ρευστού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ρευστοποίηση.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μέσο ξήρανσης στα συστήματα αυτά έχει διπλό ρόλο, αφού αφενός μεν προσδίδει την απαραίτητη για την ξήρανση θερμότητα, αφετέρου εξασφαλίζει καλή ανάμιξη και ομοιομορφία του καυσίμου.

Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης στερών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής είναι συνεχούς λειτουργίας και κατηγοριοποιούνται σε δύο κατασκευαστικούς τύπους, ανάλογα με το μοντέλο της ροής του καυσίμου εντός αυτών. Έτσι έχουμε ξηραντήρες με τη ροή του υλικού να πλησιάζει την ιδανική ανάμιξη και οι οποίοι έχουν τη μορφή δεξαμενής, με το λόγο μήκους προς πλάτος της ρευστοποιημένης κλίνης να είναι σχετικά μικρός και ξηραντήρες με τη ροή του υλικού να προσεγγίζει τη ροή βύσματος, οι οποίοι έχουν τη μορφή σκάφης.



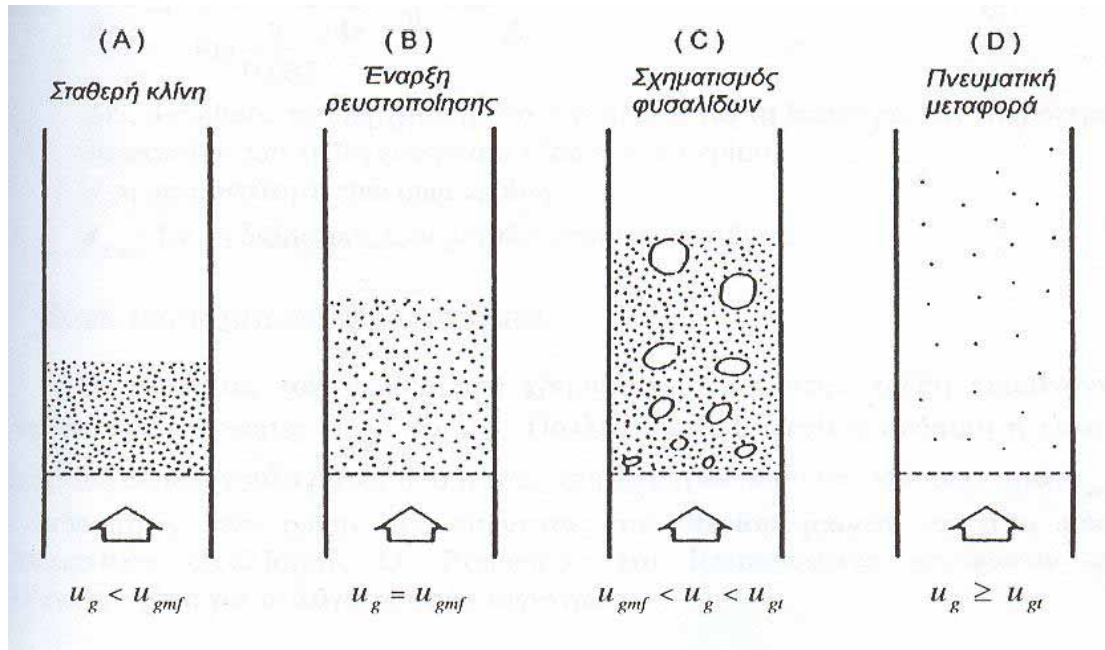
Σχήμα 2.7

Ρευστοποιημένη κλίνη με ροή τέλει ανάμιξης (α) και ροή βύσματος (β).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ευκολία με την οποία ρέουν οι κόκκοι του στερεού καυσίμου εντός της κλίνης αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για τον σχεδιασμό ενός ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος ξήρανσης. Έτσι, η μέση διάμετρος των κόκκων του καυσίμου πρέπει να βρίσκεται σε στενά προκαθορισμένα όρια και αυτό διότι τα λεπτόκοκα στερεά μπορεί να ρευστοποιούνται ευκολότερα απ' ό,τι τα χονδρόκοκα στερεά, αλλά και τα πολύ λεπτά και μικρά σωματίδια έχουν την τάση να συγκεντρώνονται και να προσκολλώνται λόγω συνεκτικών δυνάμεων που σχετίζονται με τις πολύ μεγάλες επιφάνειες. Αντίθετα, κόκκοι στερεού καυσίμου μεγάλου μεγέθους μπορεί να προκαλέσουν απορευστοποίηση της κλίνης.

Σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά της κοκκομετρίας του καυσίμου πρέπει να διατηρούνται σε σταθερά προκαθορισμένα όρια, έτσι ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη ταχύτητα ρευστοποίησης και να εξασφαλίζεται η ομαλή, συνεχής και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος ξήρανσης.

Η λειτουργία των συστημάτων ξήρανσης σε ρευστοποιημένη κλίνη βασίζεται στο φαινόμενο της ρευστοποίησης. Η αρχή λειτουργίας της ρευστοποίησης παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Το αέριο ρευστοποίησης κινείται προς τα πάνω και διέρχεται μέσα από ένα στρώμα κονιοποιημένου στερεού καυσίμου, το οποίο στηρίζεται σε μία εσχάρα που έχει ταυτόχρονα και το ρόλο του διανεμητή του αερίου μέσω ακροφυσίων που φέρει. Για χαμηλές ταχύτητες αερίου παρατηρείται απλά διείσδυση του αερίου μέσα από τη μάζα του καυσίμου. Αύξηση της ταχύτητας του αερίου προκαλεί ένα ελαφρό χαλάρωμα της κλίνης, γεγονός που είναι φανερό από την αύξηση του πορώδους αυτής.



Σχήμα 2.8

Σχηματική παράσταση του φαινομένου της ρευστοποίησης.

Ταυτόχρονα, παρατηρείται και γρήγορη αύξηση της πτώσης πίεσης του αερίου, διαμέσου του στρώματος του στερεού καυσίμου, η οποία είναι ανάλογη της ταχύτητας του αερίου, μέχρις ότου η πτώση πίεσης να γίνει ανάλογη του λόγου του βάρους των στερεών σωματιδίων της κλίνης προς την επιφάνειά της. Στο σημείο αυτό παρατηρείται αιώρηση των στερεών σωματιδίων στο αέριο που ρέει προς τα πάνω, ενώ οι δυνάμεις τριβής σωματιδίων – αερίου εξισορροπούν το βάρος αυτών και η ταχύτητα λαμβάνει μία κρίσιμη τιμή που ονομάζεται ταχύτητα ρευστοποίησης u_{gmf} . Η ταχύτητα ρευστοποίησης μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση των Wen και Yu:

$$u_{gmf} = \frac{\text{Re}_{mf} \cdot v_f}{d_p}, \quad (m/sec)$$

Όπου:

$$\text{Re}_{mf} = (33.7^2 + 0.0408 \cdot Ar)^{1/2} - 33.7 \quad \text{και} \quad Ar = \frac{\bar{d}_p \cdot g}{v_g^2} \cdot \frac{\rho_m - \rho_g}{\rho_g}$$

Ar : ο αριθμός του Αρχιμήδη υπολογισμένος για τη μέση διάμετρο του σωματιδίου.

\bar{d}_p (m): μέση διάμετρος του σωματιδίου.

v_g (m²/sec): κινηματική συνεκτικότητα του αερίου.

ρ_g (kg/m³): η πυκνότητα του αερίου ρευστοποίησης.

ρ_m (kg/m³): η πυκνότητα του στερεού.

Όταν η ταχύτητα του αερίου λαμβάνει την τιμή u_{gmf} , παρόλο που το ομογενές στρώμα των κόκκων του καυσίμου συμπεριφέρεται ως υγρό, μόνο μέτρια ανάμιξη των κόκκων του παρατηρείται. Εάν η ταχύτητα του αερίου ρευστοποίησης αυξηθεί πάνω από την τιμή u_{gmf} , το αέριο περνά μέσα από το στρώμα των κόκκων του καυσίμου σχηματίζοντας φυσαλίδες. Οι φυσαλίδες πάνω από την περιοχή της εσχάρας υποστήριξης του καυσίμου είναι σχετικά μικρές, ενώ κατά μήκος της κλίνης αυξάνουν σε μέγεθος μέσα στο στρώμα των κόκκων του προς ξήρανση καυσίμου, προκαλώντας έντονη ανάμιξη αυτών. Η μεγέθυνση των φυσαλίδων οφείλεται τόσο στην αύξηση της ταχύτητας του αερίου ρευστοποίησης, όσο και στην κατακόρυφη συνένωσή τους κατά μήκος της κλίνης.

Καθώς η ταχύτητα του αερίου ρευστοποίησης αυξάνεται όλο και περισσότερο φθάνει σε μία τιμή u_{gt} , η οποία ονομάζεται οριακή ταχύτητα και η επίτευξη της οποίας έχει ως αποτέλεσμα την παράσυρση των λεπτότερων σωματιδίων από το ρεύμα του αερίου ρευστοποίησης εκτός της ρευστοποιημένης κλίνης. Η ποσότητα των παρασυρόμενων κόκκων του καυσίμου εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο οι φυσαλίδες «σκάνε» στην επιφάνεια του ρευστοποιημένου στρώματος. Η οριακή ταχύτητα που συμπαρασύρει τους κόκκους υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$u_{gt} = \frac{\text{Re}_t \cdot v_g}{\bar{d}_{p \max}}, \quad (\text{m/sec})$$

Όπου:

$$\frac{1}{\text{Re}_t} = \frac{21.35}{\log \frac{\psi}{0.065}} \cdot \frac{1}{Ar} + \sqrt{\frac{2.78 - 2.556 \cdot \psi}{Ar}}$$

Ar : ο αριθμός του Αρχιμήδη, υπολογισμένος για τη μικρότερη διάμετρο των σωματιδίων και τη θερμοκρασία του αερίου ρευστοποίησης στην έξοδό του.

ψ : η σφαιρικότητα των σωματιδίων.

$\bar{d}_{p \max}$: η διάμετρος των μεγαλύτερων σωματιδίων σε m.

Οι συνήθως χρησιμοποιούμενες ταχύτητες κυμαίνονται ανάμεσα στις ταχύτητες u_{gmf} και u_{gt} . Ωστόσο πολλές φορές θεωρείται σκόπιμη η εκλογή ταχύτητας αερίου ρευστοποίησης τουλάχιστον 2 ή 3 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα ρευστοποίησης u_{gmf} . Ωστόσο, ο λόγος των δύο ταχυτήτων μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση των Romankov και Rashkovskaya ως εξής:

$$\frac{u_{gmf}}{u_{gt}} = 0.1175 - \frac{0.1046}{1 + 0.00373 \cdot Ar^{0.6}}$$

Η πτώση πίεσης στην κλίνη μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση των Kozeny – Garman, η οποία ισχύει για αριθμούς Re μικρότερους του 20, οι οποίοι παρατηρούνται κατά την κατάσταση ρευστοποίησης.

$$\Delta P = 180 \cdot \frac{u_g \cdot H \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)^2}{(d_p \cdot \psi)^2 \cdot \varepsilon^2}$$

Όπου:

H (m): το ύψος της κλίνης.

μ (kg/ms): η δυναμική συνεκτικότητα του αερίου ρευστοποίησης.

ε : το πορώδες ύψος της κλίνης.

Ως πορώδες ύψος της κλίνης ορίζεται ο λόγος του όγκου του ελεύθερου χώρου μεταξύ των κόκκων του καυσίμου προς τον συνολικό όγκο της κλίνης και εξαρτάται από την κοκκομετρία του καυσίμου καθώς και από το αέριο ρευστοποίησης και την ταχύτητά του. Για τον υπολογισμό του πορώδους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση του Todes:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 \cdot Re + 0.36 \cdot Re^2}{Ar} \right)^{0.21}$$

Μία σημαντική παράμετρος αποτελεί το ύψος της ρευστοποιημένης κλίνης για το οποίο προτείνεται από τους Romankov και Rashkovskaya η σχέση:

$$H = 80 \cdot d_o, \quad \text{όπου: } d_o \text{ η διάμετρος των οπών της εσχάρας.}$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με αγωγή ανάμεσα στο αέριο ρευστοποίησης και στο προς ξήρανση καύσιμο μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις:

$$Nu = 10^{-2} \cdot \frac{Re}{\varepsilon} \cdot Pr^{1/3}, \quad h = \frac{Nu \cdot \lambda_g}{d_p}, \quad Pr = \frac{v_g \cdot c_{pg} \cdot \rho_g}{\lambda_g}$$

Όπου:

λ_g (W/mK): ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του αερίου ρευστοποίησης.

c_{pg} (J/kgK): η ειδική θερμοχωρητικότητα του αερίου ρευστοποίησης.

v_g (m²/sec): η κινηματική συνεκτικότητα του αερίου ρευστοποίησης.

ρ_g (kg/m³): η πυκνότητα του αερίου ρευστοποίησης.

Nu : αριθμός Nusselt.

Pr : αριθμός Prandtl.

Για την ξήρανση του στερεών καυσίμων και συγκεκριμένα του άνθρακα, σε γενικές γραμμές η θερμοκρασία του αερίου ξήρανσης στην είσοδό του στον ξηραντήρα κυμαίνεται από 120–160 °C, ενώ η θερμοκρασία της ρευστοποιημένης κλίνης κυμαίνεται από 70 - 100 °C. Αναφορικά με την ειδική κατανάλωση θερμότητας των ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης θα μπορούσε να ειπωθεί ότι κυμαίνεται από 3100 – 4000 (KJ/kgH₂O)

Για τη μεταφορά μάζας στους ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης θα πρέπει να αναφερθεί ότι μέχρι στιγμής δεν έχουν προταθεί γενικές σχέσεις για τον υπολογισμό των συντελεστών μεταφοράς μάζας. Ωστόσο, ενδεικτικά αναφέρουμε τις ακόλουθες σχέσεις των Richardson και Szekely, οι οποίες ισχύουν για πολύ ρηχές κλίνες:

$$Sh = 0.374 \cdot Re^{1.18}, \quad \text{για} \quad 0.1 < Re < 15$$

$$Sh = 2.01 \cdot Re^{0.5}, \quad \text{για} \quad 15 < Re < 250$$

Όπου:

$Sh = \frac{K_Y \cdot d_p}{D \cdot \rho_g}$: ο αριθμός του Sherwood.

K_Y (Kg/m²·s): ο συντελεστής μεταφοράς μάζας για το αέριο.

D (m²·s): ο συντελεστής διάχυσης.

2.3.2 ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΕ ΞΗΡΑΝΤΗΡΕΣ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΥ ΑΤΜΟΥ

Η χρησιμοποίηση υπέρθερμου ατμού ως μέσο ξήρανσης και ρευστοποίησης σε ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης, για την ξήρανση στερεών καυσίμων, παρουσιάζει πληθώρα σημαντικών πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά συστήματα ξήρανσης στερεών καυσίμων που χρησιμοποιούν ως μέσο ξήρανσης και ρευστοποίησης ρεύμα θερμού αέρα ή καυσαερίων.

Βασικό πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης ατμού ως μέσο ξήρανσης, του προς ξήρανση καυσίμου, αποτελεί η σημαντική μείωση του κινδύνου αυτανάφλεξης του καυσίμου, αφού η ξήρανση πραγματοποιείται με την ελάχιστη δυνατή ποσότητα αέρα (ή και με μηδενική). Το γεγονός αυτό προσδίδει στα συστήματα αυτά αυξημένη αξιοπιστία και ασφάλεια ως προς τη λειτουργία τους σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα ξήρανσης με θερμό ρεύμα καυσαερίων ή αέρα.

Ταυτόχρονα, η υιοθέτηση ατμού χαμηλών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών ως μέσο ξήρανσης και ρευστοποίησης του καυσίμου επιτρέπει την ξήρανση του καυσίμου σε υψηλότερες θερμοκρασίες αερίου ρευστοποίησης και ξήρανσης με ταυτόχρονη αποφυγή του κινδύνου αυτανάφλεξης του καυσίμου. Οι αυξημένες θερμοκρασίες ξήρανσης, έχουν ως αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλών ρυθμών μεταφοράς θερμότητας και μάζας και συνεπώς αυξημένο ρυθμό ξήρανσης του καυσίμου.

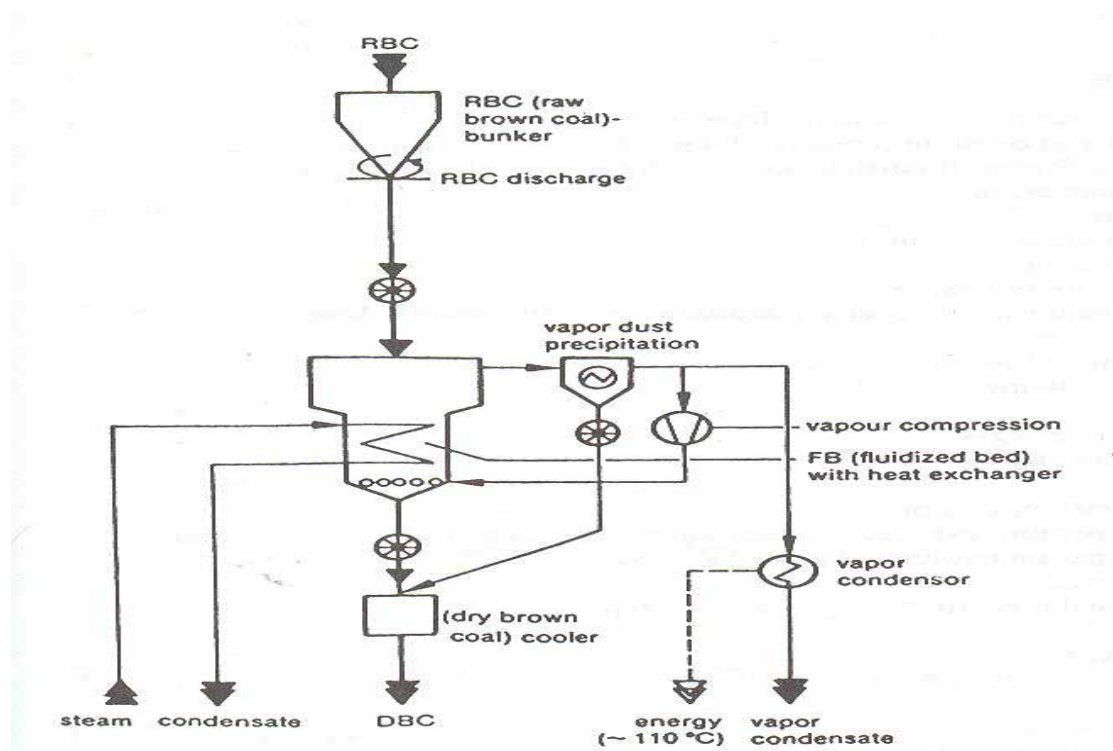
Ο απαιτούμενος για την ξήρανση ατμός είναι συνήθως ατμός χαμηλών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών, πίεσης 1-2 bar και θερμοκρασίας 120 – 160 °C, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε ξήρανσης, ο οποίος απομαστεύεται από τμήμα του στροβίλου μέσης ή χαμηλής πίεσης. Ο ατμός αυτός, αφού προσδώσει την απαραίτητη θερμότητα για την ξήρανση του καυσίμου, εξέρχεται από τον ξηραντήρα και οδηγείται στην τροφοδοτική δεξαμενή.

Παράλληλα, τα συστήματα ξήρανσης με χρήση υπέρθερμου ατμού σε ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης παρέχουν τη δυνατότητα της εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας, από την εξατμιζόμενη υγρασία του ίδιου του καυσίμου. Η εξατμιζόμενη υγρασία του καυσίμου που βρίσκεται στον ξηραντήρα, καθαρίζεται από τα παρασυρόμενα σωματίδια του καυσίμου σε ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο και στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός συμπιεστή συμπιέζεται και θερμαίνεται. Στη συνέχεια υπό μορφή ατμού αναβαθμισμένων θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών, η εξατμιζόμενη υγρασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- 1) ως μέσο ξήρανσης του επόμενου φορτίου του καυσίμου και
- 2) ως αέριο ρευστοποίησης στο ξηραντήρα

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ξήρανση του καυσίμου με τις ελάχιστες ενεργειακές καταναλώσεις, αφού η ενέργεια ξήρανσης στην περίπτωση των ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης με χρήση υπέρθερμου ατμού είναι χαμηλότερου θερμοκρασιακού επιπέδου συγκριτικά με την ξήρανση με χρήση θερμών καυσαερίων, τα οποία απομαστεύονται από το ανώτερο τμήμα της εστίας του ατμοπαγωγού σε θερμοκρασίες 900 - 1000 °C.

Τυπικό παράδειγμα ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης με χρησιμοποίηση ατμού ως μέσο ξήρανσης και ρευστοποίησης και με χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας της εξατμιζόμενης υγρασίας παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.9

Σχηματική παράσταση ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης με χρησιμοποίηση ατμού ως μέσο ξήρανσης και ρευστοποίησης με χρησιμοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας .

Ταυτόχρονα, με την εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας, της εξατμιζόμενης υγρασίας του ίδιου του καυσίμου, στον κύκλο του ατμού επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων με αποτέλεσμα την αύξηση του ολικού θερμικού βαθμού απόδοσης της μονάδας μέχρι και 3 ποσοστιαίες μονάδες (ανάλογα της ποσότητας της υγρασίας που εμπεριέχεται στο καύσιμο). Παράλληλα, οι υψηλοί ρυθμοί ξήρανσης που εξασφαλίζουν οι τεχνολογίες αυτές συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα της ρευστοποιημένης κλίνης και του ατμού ως μέσο ξήρανσης οδηγούν σε εγκαταστάσεις ξήρανσης μικρότερου μεγέθους και διαστάσεων, καθώς και σε μικρότερο επενδυτικό κόστος και κόστος κεφαλαίου.

Οι ενεργειακές καταναλώσεις των συστημάτων ξήρανσης με χρήση υπέρθερμου ατμού σε ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης συνοψίζονται στην απαραίτητη, για την ξήρανση, ποσότητα ατμού η οποία απομαστεύεται από το στρόβιλο μέσης και χαμηλής πίεσης καθώς και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι συμπιεστές για την συμπίεση της εξατμιζόμενης υγρασίας του καυσίμου, η οποία ανακυκλοφορεί στον ξηραντήρα.

Είναι λοιπόν φανερό, ότι οι τεχνολογίες ξήρανσης στερεών καυσίμων σε ρευστοποιημένη κλίνη με υιοθέτηση υπέρθερμου ατμού ως μέσο ξήρανσης παρουσιάζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες ξήρανσης και αποτελούν τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες για την υιοθέτησή τους στον κύκλο του ατμού των λιγνιτικών μονάδων παραγωγής ενέργειας.

Η υιοθέτηση των προαναφερόμενων τεχνολογιών ξήρανσης στον κύκλο του ατμού υφιστάμενων μονάδων παραγωγής ενέργειας (retrofitting), εκτός από τις σημαντικές βελτιώσεις στον συνολικό θερμικό βαθμό απόδοσης, τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και συνεπώς των εκπομπών CO₂ της μονάδας, μπορεί να οδηγήσει και σε λειτουργικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να προβλεφθούν στη μελέτη και εγκατάσταση του συστήματος ξήρανσης.

Τα δύο πιο σημαντικά ζητήματα που προκύπτουν από την υιοθέτηση των συστημάτων ξήρανσης και την ενσωμάτωσή τους στον κύκλο του ατμού υφιστάμενων μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι:

1) η μεταφορά και η αποθήκευση του ξηρού καυσίμου, το οποίο απαιτεί ειδικές συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς, καθώς και

2) οι καινούριες θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν στην εστία του ατμοπαραγωγού.

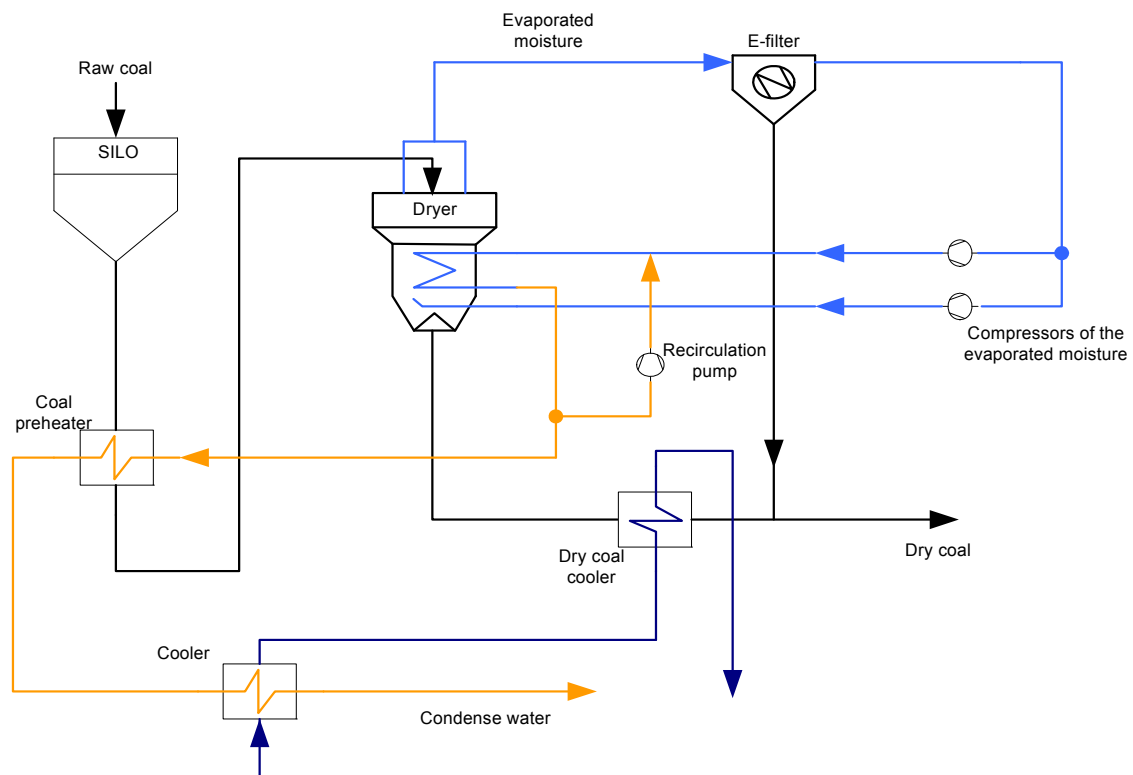
Η χρησιμοποίηση ξηρού καυσίμου με αυξημένη θερμογόνο ικανότητα, λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία, προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας καύσης και συνεπώς αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων η οποία προσεγγίζει τη θερμοκρασία τήξης της τέφρας του καυσίμου. Οι έντονες θερμοκρασιακές διαφορές παρουσιάζονται περισσότερο στην εστία του ατμοπαραγωγού καθώς και στις πρώτες επιφάνειες συναλλαγής εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών των καυσαερίων οι οποίες προκαλούν τήξη της τέφρας του καυσίμου με αποτέλεσμα την έντονη ρύπανση των επιφανειών αυτών. Παράλληλα, η διαφοροποίηση των θερμοκρασιακών πεδίων εντός του ατμοπαραγωγού έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία του σε σημείο διαφορετικό του σημείου σχεδίασης με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η συνολική ατμοπαραγωγή καθώς και η λειτουργία ολόκληρης της μονάδας.

Εξαιτίας των παραπάνω προβλημάτων, η ενσωμάτωση συστημάτων προξήρανσης του καυσίμου σε υφιστάμενες μονάδες παραγωγής ενέργειας, απαιτεί τον περιορισμό της καύσης του προξηραμένου καυσίμου σε συνδυασμό με το αρχικό καύσιμο σε θερμικό ποσοστό 10%, ώστε να αποφεύγονται οι μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές εντός του ατμοπαραγωγού και να διατηρείται η λειτουργία του ατμοπαραγωγού στο αρχικό σημείο λειτουργίας του. Για την αποκλειστική καύση προξηραμένου καυσίμου είναι επιτακτικός ο ανασχεδιασμός των επιφανειών συναλλαγής ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα τήξης της τέφρας και ρύπανσης των πρώτων επιφανειών συναλλαγής και να εξασφαλίζεται η σωστή και ομαλή λειτουργία του ατμοπαραγωγού.

Τα προβλήματα αυτά αποφεύγονται στην περίπτωση που το σύστημα προξήρανσης ενσωματώνεται σε καινούριες μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι οποίες λειτουργούν αποκλειστικά με προξηραμένο καύσιμο, αφού τα αυξημένα θερμοκρασιακά πεδία εντός του ατμοπαραγωγού λαμβάνονται εξ' αρχής υπόψη στο σχεδιασμό και την τοποθέτηση των επιφανειών συναλλαγής. Έτσι, η μονάδα λειτουργεί στο σημείο σχεδίασης και ταυτόχρονα εξασφαλίζονται η οικονομία του αρχικού καυσίμου, ο αυξημένος βαθμός απόδοσης, οι λιγότερες εκπομπές CO₂ και τα μικρά κόστη επένδυσης.

2.3.3 ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΕ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΝΗ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΙΠΤΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΑΤΜΟΥ (WTA)

Η λειτουργία ενός συστήματος ξήρανσης σε ρευστοποιημένη κλίνη με χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας του υδρατμού WTA βασίζεται εξ' ολοκλήρου στην εκμετάλλευση της εξατμιζόμενης υγρασίας του καυσίμου. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η λειτουργία ενός συστήματος ξήρανσης WTA.



Σχήμα 2.10

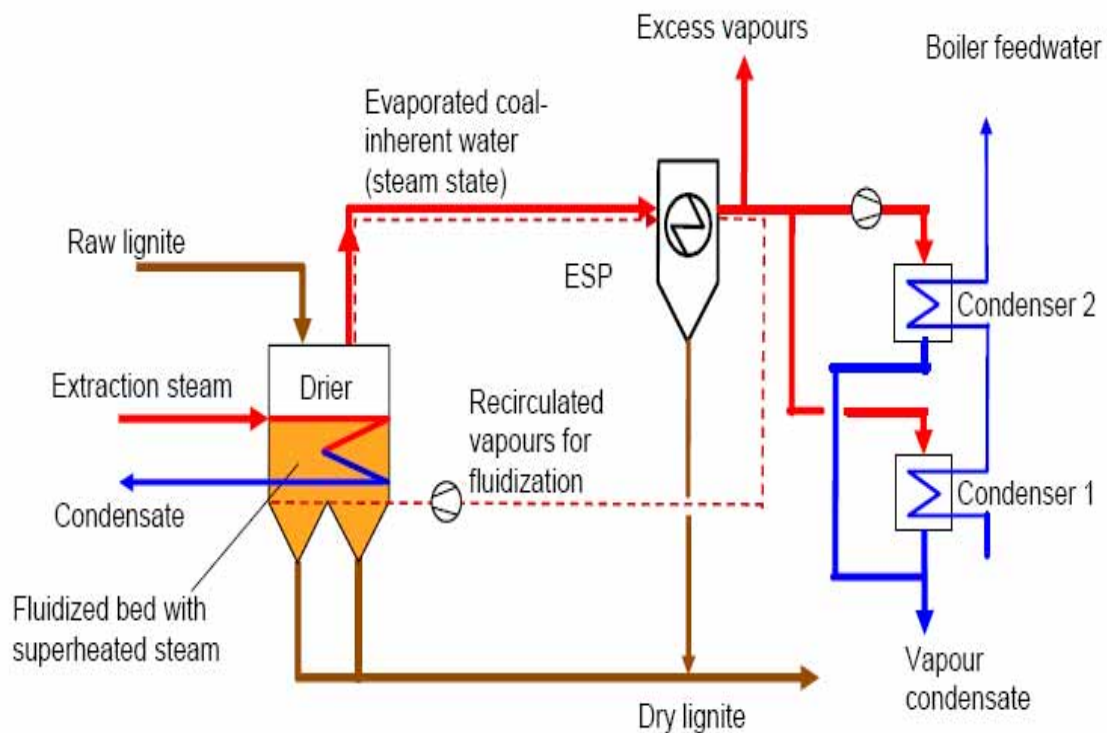
Σχηματική λειτουργία ξηραντήρα WTA με συμπίεση και ανακυκλοφορία

Το προς ξήρανση καύσιμο αφού προθερμανθεί σ' έναν εναλλάκτη με χρήση του συμπυκνώματος, που προέρχεται από την προηγούμενη ξήρανση, εισέρχεται στον ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Στη συνέχεια, ακολουθεί η ρευστοποίησή του με τη χρήση ελαφρώς υπέρθερμου ατμού προερχόμενου από ένα μέρος της εξατμιζόμενης υγρασίας του προηγούμενου φορτίου καυσίμου. Η απαραίτητη θερμότητα για την ξήρανση παρέχεται από υπέρθερμο ατμό ο οποίος προέρχεται από το υπόλοιπο τμήμα της εξατμιζόμενης υγρασίας του προηγούμενου φορτίου του καυσίμου.

Η εξατμιζόμενη υγρασία του προηγούμενου φορτίου καυσίμου αφού καθαριστεί σ' ένα ηλεκτροστατικό φίλτρο χωρίζεται σε δύο ρεύματα εκ' των οποίων το πρώτο ρεύμα συμπιέζεται έως 1.5 bar και χρησιμοποιείται ως μέσο ρευστοποίησης του προς ξήρανση καυσίμου, ενώ το δεύτερο συμπιέζεται από 3 έως και 4 bar, ανάλογα με τις

εκάστοτε απαιτήσεις, και χρησιμοποιείται, με αυξημένα πλέον θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά, ως μέσο ξήρανσης του καυσίμου σ' έναν εσωτερικό εναλλάκτη ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος εντός του ξηραντήρα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι το ρεύμα της εξατμιζόμενης υγρασίας που χρησιμοποιείται για ρευστοποίηση του καυσίμου συνεισφέρει στην εξάτμιση της υγρασίας του προς ξήρανση καυσίμου.

Εναλλακτικός τρόπος εκμετάλλευσης της θερμότητας του συμπυκνώματος είναι η χρησιμοποίησή του για προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του αμοπαγωγού, με αποτέλεσμα την μείωση της ποσότητας του ατμού που απομαστεύεται από τα τμήματα των στροβίλων για τις απαραίτητες προθερμάνσεις. Για την εκκίνηση του συστήματος απαιτείται αρχική απομάστευση ατμού από τμήμα του στροβίλου μέσης – χαμηλής πίεσης. Η λειτουργία του κυκλώματος με προθέρμανση τροφοδοτικού νερού και αντικατάσταση προθερμαντών παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



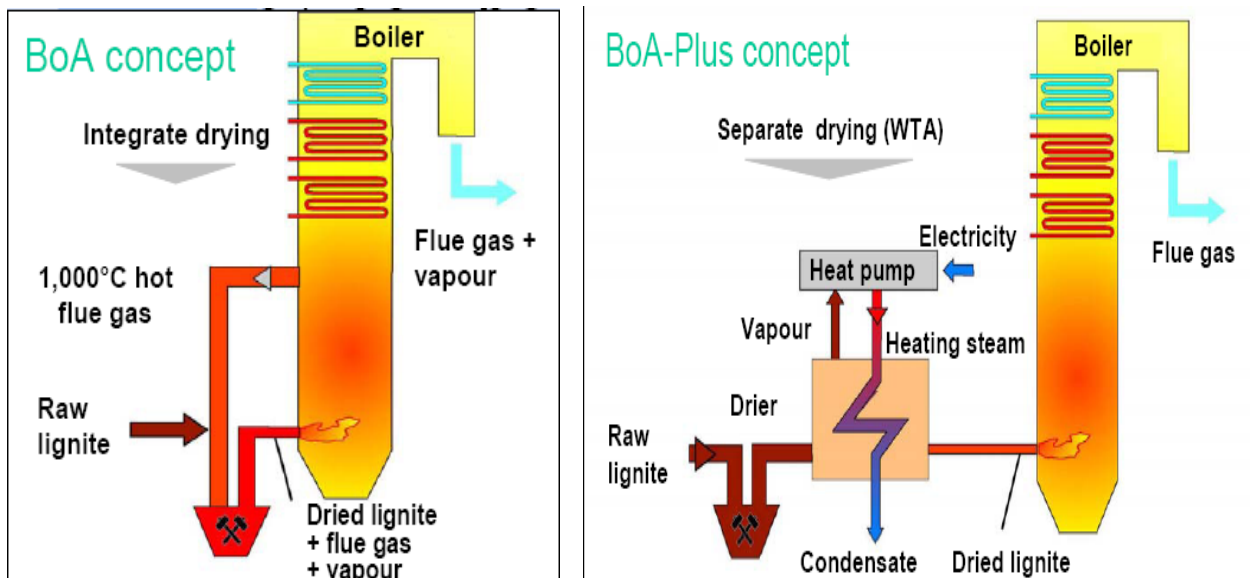
Σχήμα 2.11

Σχηματική λειτουργία WTA με προθέρμανση τροφοδοτικού νερού και αντικατάσταση προθερμαντών

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ WTA

Από την περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος ξήρανσης WTA είναι φανερό ότι το σύστημα παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες ευελιξίας και αυτονομίας, αφού η λειτουργία του συστήματος είναι εντελώς ανεξάρτητη από τη λειτουργία της υπόλοιπης μονάδας (stand alone technology). Η μεγάλη αυτονομία του συστήματος οφείλεται στο ότι το μέσο ξήρανσης του καυσίμου είναι ατμός ο οποίος προέρχεται αποκλειστικά, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, από την ατμοποίηση της υγρασίας του προηγούμενου φορτίου του καυσίμου. Το γεγονός αυτό, πέρα από την αυτονομία και την ευελιξία που προδίδει στο σύστημα, είναι σημαντικό διότι με τη χρησιμοποίηση ατμού προερχόμενου από την εξαμιζόμενη υγρασία του ίδιου του καυσίμου ως αποκλειστικό μέσο ξήρανσης, δεν απαιτούνται απομαστεύσεις ατμού από τα τμήματα των στροβίλων μέσης και χαμηλής πίεσης. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται ενέργεια και επιτυγχάνεται αύξηση της μικτής παραγόμενης ισχύς της μονάδας.

Η χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας του υδρατμού του ίδιου του καυσίμου καθιστά την τεχνολογία ξήρανσης WTA, από τις πλέον ελκυστικές από άποψη ενεργειακών καταναλώσεων συγκριτικά με τις υφιστάμενες τεχνολογίες ξήρανσης. Στις υφιστάμενες τεχνολογίες ξήρανσης, η χρήση θερμών καυσαερίων που προέρχονται από το ανώτερο τμήμα της εστίας του ατμοπαραγωγού, ως μέσο ξήρανσης του καυσίμου, παρουσιάζει αυξημένες ενεργειακές απώλειες διότι η απαιτούμενη θερμότητα ξήρανσης είναι υψηλού θερμοκρασιακού επιπέδου 900 – 1000 °C. Αντίθετα, στην τεχνολογία ξήρανσης WTA η απαιτούμενη θερμότητα ξήρανσης παρέχεται από την ατμοποιημένη υγρασία του ίδιου του καυσίμου, σε πολύ μικρότερο θερμοκρασιακό επίπεδο, με αποτέλεσμα τα θερμά καυσαέρια υψηλού θερμοκρασιακού επιπέδου να αξιοποιούνται εξ' ολοκλήρου στον ατμοπαραγωγό. Παράλληλα, η εσωτερική εκμετάλλευση της θερμότητας της ατμοποιημένης υγρασίας του καυσίμου μειώνει τις απώλειες θερμών καυσαερίων, αφού στις υπάρχουσες τεχνολογίες η ενέργεια αυτή δεν είναι εκμεταλλεύσιμη διότι τα καυσαέρια και οι υδρατμοί οδηγούνται στην ατμόσφαιρα χωρίς περαιτέρω εκμετάλλευση.



Σχήμα 2.12

Σχηματική παράσταση της εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας της υγρασίας του καυσίμου με τεχνολογία WTA – Σύγκριση με υφιστάμενες τεχνολογίες ξήρανσης.

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η τεχνολογία WTA παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας του συμπυκνώματος το οποίο προέρχεται από τη διεργασία της ξήρανσης. Η εκμετάλλευση της θερμότητας του συμπυκνώματος μπορεί να γίνει είτε εσωτερικά στο ίδιο το κύκλωμα του συστήματος ξήρανσης, προθερμαίνοντας το προς ξήρανση καύσιμο πριν την είσοδό του στον ξηραντήρα, είτε στον κύκλο του ατμού με χρήση της θερμότητας του συμπυκνώματος για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του ατμοπαραγωγού, σε εναλλάκτη θερμότητας.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων του συστήματος ξήρανσης, στην πρώτη περίπτωση, και μείωση των απαραίτητων για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του ατμοπαραγωγού απομαστεύσεων ατμού από τους στροβίλους μέσης και υψηλής πίεσης στη δεύτερη. Και οι δύο επιλογές ενισχύουν την εξοικονόμηση ενέργειας αφού στην πρώτη περίπτωση η απαιτούμενη ενέργεια για την ξήρανση είναι σαφώς λιγότερη, εξαιτίας της προθέρμανσης του καυσίμου, ενώ στη δεύτερη, μειώνονται οι απομαστεύσεις ατμού για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, με αποτέλεσμα η παροχή ατμού στους στροβίλους να είναι μεγαλύτερη, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγή τεχνικού έργου από αυτούς.

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WTA είναι το γεγονός ότι παρουσιάζει την βέλτιστη λειτουργία της και τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης της μονάδας όταν το προς ξήρανση καύσιμο παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Αυτό συμβαίνει διότι ολόκληρη η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην εξαμιζόμενη υγρασία του καυσίμου, η οποία χρησιμοποιείται για την ξήρανση του επόμενου φορτίου του καυσίμου. Το γεγονός αυτό καθιστά την τεχνολογία WTA ιδανική για την ξήρανση των φτωχών στερεών καυσίμων όπως ο λιγνίτης, που παρουσιάζει υψηλά ποσοστά υγρασίας και χαμηλή θερμογόνο ικανότητα.

Η υψηλή μείωση της υγρασίας του αρχικού καυσίμου από 45 –55% σε 15 – 12%, που επιτυγχάνεται με τα συστήματα ξήρανσης WTA, χάρη στους υψηλούς ρυθμούς

μεταφοράς θερμότητας και μάζας και τη χρήση του ατμού ως μέσο ξήρανσης, έχει ως αποτέλεσμα την αναβάθμιση του καυσίμου και την θεαματική αύξηση της θερμογόνου ικανότητας αυτού. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης του αρχικού καυσίμου για την παραγωγή της ίδιας ισχύος από την μονάδα, με άμεσο επακόλουθο την θεαματική αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης έως και 3 ποσοστιαίες μονάδες. Παράλληλα, η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου οδηγεί σε λιγότερες εκπομπές ρύπων και ειδικά CO₂ για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται μικρότεροι δείκτες εκπομπής CO₂, γεγονός που δίνει στην τεχνολογία αυτή συγκριτικό πλεονέκτημα, όσον αφορά την περιβαλλοντική της απόδοση, την στιγμή που οι διεθνείς τάσεις στην ηλεκτροπαραγωγή στοχεύουν στην αύξηση του βαθμού απόδοσης με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών CO₂ καθώς και των υπόλοιπων ρύπων.

Αναφορικά με το κόστος της τεχνολογίας WTA θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία που να επιτρέπουν τον προσδιορισμό του κόστους ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στον κύκλο ατμού των ατμοηλεκτρικών μονάδων, και αυτό διότι οι τεχνολογίες αυτές βρίσκονται ακόμη σε πιλοτικό στάδιο εφαρμογής. Ωστόσο, στο άμεσο μέλλον αναμένεται η ωρίμανση της τεχνολογίας και η μείωση του κόστους της ενσωμάτωσής της στον κύκλο ατμού των ατμοηλεκτρικών μονάδων.

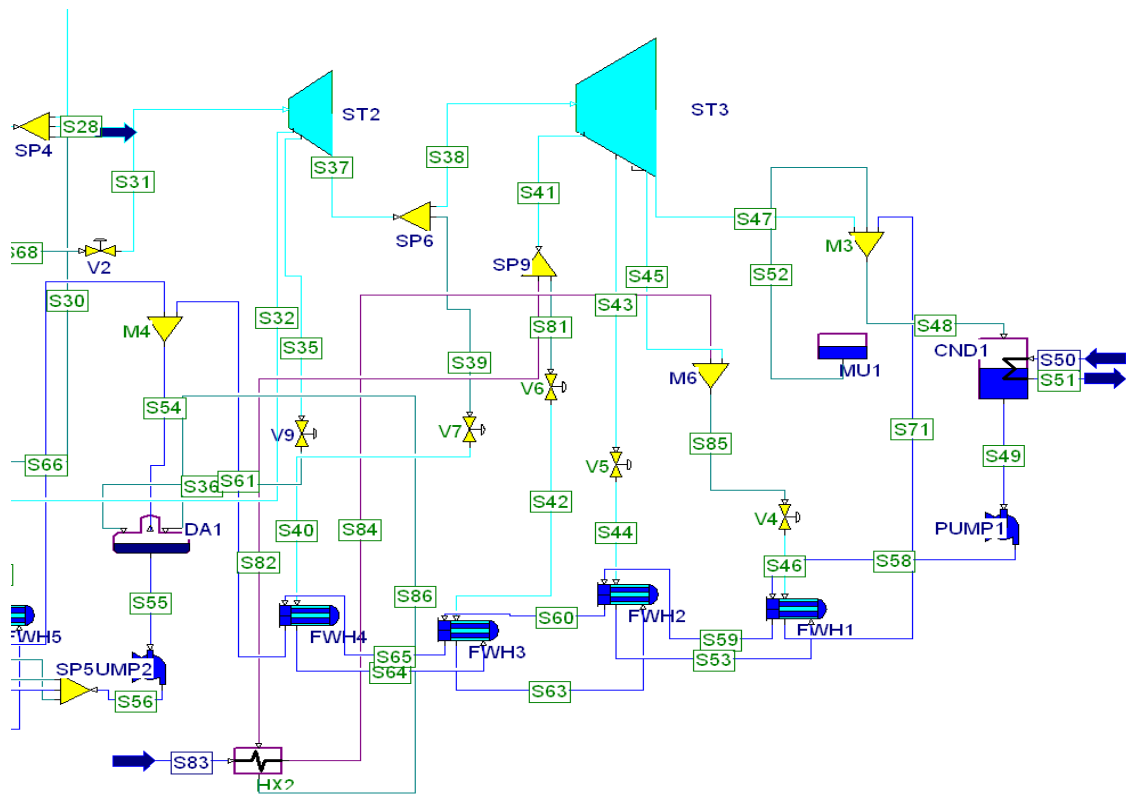
3.7 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ WTA ΣΤΟΝ Α.Η.Σ. ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ V

Η μοντελοποίηση του συστήματος ξήρανσης του λιγνίτη σε ρευστοποιημένη κλίνη, με τη βοήθεια του προγράμματος Gate Cycle, γίνεται χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης αυτός, που παίζει το ρόλο του ξηραντήρα του καυσίμου, έχει δύο εισόδους και δύο εξόδους. Η μια είσοδος (S83) είναι η παροχή του καυσίμου, η οποία είναι εκφρασμένη στην ποσότητα νερού που περιέχει το καύσιμο, το οποίο οδηγείται προς ξήρανση. Η ακριβής ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται έχει υπολογιστεί ξεχωριστά για την περίπτωση του 100% φυσικού λιγνίτη και για τις περιπτώσεις υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό σε ποσοστά 10, 20 και 30 %. Τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά αυτού του ρεύματος είναι αυτά που έχει το καύσιμο, δηλαδή πίεση 1 bar και θερμοκρασία 20 °C.

Η δεύτερη είσοδος (S82) του ξηραντήρα (της ρευστοποιημένης κλίνης) είναι το ρεύμα ατμού που χρησιμοποιείται για την ξήρανση, το οποίο απομαστεύεται από το τμήμα της χαμηλής πίεσης του αμοστροβίλου της μονάδας παραγωγής. Συγκεκριμένα, είναι μια ποσότητα από την πρώτη απομάστευση του τμήματος χαμηλής πίεσης του στροβίλου (ST3). Η ακριβής ποσότητα που χρειάζεται για την ξήρανση υπολογίζεται για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση καυσίμου, ενώ τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ρεύματος, είναι φανερό ότι είναι αυτά της πρώτης απομάστευσης του τμήματος χαμηλής πίεσης του αμοστροβίλου της μονάδας.

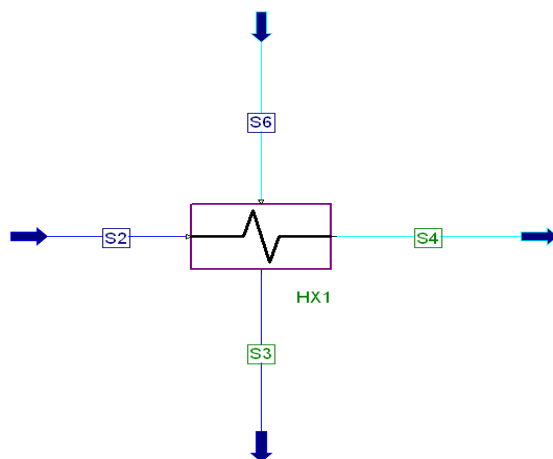
Οι εξοδοί του ξηραντήρα τώρα, αντιστοιχούν στις εισόδους του και έτσι η μια είναι η έξοδος του ρεύματος του καυσίμου (S84) και η άλλη η έξοδος του ρεύματος του ατμού (S86). Η έξοδος του καυσίμου είναι σε μορφή ατμού και καταλήγει στον πρώτο προθερμαντήρα της μονάδας (FWH1), ενώ η έξοδος του ατμού απομάστευσης έχει τη μορφή συμπυκνώματος και οδηγείται στο τροφοδοτικό δοχείο της εγκατάστασης.

Το τμήμα αυτό της εγκατάστασης που απεικονίζει την ενσωμάτωση της ρευστοποιημένης κλίνης στην αμοηλεκτρική μονάδα φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.7.1

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μόνο το τμήμα του ξηραντήρα με τις εισόδους και τις εξόδους του και καταγράφεται το ισοζύγιο ενέργειας και μάζας που ισχύει.



Σχήμα 3.7.2

Ισοζύγιο ενέργειας στον ξηραντήρα:

$$\dot{m}_{raw} \cdot h_{raw} + (\dot{m}_w) \cdot h_{w_in} = \dot{m}_{dry} \cdot h_{dry} + \dot{m}_w \cdot h_{condesate} + \dot{Q}_{απολειώv}$$

Ισοζύγιο μάζας στον ξηραντήρα:

$$\dot{m}_{raw} + (\dot{m}_w) = \dot{m}_{dry} + (\dot{m}_w)$$

Όπου:

\dot{m}_{raw} (kg / sec): παροχή μάζας καυσίμου προς ξήρανση

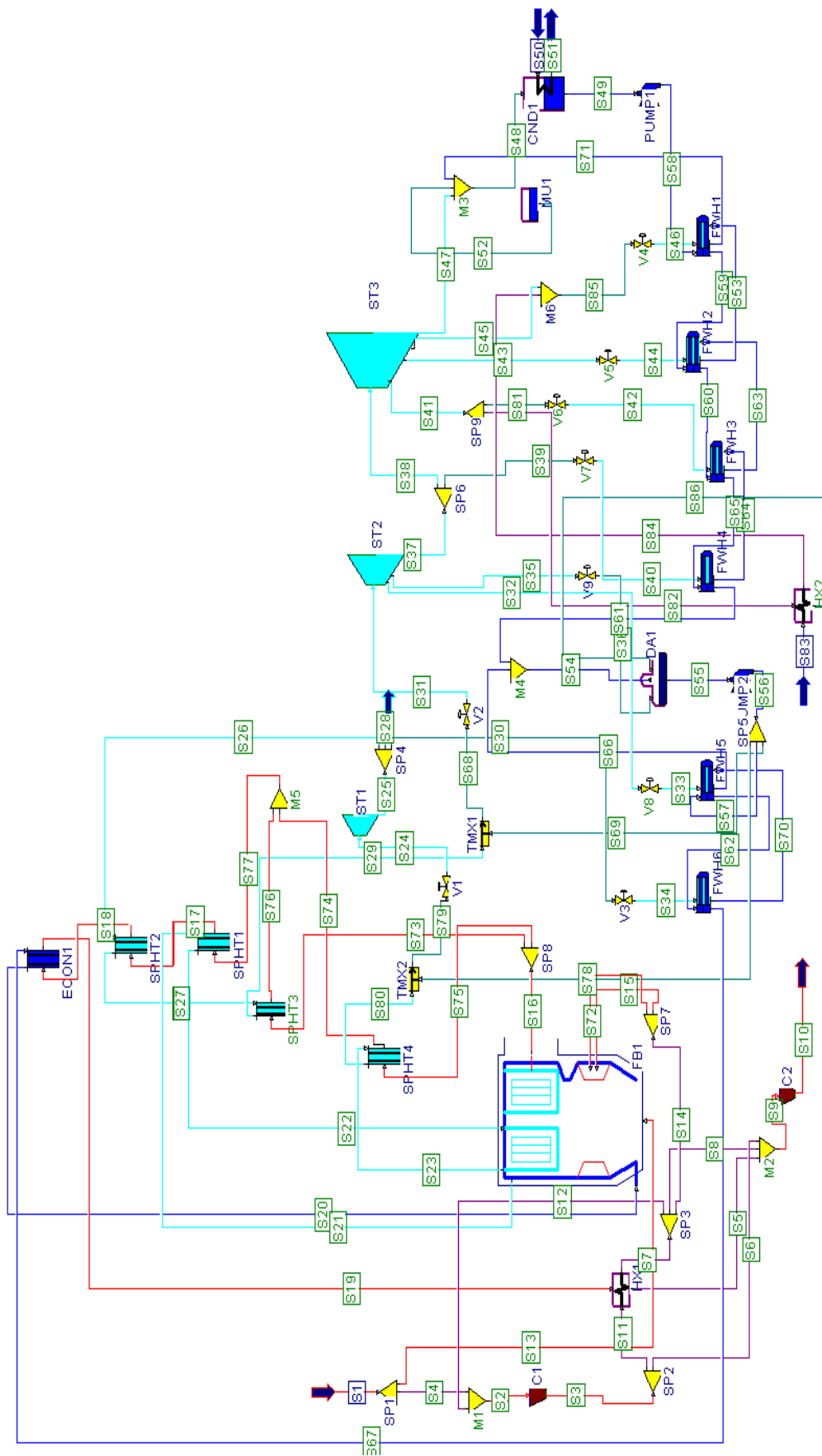
h_{raw} (kJ / kg): ειδική ενθαλπία αρχικού υγρού καυσίμου μετά την προθέρμανση.

h_{dry} (kJ / kg): ειδική ενθαλπία τελικού ξηρού καυσίμου.

h_{w_in} (kJ / kg): ειδική ενθαλπία ατμού που χρησιμοποιείται ως μέσο ξήρανσης πριν τον ξηραντήρα.

$h_{condesate}$ (kJ / kg): ειδική ενθαλπία συμπυκνώματος μετά τον ξηραντήρα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η διάταξη ολόκληρης της εγκατάστασης της ατμοηλεκτρικής μονάδας του Αγίου Δημητρίου V.



3.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι εξεταζόμενες περιπτώσεις για την μοντελοποίηση της ρευστοποιημένης κλίνης στην ατμοηλεκτρική μονάδα του Αγίου Δημητρίου V, είναι η περίπτωση αναφοράς του 100% φυσικού λιγνίτη και οι περιπτώσεις υποκατάστασης από ξηρό λιγνίτη κατά 10, 20 και 30%. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση.

- Περίπτωση αναφοράς (100% φυσικός λιγνίτης)

Πίνακας 3.8.1

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S10	C2	-	160.08	1.04	595.25	169.51
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	450.00	13.21
S12	SP3	M1	244.08	1.03	0.00	234.04
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	244.08	1.03	452.50	234.04
S15	SP7	FB1	244.08	1.03	0.00	234.04
S16	FB1	SP8	870.00	1.03	595.25	1104.55
S17	SPHT1	SPHT2	529.63	1.03	595.25	634.56
S18	SPHT2	ECON1	403.02	1.03	595.25	469.73
S19	ECON1	HX1	296.75	1.03	595.25	335.83
S2	M1	C1	20.00	0.94	450.00	4.50
S20	ECON1	FB1	300.00	200.00	261.00	1334.27
S21	FB1	SPHT1	365.70	200.00	261.00	2418.36
S22	SPHT1	FB1	480.00	200.00	261.00	3174.38
S23	FB1	SPHT4	540.00	200.00	261.00	3364.68
S24	V1	ST1	540.00	200.00	261.00	3364.68
S25	ST1	SP4	286.97	34.93	261.00	2942.99
S26	SP4	SPHT2	286.97	34.93	245.89	2942.99
S27	SPHT2	SPHT3	450.00	34.93	245.89	3338.08
S28	SP4	-	286.97	34.93	0.00	2942.99
S29	SPHT3	TMX1	593.48	34.93	245.89	3662.10
S3	C1	SP2	28.59	1.03	450.00	13.21
S30	SP4	V3	286.97	34.93	15.11	2942.99
S31	V2	ST2	539.58	34.93	255.74	3539.91
S32	ST2	V8	453.51	19.74	36.88	3365.84
S33	V8	FWH5	453.51	19.74	36.88	3365.84
S34	V3	FWH6	284.41	33.00	15.11	2942.99
S35	ST2	V9	368.31	10.42	0.00	3196.56
S36	V9	DA1	368.31	9.74	0.00	3196.56
S37	ST2	SP6	280.23	5.12	218.87	3023.57
S38	SP6	ST3	280.23	5.12	202.04	3023.57
S39	SP6	V7	280.23	5.12	16.83	3023.57
S4	SP1	M1	20.00	0.94	450.00	4.50

S40	V7	FWH4	280.23	5.12	16.83	3023.57
S41	ST3	SP9	164.43	1.61	8.82	2800.87
S42	V6	FWH3	164.43	1.61	8.82	2800.87
S43	ST3	V5	98.77	0.73	8.35	2677.17
S44	V5	FWH2	98.77	0.73	8.35	2677.17
S45	ST3	M6	69.35	0.30	10.68	2551.57
S46	V4	FWH1	69.35	0.30	10.68	2551.57
S47	ST3	M3	39.02	0.07	174.16	2365.20
S48	M3	CND1	39.02	0.07	239.69	1761.20
S49	CND1	PUMP1	39.02	0.07	239.69	163.38
S5	HX1	M2	158.17	1.03	595.25	167.22
S50	-	CND1	15.00	1.00	6086.68	63.04
S51	CND1	-	30.05	1.00	6086.68	125.96
S52	MU1	M3	22.00	1.03	20.84	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.35	0.73	34.00	307.06
S54	M4	DA1	147.50	15.61	291.67	622.06
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	270.83	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.56	200.00	270.83	490.72
S57	SP5	FWH5	113.56	200.00	261.00	490.72
S58	PUMP1	FWH1	39.27	15.61	239.69	165.79
S59	FWH1	FWH2	68.35	15.61	239.69	287.33
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.18	15.61	239.69	378.83
S61	FWH4	M4	153.70	15.61	239.69	648.79
S62	FWH5	FWH6	212.71	200.00	261.00	916.73
S63	FWH3	FWH2	95.18	1.61	25.65	398.79
S64	FWH4	FWH3	117.50	5.12	16.83	493.32
S65	FWH3	FWH4	112.50	15.61	239.69	472.90
S66	FWH5	M4	118.56	19.74	51.99	498.84
S67	FWH6	ECON1	238.18	200.00	261.00	1031.91
S68	TMX1	V2	539.58	34.93	255.74	3539.91
S69	SP5	TMX1	113.56	200.00	9.83	490.72
S7	HX1	SP3	244.08	1.03	452.50	234.04
S70	FWH6	FWH5	217.71	33.00	15.11	933.44
S71	FWH1	M3	44.27	0.30	44.69	185.32
S72	SP7	FB1	244.08	1.03	452.50	234.04
S73	SP8	SPHT3	870.00	1.03	299.37	1104.55
S74	SPHT4	M5	870.00	1.03	295.88	1104.55
S75	SP8	SPHT4	870.00	1.03	295.88	1104.55
S76	SPHT3	M5	678.64	1.03	299.37	835.75
S77	M5	SPHT1	774.74	1.03	595.25	969.36
S78	SP5	TMX2	113.56	200.00	0.00	490.72
S79	TMX2	V1	540.00	200.00	261.00	3364.68
S8	SP3	M2	244.08	1.03	0.00	234.04
S80	SPHT4	TMX2	540.00	200.00	261.00	3364.68
S81	SP9	V6	164.43	1.61	8.82	2800.87
S82	SP9	HX2	164.43	1.61	0.00	2800.87
S83	-	HX2	20.00	1.00	0.00	83.95
S84	HX2	M6	20.00	1.00	0.00	83.95
S85	M6	V4	69.35	0.30	10.68	2551.57
S86	HX2	DA1	164.43	1.61	0.00	2800.87
S9	M2	C2	158.17	1.03	595.25	167.23

Πίνακας 3.8.2

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	167.5
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	5.464
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	333.590
καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	36.46
Ειδικές εκπομπές CO ₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.192

- 10% θερμική υποκατάσταση από ξηρό λιγνίτη

Πίνακας 3.8.3

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	440.08	4.50
S10	C2	-	134.65	1.04	570.34	138.46
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	440.08	13.21
S12	SP3	M1	207.97	1.03	0.00	196.56
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	207.97	1.03	440.84	196.56
S15	SP7	FB1	207.97	1.03	0.00	196.56
S16	FB1	SP8	870.00	1.03	570.34	1098.47
S17	SPHT1	SPHT2	504.09	1.03	570.34	597.58
S18	SPHT2	ECON1	367.30	1.03	570.34	421.94
S19	ECON1	HX1	252.11	1.03	570.34	279.25
S2	M1	C1	20.00	0.94	440.08	4.50
S20	ECON1	FB1	300.00	200.00	266.49	1334.27
S21	FB1	SPHT1	365.70	200.00	266.49	2418.36
S22	SPHT1	FB1	480.00	200.00	266.49	3174.38
S23	FB1	SPHT4	540.00	200.00	266.47	3364.68
S24	V1	ST1	540.00	200.00	266.47	3364.68
S25	ST1	SP4	286.97	34.93	266.47	2942.99
S26	SP4	SPHT2	286.97	34.93	251.04	2942.99
S27	SPHT2	SPHT3	450.00	34.93	251.04	3338.08
S28	SP4	-	286.97	34.93	0.00	2942.99

S29	SPHT3	TMX1	593.48	34.93	251.04	3662.10
S3	C1	SP2	28.59	1.03	440.08	13.21
S30	SP4	V3	286.97	34.93	15.43	2942.99
S31	V2	ST2	539.05	34.93	261.31	3538.71
S32	ST2	V8	453.02	19.74	37.67	3364.77
S33	V8	FWH5	453.02	19.74	37.67	3364.77
S34	V3	FWH6	284.41	33.00	15.43	2942.99
S35	ST2	V9	367.86	10.42	0.00	3195.61
S36	V9	DA1	367.86	9.74	0.00	3195.61
S37	ST2	SP6	279.83	5.12	223.54	3022.75
S38	SP6	ST3	279.83	5.12	206.46	3022.75
S39	SP6	V7	279.83	5.12	17.07	3022.75
S4	SP1	M1	20.00	0.94	440.08	4.50
S40	V7	FWH4	279.83	5.12	17.07	3022.75
S41	ST3	SP9	164.09	1.61	11.74	2800.20
S42	V6	FWH3	164.09	1.61	8.95	2800.20
S43	ST3	V5	98.47	0.73	8.45	2676.58
S44	V5	FWH2	98.47	0.73	8.45	2676.58
S45	ST3	M6	69.35	0.30	8.10	2551.03
S46	V4	FWH1	69.35	0.30	11.56	2396.83
S47	ST3	M3	39.02	0.07	178.40	2364.70
S48	M3	CND1	39.02	0.07	241.97	1785.42
S49	CND1	PUMP1	39.02	0.07	241.97	163.38
S5	HX1	M2	132.83	1.03	570.34	136.31
S50	-	CND1	15.00	1.00	6260.72	63.04
S51	CND1	-	29.99	1.00	6260.72	125.73
S52	MU1	M3	22.00	1.03	17.49	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.35	0.73	34.46	307.06
S54	M4	DA1	147.46	15.61	295.07	621.91
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	278.01	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.56	200.00	278.01	490.72
S57	SP5	FWH5	113.56	200.00	266.49	490.72
S58	PUMP1	FWH1	39.27	15.61	241.97	165.79
S59	FWH1	FWH2	68.35	15.61	241.97	287.33
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.18	15.61	241.97	378.83
S61	FWH4	M4	153.70	15.61	241.97	648.79
S62	FWH5	FWH6	212.71	200.00	266.49	916.73
S63	FWH3	FWH2	95.18	1.61	25.97	398.79
S64	FWH4	FWH3	117.50	5.12	17.07	493.32
S65	FWH3	FWH4	112.50	15.61	241.97	472.90
S66	FWH5	M4	118.56	19.74	53.10	498.84
S67	FWH6	ECON1	238.18	200.00	266.49	1031.91
S68	TMX1	V2	539.05	34.93	261.31	3538.71
S69	SP5	TMX1	113.56	200.00	11.51	490.72
S7	HX1	SP3	207.97	1.03	440.84	196.53
S70	FWH6	FWH5	217.71	33.00	15.43	933.44
S71	FWH1	M3	44.27	0.30	46.08	185.32
S72	SP7	FB1	207.97	1.03	440.84	196.56
S73	SP8	SPHT3	870.00	1.03	274.46	1098.47
S74	SPHT4	M5	870.00	1.03	295.88	1098.47
S75	SP8	SPHT4	870.00	1.03	295.88	1098.47

S76	SPHT3	M5	655.12	1.03	274.46	799.13
S77	M5	SPHT1	767.80	1.03	570.34	954.36
S78	SP5	TMX2	113.56	200.00	0.00	490.72
S79	TMX2	V1	540.00	200.00	266.47	3364.68
S8	SP3	M2	207.97	1.03	0.00	196.56
S80	SPHT4	TMX2	540.00	200.00	266.47	3364.68
S81	SP9	V6	164.09	1.61	8.95	2800.20
S82	SP9	HX2	164.09	1.61	2.79	2800.20
S83	-	HX2	20.00	1.00	3.46	83.95
S84	HX2	M6	99.63	1.00	3.46	2035.64
S85	M6	V4	69.35	0.30	11.56	2396.83
S86	HX2	DA1	84.91	1.61	2.79	355.63
S9	M2	C2	132.83	1.03	570.34	136.32

Πίνακας 3.8.4

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	157.95
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	5.7945
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	340.390
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.20

Ειδικές εκπομπές CO ₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.148
----------------------------------	--	--------------

- 20% θερμική υποκατάσταση από ξηρό λιγνίτη

Πίνακας 3.8.5

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	431.28	4.50
S10	C2	-	126.03	1.04	553.58	127.33
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	431.28	13.21
S12	SP3	M1	196.87	1.03	0.00	185.05
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	196.87	1.03	433.15	185.05
S15	SP7	FB1	196.87	1.03	0.00	185.05
S16	FB1	SP8	870.00	1.03	553.58	1089.93
S17	SPHT1	SPHT2	484.81	1.03	553.58	568.08
S18	SPHT2	ECON1	340.24	1.03	553.58	385.06
S19	ECON1	HX1	238.29	1.03	553.58	260.45
S2	M1	C1	20.00	0.94	431.28	4.50
S20	ECON1	FB1	290.64	200.00	269.51	1285.32
S21	FB1	SPHT1	365.70	200.00	269.51	2418.36
S22	SPHT1	FB1	480.00	200.00	269.51	3174.38
S23	FB1	SPHT4	540.00	200.00	269.51	3364.68
S24	V1	ST1	540.00	200.00	269.51	3364.68
S25	ST1	SP4	286.97	34.93	269.51	2942.99
S26	SP4	SPHT2	286.97	34.93	253.91	2942.99
S27	SPHT2	SPHT3	450.00	34.93	253.91	3338.08
S28	SP4	-	286.97	34.93	0.00	2942.99
S29	SPHT3	TMX1	593.48	34.93	253.91	3662.10
S3	C1	SP2	28.59	1.03	431.28	13.21
S30	SP4	V3	286.97	34.93	15.60	2942.99
S31	V2	ST2	538.71	34.93	264.26	3537.95
S32	ST2	V8	452.71	19.74	38.10	3364.09
S33	V8	FWH5	452.71	19.74	38.10	3364.09
S34	V3	FWH6	284.41	33.00	15.60	2942.99
S35	ST2	V9	367.58	10.42	0.00	3195.01
S36	V9	DA1	367.58	9.74	0.00	3195.01
S37	ST2	SP6	279.58	5.12	226.06	3022.23
S38	SP6	ST3	279.58	5.12	209.07	3022.23
S39	SP6	V7	279.58	5.12	16.99	3022.23
S4	SP1	M1	20.00	0.94	431.28	4.50
S40	V7	FWH4	279.58	5.12	16.99	3022.23
S41	ST3	SP9	163.88	1.61	14.49	2799.77
S42	V6	FWH3	163.88	1.61	8.90	2799.77
S43	ST3	V5	98.29	0.73	8.44	2676.21
S44	V5	FWH2	98.29	0.73	8.44	2676.21
S45	ST3	M6	69.35	0.30	5.38	2550.68
S46	V4	FWH1	69.35	0.30	12.31	2260.86
S47	ST3	M3	39.02	0.07	180.67	2364.39
S48	M3	CND1	39.02	0.07	241.20	1812.24
S49	CND1	PUMP1	39.02	0.07	241.20	163.38
S5	HX1	M2	124.25	1.03	553.58	125.24

S50	-	CND1	15.00	1.00	6304.68	63.04
S51	CND1	-	30.09	1.00	6304.68	126.12
S52	MU1	M3	22.00	1.03	13.88	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.35	0.73	34.34	307.06
S54	M4	DA1	147.38	15.61	294.91	621.54
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	280.37	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.56	200.00	280.37	490.72
S57	SP5	FWH5	113.56	200.00	269.51	490.72
S58	PUMP1	FWH1	39.27	15.61	241.20	165.79
S59	FWH1	FWH2	68.35	15.61	241.20	287.33
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.18	15.61	241.20	378.83
S61	FWH4	M4	153.70	15.61	241.20	648.79
S62	FWH5	FWH6	212.71	200.00	269.51	916.73
S63	FWH3	FWH2	95.18	1.61	25.90	398.79
S64	FWH4	FWH3	117.50	5.12	16.99	493.32
S65	FWH3	FWH4	112.50	15.61	241.20	472.90
S66	FWH5	M4	118.56	19.74	53.71	498.84
S67	FWH6	ECON1	238.18	200.00	269.51	1031.91
S68	TMX1	V2	538.71	34.93	264.26	3537.95
S69	SP5	TMX1	113.56	200.00	10.86	490.72
S7	HX1	SP3	196.87	1.03	433.15	185.05
S70	FWH6	FWH5	217.71	33.00	15.60	933.44
S71	FWH1	M3	44.27	0.30	46.65	185.32
S72	SP7	FB1	196.87	1.03	433.15	185.05
S73	SP8	SPHT3	870.00	1.03	257.70	1089.93
S74	SPHT4	M5	870.00	1.03	295.88	1089.93
S75	SP8	SPHT4	870.00	1.03	295.88	1089.93
S76	SPHT3	M5	636.15	1.03	257.70	767.48
S77	M5	SPHT1	762.61	1.03	553.58	939.83
S78	SP5	TMX2	113.56	200.00	0.00	490.72
S79	TMX2	V1	540.00	200.00	269.51	3364.68
S8	SP3	M2	196.87	1.03	0.00	185.05
S80	SPHT4	TMX2	540.00	200.00	269.51	3364.68
S81	SP9	V6	163.88	1.61	8.90	2799.77
S82	SP9	HX2	163.88	1.61	5.59	2799.77
S83	-	HX2	20.00	1.00	6.93	83.95
S84	HX2	M6	99.63	1.00	6.93	2036.01
S85	M6	V4	69.35	0.30	12.31	2260.86
S86	HX2	DA1	84.90	1.61	5.59	355.59
S9	M2	C2	124.25	1.03	553.58	125.25

Πίνακας 3.8.6

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	148.36
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.169
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	343.860
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.58

Ειδικές εκπομπές CO ₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.116
----------------------------------	--	--------------

- 30% θερμική υποκατάσταση από ξηρό λιγνίτη

Πίνακας 3.8.7

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	432.00	4.50
S10	C2	-	123.10	1.04	545.31	122.91
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	432.00	13.21
S12	SP3	M1	196.85	1.03	0.00	185.03
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	196.85	1.03	432.18	185.03
S15	SP7	FB1	196.85	1.03	0.00	185.03
S16	FB1	SP8	870.00	1.03	545.31	1080.88
S17	SPHT1	SPHT2	473.61	1.03	545.31	549.15
S18	SPHT2	ECON1	324.53	1.03	545.31	362.67
S19	ECON1	HX1	238.27	1.03	545.31	258.33
S2	M1	C1	20.00	0.94	432.00	4.50
S20	ECON1	FB1	281.75	200.00	270.51	1240.16
S21	FB1	SPHT1	365.70	200.00	270.51	2418.36
S22	SPHT1	FB1	480.00	200.00	270.51	3174.38
S23	FB1	SPHT4	540.00	200.00	270.51	3364.68
S24	V1	ST1	540.00	200.00	270.51	3364.68
S25	ST1	SP4	286.97	34.93	270.51	2942.99
S26	SP4	SPHT2	286.97	34.93	254.85	2942.99

S27	SPHT2	SPHT3	450.00	34.93	254.85	3338.08
S28	SP4	-	286.97	34.93	0.00	2942.99
S29	SPHT3	TMX1	593.48	34.93	254.85	3662.10
S3	C1	SP2	28.59	1.03	432.00	13.21
S30	SP4	V3	286.97	34.93	15.66	2942.99
S31	V2	ST2	540.00	34.93	264.99	3540.85
S32	ST2	V8	453.90	19.74	38.21	3366.69
S33	V8	FWH5	453.90	19.74	38.21	3366.69
S34	V3	FWH6	284.41	33.00	15.66	2942.99
S35	ST2	V9	368.66	10.42	0.00	3197.30
S36	V9	DA1	368.66	9.74	0.00	3197.30
S37	ST2	SP6	280.54	5.12	226.77	3024.21
S38	SP6	ST3	280.54	5.12	210.01	3024.21
S39	SP6	V7	280.54	5.12	16.76	3024.21
S4	SP1	M1	20.00	0.94	432.00	4.50
S40	V7	FWH4	280.54	5.12	16.76	3024.21
S41	ST3	SP9	164.69	1.61	17.16	2801.40
S42	V6	FWH3	164.69	1.61	8.78	2801.40
S43	ST3	V5	99.00	0.73	8.32	2677.63
S44	V5	FWH2	99.00	0.73	8.32	2677.63
S45	ST3	M6	69.35	0.30	2.51	2551.99
S46	V4	FWH1	69.35	0.30	12.90	2137.30
S47	ST3	M3	39.02	0.07	182.02	2365.59
S48	M3	CND1	39.02	0.07	238.78	1843.42
S49	CND1	PUMP1	39.02	0.07	238.78	163.38
S5	HX1	M2	121.33	1.03	545.31	120.85
S50	-	CND1	15.00	1.00	6356.55	63.04
S51	CND1	-	30.09	1.00	6356.55	126.14
S52	MU1	M3	22.00	1.03	9.99	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.35	0.73	33.86	307.06
S54	M4	DA1	147.29	15.61	292.65	621.18
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	280.65	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.56	200.00	280.65	490.72
S57	SP5	FWH5	113.56	200.00	270.51	490.72
S58	PUMP1	FWH1	39.27	15.61	238.78	165.79
S59	FWH1	FWH2	68.35	15.61	238.78	287.33
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.18	15.61	238.78	378.83
S61	FWH4	M4	153.70	15.61	238.78	648.79
S62	FWH5	FWH6	212.71	200.00	270.51	916.73
S63	FWH3	FWH2	95.18	1.61	25.54	398.79
S64	FWH4	FWH3	117.50	5.12	16.76	493.32
S65	FWH3	FWH4	112.50	15.61	238.78	472.90
S66	FWH5	M4	118.56	19.74	53.87	498.84
S67	FWH6	ECON1	238.18	200.00	270.51	1031.91
S68	TMX1	V2	540.00	34.93	264.99	3540.85
S69	SP5	TMX1	113.56	200.00	10.13	490.72
S7	HX1	SP3	196.85	1.03	432.18	185.03
S70	FWH6	FWH5	217.71	33.00	15.66	933.44
S71	FWH1	M3	44.27	0.30	46.77	185.32
S72	SP7	FB1	196.85	1.03	432.18	185.03
S73	SP8	SPHT3	870.00	1.03	249.43	1080.88

S74	SPHT4	M5	870.00	1.03	295.88	1080.88
S75	SP8	SPHT4	870.00	1.03	295.88	1080.88
S76	SPHT3	M5	625.09	1.03	249.43	746.51
S77	M5	SPHT1	759.57	1.03	545.31	927.94
S78	SP5	TMX2	113.56	200.00	0.00	490.72
S79	TMX2	V1	540.00	200.00	270.51	3364.68
S8	SP3	M2	196.85	1.03	0.00	185.03
S80	SPHT4	TMX2	540.00	200.00	270.51	3364.68
S81	SP9	V6	164.69	1.61	8.78	2801.40
S82	SP9	HX2	164.69	1.61	8.38	2801.40
S83	-	HX2	20.00	1.00	10.39	83.95
S84	HX2	M6	99.63	1.00	10.39	2036.95
S85	M6	V4	69.35	0.30	12.90	2137.30
S86	HX2	DA1	84.94	1.61	8.38	355.75
S9	M2	C2	121.33	1.03	545.31	120.86

Πίνακας 3.8.8

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	141
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.491
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	345.090
καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.71
Ειδικές εκπομπές CO₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.109

3.9 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

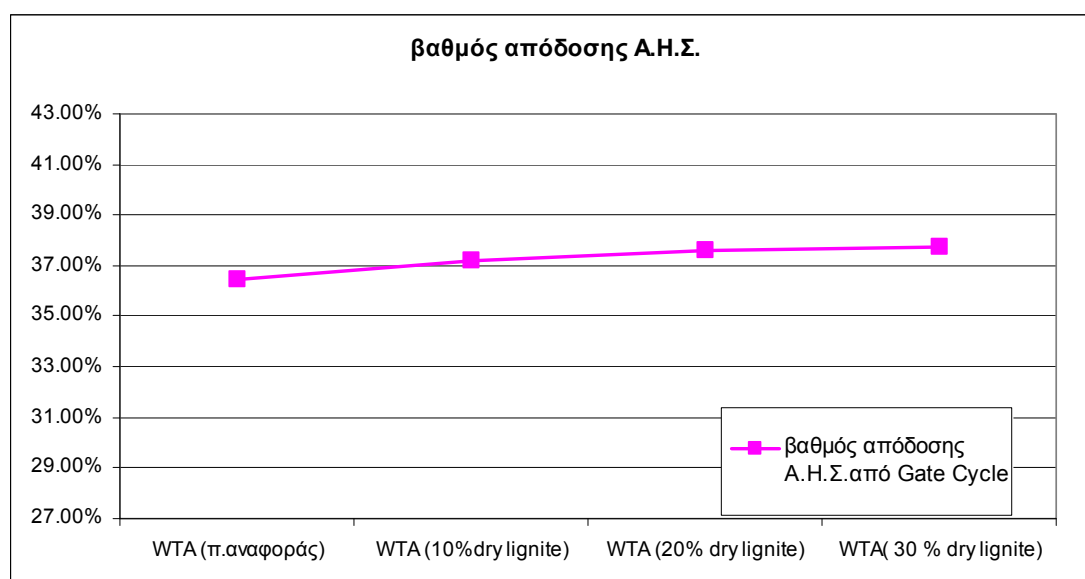
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιοι πίνακες που δείχνουν τη διαφοροποίηση που υπάρχει σε βασικά μεγέθη της ατμοηλεκτρικής μονάδας, όταν μεταβάλλεται η σύσταση του λιγνίτη και αυξάνεται το ποσοστό υποκατάστασης του ξηρού.

Συγκεκριμένα, ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται στην καθαρή ισχύ και το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης.

Πίνακας 3.9.1

	<i>PeI (MW)</i>	<i>n (Α.Η.Σ.)</i>
WTA (π.αναφοράς)	333,590	36,46%
WTA (10%dry lignite)	340,390	37,20%
WTA (20% dry lignite)	343,860	37,58%
WTA(30 % dry lignite)	345,090	37,71%

Το διάγραμμα που δείχνει και σχηματικά τη μεταβολή του βαθμού απόδοσης του Α.Η.Σ. είναι το ακόλουθο:



Σχήμα 3.9.1

Σύμφωνα λοιπόν με το διάγραμμα, γίνεται αντιληπτό ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό τόσο παρατηρείται μια σταδιακή βελτίωση του καθαρού βαθμού απόδοσης. Η συνολική αύξηση που παρατηρείται για το μέγιστο ποσοστό υποκατάστασης του 30 % είναι περίπου 1,2%. Το αποτέλεσμα αυτό είναι απολύτως φυσιολογικό και αναμενόμενο για τους λόγους που έχουν ήδη παρουσιαστεί αναλυτικά στα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης της τεχνολογίας ξήρανσης με ρευστοποιημένη κλίνη στις ατμοηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Να σημειωθεί επίσης, ότι όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό υγρασίας του καυσίμου τόσο πιο εμφανής θα είναι η βελτίωση του βαθμού απόδοσης.

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ποσότητες του νερού ψεκασμού που χρησιμοποιούνται στους δύο ρυθμιστές θερμοκρασίας της εγκατάστασης, για κάθε περίπτωση.

Πίνακας 3.9.2

	παροχή νερού στον TMX1 (kg/sec)	Ειδικές εκπομπές CO ₂ (tn/ Mwhel)	παροχή νερού στον TMX2 (kg/sec)
WTA (π.αναφοράς)	9.83	1.192	0.00
WTA (10%dry lignite)	11.51	1.148	0.00
WTA (20% dry lignite)	10.86	1.116	0.00
WTA(30 % dry lignite)	10.13	1.109	0.00

Παρατηρείται λοιπόν μια ελαφριά αύξηση του νερού- ψεκασμού για τον πρώτο ρυθμιστή θερμοκρασίας του ανάθερμου ατμού, ενώ στον ρυθμιστή του υπέρθερμου ατμού που εξέρχεται από τον ατμοπαραγωγό η παροχή είναι μηδενική.

Συνοψίζοντας, η χρησιμοποίηση της τεχνολογίας ξήρανσης με ρευστοποιημένη κλίνη, όπως φαίνεται και στα αποτελέσματα της μοντελοποίησης και ενσωμάτωσής της στον σταθμό του Αγίου Δημητρίου, οδηγεί σε σημαντική βελτίωση του βαθμού απόδοσης. Η βελτίωση αυτή είναι πολύ πιο μεγάλη όταν το καύσιμο έχει αυξημένο ποσοστό υγρασίας, όπως είναι ο λιγνίτης που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Με την τεχνολογία WTA παρατηρείται επίσης, αύξηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου, το οποίο οδηγεί σε εξοικονόμηση αρχικού καυσίμου για την ίδια αποδιδόμενη θερμική ισχύ στον ατμοπαραγωγό της μονάδας. Η εξοικονόμηση αρχικού καυσίμου οδηγεί σε μείωση των ειδικών εκπομπών CO₂ των μονάδων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ποσοστό μείωσης 7 % στις εκπομπές CO₂ όταν το θερμικό ποσοστό υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό είναι 30 % σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς, όπου χρησιμοποιείται 100 % φυσικός λιγνίτης. Το γεγονός αυτό προσδίδει στην τεχνολογία προξήρανσης περιβαλλοντικό πλεονέκτημα, αφού οι συνεχώς αυστηρότερες νομοθεσίες για τις εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου, υπαγορεύουν στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής αυξημένους βαθμούς απόδοσης και μικρότερες εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.

Ακόμη, η δυνατότητα εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας της εξαμιζόμενης υγρασίας του ίδιου του καυσίμου, που προσφέρει το σύστημα προξήρανσης WTA, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των θερμικών απωλειών της μονάδας σε σχέση με τις μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικές τεχνολογίες ξήρανσης, όπως ανακυκλοφορία καυσαερίων. Παράλληλα, η τεχνολογία αυτή προσφέρει την δυνατότητα αξιοποίησης της απορριπτόμενης θερμότητας του συμπυκνώματος που εξέρχεται από τον ξηραντήρα, εσωτερικά στο κύκλωμα του ξηραντήρα για την προθέρμανση του καυσίμου πριν την είσοδό του σ' αυτόν. Άρα, λοιπόν, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας προξήρανσης καυσίμου WTA στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας θα επιφέρει σημαντικά οφέλη στη λειτουργία των μονάδων και στην απόδοσή τους.

4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αντικείμενο μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας, όπως αναφέρθηκε, αποτέλεσε ο υπολογισμός των θερμοδυναμικών μεγεθών, του βαθμού απόδοσης και της ηλεκτρικής ισχύος του Α.Η.Σ. του Αγίου Δημητρίου V. Στόχος ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση θερμικής υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό. Τα εξεταζόμενα ποσοστά υποκατάστασης του θερμικού φορτίου του φυσικού λιγνίτη από ξηρό ήταν 10, 20 και 30 %. Η μοντελοποίηση της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής, για όλες τις περιπτώσεις, έγινε μέσω του προγράμματος του Gate Cycle.

Σύμφωνα λοιπόν με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, ο βαθμός απόδοσης της μονάδας βελτιωνόταν καθώς αυξανόταν το θερμικό ποσοστό υποκατάστασης από ξηρό λιγνίτη. Ακόμη, στην περίπτωση της ανακυκλοφορίας ψυχρών καυσαερίων παρατηρήθηκε περαιτέρω βελτίωση του βαθμού απόδοσης του Α.Η.Σ., όσο αυξανόταν η παροχή της ανακυκλοφορίας. Τέλος, στην περίπτωση ενσωμάτωσης της τεχνολογίας ξήρανσης του λιγνίτη σε ρευστοποιημένη κλίνη (WTA) διαπιστώθηκε η μέγιστη βελτίωση του βαθμού απόδοσης για τα διάφορα ποσοστά υποκατάστασης του θερμικού φορτίου του φυσικού λιγνίτη από ξηρό.

Σημαντικό είναι επίσης και το γεγονός ότι παρατηρείται μείωση των εκπομπών του CO₂ στις περιπτώσεις καύσης με ξηρό λιγνίτη. Αυτό είναι αναμενόμενο, αφού υπάρχει μείωση της παροχής του καυσαερίου λόγω και της μικρότερης παροχής καυσίμου που σημειώνεται. Το ποσοστό μείωσης που διαπιστώνεται στην απλή εφαρμογή της μικτής καύσης ξηρού – φυσικού λιγνίτη είναι 5 % , ενώ στις περιπτώσεις ξήρανσης με χρήση της τεχνολογίας της ρευστοποιημένης κλίνης η μείωση των εκπομπών του CO₂ φτάνει το 7% για την περίπτωση της μικτής καύσης με 30 % ξηρό λιγνίτη.

Οι αδυναμίες του λογισμικού προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε, οι οποίες παρατηρήθηκαν κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, έχουν να κάνουν κυρίως με τους υπολογισμούς της συναλλασσόμενης θερμότητας στο εσωτερικό κομμάτι του λέβητα. Δεν παρέχεται η δυνατότητα για λεπτομερή μελέτη των απωλειών ακτινοβολίας και των ποσών θερμότητας που συναλλάσσονται στους εναλλάκτες του λέβητα. Παρέχοντας, ως δεδομένα τη σύσταση του καυσίμου, τη θερμογόνο ικανότητά του, την ποσότητά του και τον λόγο αέρα καύσης υπολογίζεται ο τύπος του λέβητα και τα ποσά θερμότητας που διαπερνούν τους εναλλάκτες, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω επέμβασης. Σημειώνεται ακόμη ότι οι υπολογισμοί του προγράμματος γίνονται με ποσοστό σύγκλισης 1 %.

Τέλος, συνέχεια αυτής της διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να αποτελέσει ο υπολογισμός των ίδιων μεγεθών για διαφορετική διάταξη των εναλλακτών του λέβητα του Α.Η.Σ. ή για λειτουργία της μονάδας με διαφορετικό καύσιμο. Επίσης, μια άλλη ενδιαφέρουσα πρόταση αποτελεί ο συνδιασμός του προγράμματος του Gate Cycle με τον υπολογιστικό κώδικα του εργαστηρίου, ο οποίος εξειδικεύεται στο τμήμα του λέβητα, για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του ατμοηλεκτρικού σταθμού. Ακόμη, σημαντική πληροφορία αποτελεί και η οικονομική μελέτη για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης μιας ατμοηλεκτρικής μονάδας και το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την εξοικονόμηση καυσίμου και κατ' επέκταση της μείωσης των εκπομπών του CO₂.

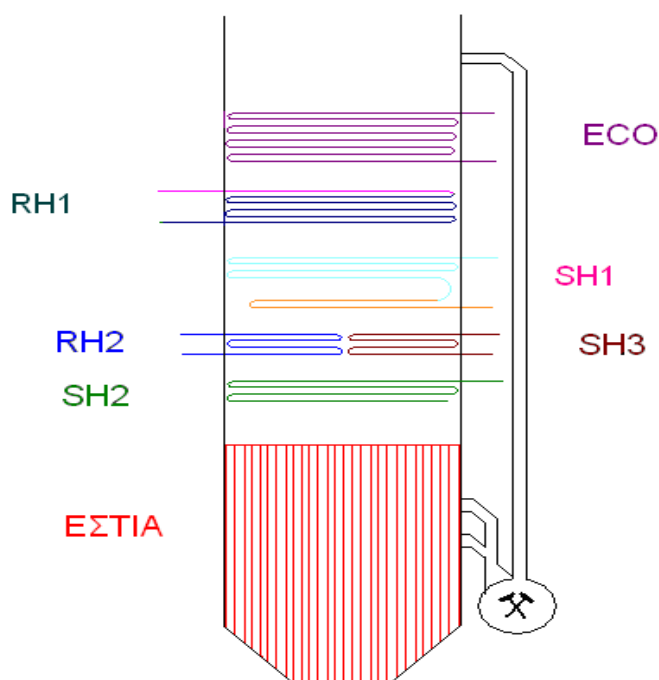
3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ Α.Η.Σ. ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ V- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ Α.Η.Σ. ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ GATE CYCLE

Η διάταξη του ατμοπαραγωγού του Α.Η.Σ., αποτελείται από τον λέβητα (Fossil Boiler), τρεις υπερθερμαντήρες, 2 αναθερμαντήρες και τον οικονομητήρα (ECO1). Ο λέβητας που χρησιμοποιείται είναι ουσιαστικά η μοντελοποίηση της εστίας, όπου καίγεται ο λιγνίτης, και του δεύτερου υπερθερμαντήρα. Η αντιστοιχία τώρα που υπάρχει μεταξύ των υπόλοιπων εναλλακτών με τους συμβολισμούς του προγράμματος είναι η εξής:

1. ο SPHT4 αντιστοιχεί στον τρίτο υπερθερμαντήρα
2. ο SPHT3 είναι ο δεύτερος αναθερμαντήρας
3. ο SPHT1 είναι ο πρώτος υπερθερμαντήρας
4. ο SPHT2 είναι ο πρώτος αναθερμαντήρας

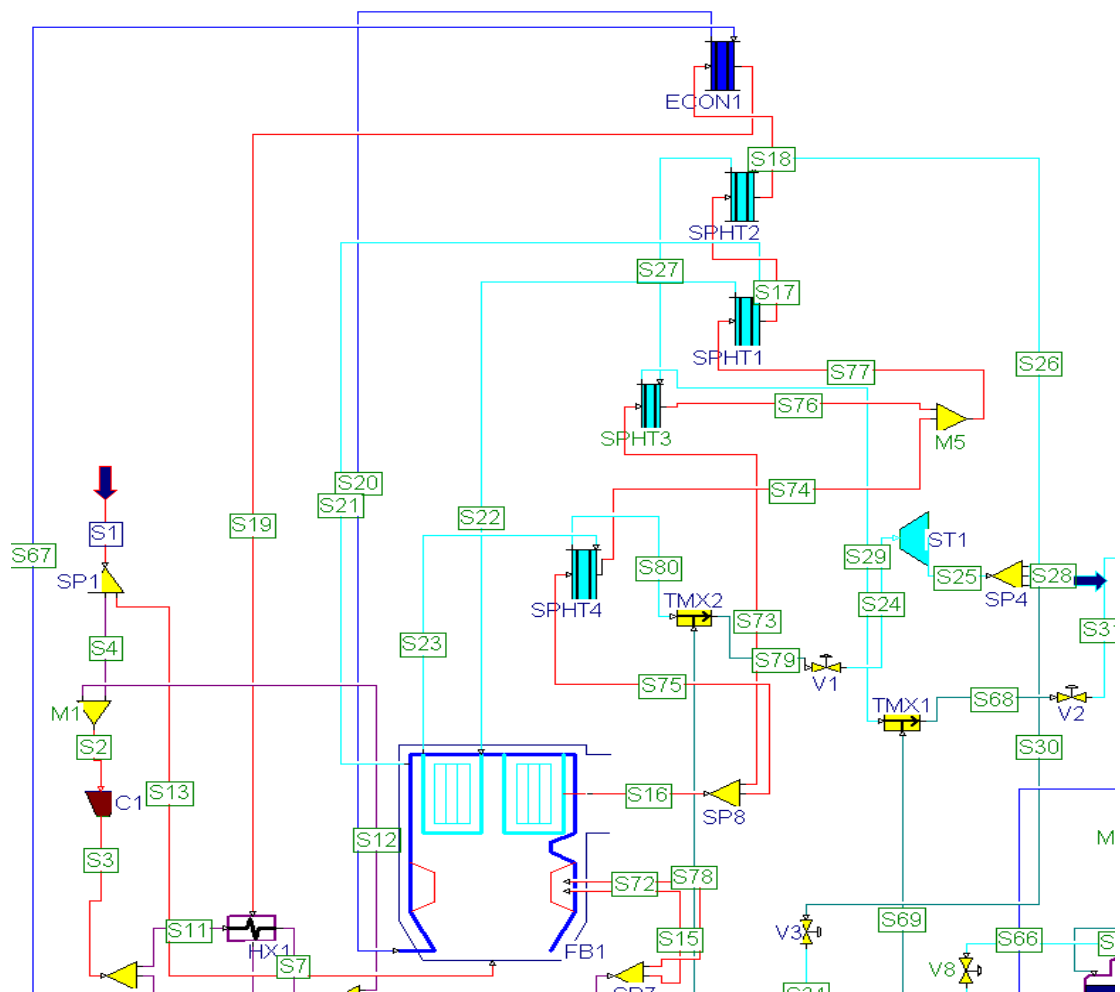
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ακριβώς η διάταξη των εναλλακτών του Α/Π και η σειρά τους κατά τη φορά του καυσαερίου.



Σχήμα 3.1

Σχηματική παράσταση της διάταξης της εστίας και των εναλλακτών στο λέβητα της μονάδας Αγίου Δημητρίου V

Σύμφωνα και με το παρακάτω σχήμα του ατμοπαραγωγού, το ρεύμα νερού- ατμού εισέρχεται στην εστία του λέβητα, περνάει από τον δεύτερο υπερθερμαντήρα (SPHT2, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στον FB1), συνεχίζει στον τρίτο υπερθερμαντήρα (SPHT4), εισέρχεται στον δεύτερο αναθερμαντήρα (SPHT3), πηγαίνει στον πρώτο υπερθερμαντήρα (SPHT1), συνεχίζει στον πρώτο αναθερμαντήρα και καταλήγει στον οικονομητήρα (ECO1), η έξοδος του οποίου ανατροφοδοτεί την εστία του λέβητα.



Σχήμα 3.2
Διάταξη A/Π στο Gate Cycle

Η μονάδα αποτελείται επίσης από έναν ατμοστρόβιλο με τρία μέρη (υψηλής-μέσης-χαμηλής πίεσης), έξι προθερμαντήρες, έναν απαεριοτή, έναν συμπυκνωτή, έναν εναλλάκτη καυσαερίων(LUVO), δύο αντλίες και δύο ανεμιστήρες (αέρα και καυσαερίων).

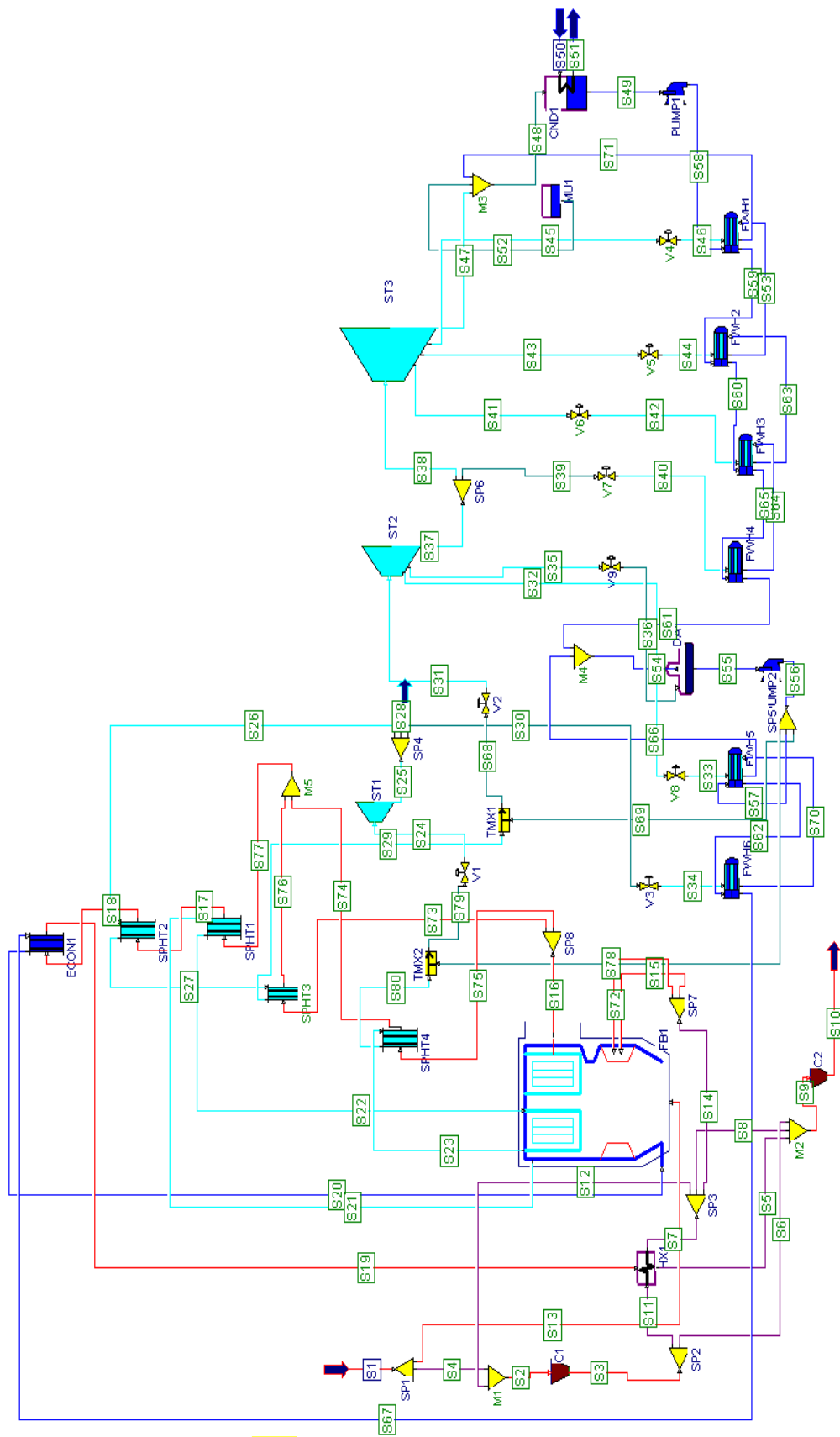
Όπως παρατηρείται, μετά τον αναθερμαντήρα 2 και πριν την είσοδο του ατμού στον στρόβιλο μέσης πίεσης έχει προστεθεί ένας ψύκτης ατμού (TMX1), ο οποίος ελέγχει τη θερμοκρασία του ατμού που εισέρχεται στο τμήμα μέσης πίεσης του στρόβιλου και αν αυτή υπερβαίνει τους 540°C, που έχουν ορισθεί, ψεκάζει την παροχή του ατμού με την απαραίτητη ποσότητα νερού που παίρνει από το τροφοδοτικό δοχείο της εγκατάστασης. Η σημασία του νερού ψεκασμού είναι σημαντική για την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης διότι αν η θερμοκρασία του ατμού που μπαίνει στον ατμοστρόβιλο υπερβαίνει τη μέγιστη προβλεπόμενη θα έχουμε προβλήματα με την λειτουργία του στρόβιλου, τα κατασκευαστικά υλικά του οποίου έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές λειτουργίας και αντοχές.

Ακόμη, το ρεύμα που εξέρχεται από τον τρίτο υπερθερμαντήρα εισέρχεται στο τμήμα υψηλής πίεσης του στρόβιλου με θερμοκρασία που δεν υπερβαίνει τους 540°C. Ο ψυκτήρας ατμού(TMX2) που παρεμβάλλεται φροντίζει για την διατήρηση της θερμοκρασίας του ρεύματος στο επιθυμητό επίπεδο.

Ο ρόλος του νερού ψεκασμού γίνεται αντιληπτός καλύτερα στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ξηρός λιγνίτης για καύσιμο, ο οποίος έχει μεγαλύτερη θερμογόνο ικανότητα με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες κατά την καύση και με συνέπεια να αυξάνεται η θερμοκρασία εξόδου του ατμού από τον αναθερμαντήρα(th2). Αντιθέτως, στην περίπτωση που η σύσταση του καυσίμου είναι 100 % φυσικός λιγνίτης δεν πραγματοποιείται ψεκασμός νερού.

Από την άλλη πλευρά, η ρύθμιση της θερμοκρασίας του ανάθερμου και του υπέρθερμου ατμού σε μια εγκατάσταση, συνεπάγεται με ενδεχόμενη μείωση του βαθμού απόδοσης του σταθμού αφού παίρνοντας κάποια ποσότητα νερού για τον ψεκασμό την αφαιρούμε από την λειτουργία του κύκλου του υπόλοιπου σταθμού, μειώνοντας έτσι την παροχή μάζας που συντελεί στην παραγωγή έργου και κατ'επέκταση χάνοντας σε βαθμό απόδοσης.

Παρακάτω, παρουσιάζεται η εγκατάσταση του ατμοηλεκτρικού σταθμού.



Όπως παρατηρείται, η μονάδα χρησιμοποιεί δύο κυκλώματα ατμού υπέρθερμο και ανάθερμο. Ο υπέρθερμος ατμός εξέρχεται από τον αμοπαραγωγό με θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά 500°C / 192 bar , αποτονώνεται στον στρόβιλο υψηλής πίεσης και εισέρχεται στον αμοπαραγωγό με θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά 267°C/ 36 bar, όπου αναθερμαίνεται. Στη συνέχεια, αποτονώνεται στους στρόβιλους μέσης και χαμηλής πίεσης και κατόπιν συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή της μονάδας.

Η μονάδα χρησιμοποιεί επίσης έξι προθερμαντήρες κλειστού τύπου για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού του αμοπαραγωγού, οι οποίοι χρησιμοποιούν ατμό που απομαστεύεται από τμήματα των στρόβιλων υψηλής-μέσης-χαμηλής πίεσης. Η ποσότητα του απομαστευόμενου ατμού είναι τέτοια ώστε μετά την θέρμανση του τροφοδοτικού νερού του αμοπαραγωγού, να εξέρχεται από τον προθερμαντήρα σε κατάσταση ελαφρώς υπόψυκτη.

Οι προθερμαντήρες βρίσκονται σε διάταξη κατά την οποία το συμπύκνωμα από κάθε προθερμαντήρα οδηγείται προς τον προηγούμενο προθερμαντή, ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση (drains pumped backward). Σε κάθε προθερμαντήρα ο ατμός ψύχεται και συμπυκνώνεται, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται περαιτέρω ψύξη του συμπυκνώματος. Μετά τον τέταρτο προθερμαντήρα χρησιμοποιείται τροφοδοτική δεξαμενή για τον διαχωρισμό του ατμού από το τροφοδοτικό νερό του αμοπαραγωγού και στη συνέχεια τροφοδοτική αντλία για την προσαγωγή του νερού του αμοπαραγωγού.

Για την προθέρμανση του αέρα καύσης χρησιμοποιείται περιστροφικός προθερμαντήρας αέρα – καυσαερίων (LUVO), ο οποίος εκμεταλλεύεται την θερμότητα των απορριπτόμενων καυσαερίων για την προθέρμανση του αέρα καύσης. Τα θερμά καυσαέρια μετά την έξοδό τους από τον LUVO οδηγούνται στην καμινάδα με θερμοκρασία 130 °C.

Οι περιπτώσεις που εξετάζονται έχουν να κάνουν με τη σύσταση του λιγνίτη. Στην πρώτη περίπτωση(αναφοράς) χρησιμοποιείται ως καύσιμο 100 % φυσικός λιγνίτης. Τα χαρακτηριστικά του και η ακριβής σύστασή του φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.1. Σύσταση και θερμογόνος ικανότητα φυσικού λιγνίτη .

C (w/w %)	0.18
H (w/w%)	0.0145
N (w/w %)	0.030
O (w/w%)	0.085
S (w/w %)	0.0044
H2O (w/w %)	0.54
Ash (w/w %)	0.146
LHV (MJ/kg)	5.464

Στις άλλες περιπτώσεις τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι αντίστοιχα με 10-20-30 θερμικό ποσοστό υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό. Τονίζεται ότι κοινός παρανομαστής σε όλες τις περιπτώσεις είναι η σταθερή θερμική ισχύς που αποδίδεται από την καύση του λιγνίτη στην εστία του ατμοπαραγωγού. Έτσι, διαμορφώνεται αναλόγως η θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου και η ποσότητά του, ώστε το γινόμενο τους να παραμένει σταθερό.

Η σύσταση, λοιπόν, του καυσίμου για κάθε περίπτωση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.2

	10%ξηρός λιγνίτης	20%ξηρός λιγνίτης	30%ξηρός λιγνίτης
C (w/w %)	0.1875	0.1961	0.2058
H (w/w%)	0.0151	0.0158	0.0166
N (w/w %)	0.0052	0.0054	0.0057
O (w/w%)	0.0886	0.0926	0.0972
S (w/w %)	0.0046	0.0048	0.0050
H ₂ O (w/w %)	0.5208	0.4990	0.4740
Ash (w/w %)	0.1783	0.1864	0.1956
LHV (MJ/kg)	5.79446	6.16909	6.59739

Εκτός από την θερμική ισχύ, υπάρχει και μια σειρά άλλων βασικών χαρακτηριστικών μεγεθών που παραμένουν σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις όπως είναι ο λόγος αέρα καύσης, οι πολυτροπικοί, ηλεκτρικοί και μηχανικοί βαθμοί απόδοσης των στροβιλομηχανών (στροβίλων, ανεμιστήρων, αντλιών, κ.τ.λ.) καθώς και των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του ατμού (θερμοκρασία και πίεση). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές αυτών των μεγεθών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.3. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΔΙΑΤΗΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.

Λόγος αέρα καύσης (λ)	1,21
Ηλεκτρικός Βαθμός απόδοσης (n_e)	0,9
Πολυτροπικός βαθμός απόδοσης ατμοστροβίλων (n_p)	0,9
Μηχανικός βαθμός απόδοσης αντλιών απαερωτή (n_{pump})	0,75
Μηχανικός βαθμός απόδοσης αντλιών συμπυκνωμάτων (n_{pump})	0,65
Μηχανικός βαθμός απόδοσης ατμοστροβίλων (n_m)	0,9

3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη βοήθεια του λογισμικού gate cycle για την περίπτωση αναφοράς, όπου χρησιμοποιείται ως καύσιμο ο φυσικός λιγνίτης (με υγρασία 54 %), παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3.2.1

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	450.00	4.50
S10	C2	-	145.73	1.04	591.75	152.50
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	450.00	13.21
S12	SP3	M1	225.96	1.03	0.00	215.19
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	225.96	1.03	449.00	215.19
S15	SP7	FB1	225.96	1.03	0.00	215.19
S16	FB1	SP8	799.68	1.03	591.75	1005.15
S17	SPHT1	SPHT2	414.73	1.03	591.75	485.04
S18	SPHT2	ECON1	338.78	1.03	591.75	388.55
S19	ECON1	HX1	271.99	1.03	591.75	305.41
S2	M1	C1	20.00	0.94	450.00	4.50
S20	ECON1	FB1	277.11	212.48	261.64	1216.81
S21	FB1	SPHT1	370.77	212.48	261.64	2175.69
S22	SPHT1	FB1	374.51	212.48	261.64	2473.69
S23	FB1	SPHT4	439.95	212.48	261.64	2995.06
S24	V1	ST1	539.87	212.15	279.13	3349.99
S25	ST1	SP4	279.99	35.16	279.13	2921.96
S26	SP4	SPHT2	279.99	35.16	262.83	2921.96
S27	SPHT2	SPHT3	362.86	35.16	262.83	3137.07
S28	SP4	-	279.99	35.16	0.00	2921.96
S29	SPHT3	TMX1	502.62	35.16	262.83	3456.33
S3	C1	SP2	28.59	1.03	450.00	13.21
S30	SP4	V3	279.99	35.16	16.30	2921.96
S31	V2	ST2	502.50	34.92	262.84	3456.33
S32	ST2	V8	418.87	19.80	36.83	3290.22
S33	V8	FWH5	418.87	19.80	36.83	3290.22
S34	V3	FWH6	277.00	33.00	16.30	2921.96
S35	ST2	V9	336.86	10.45	0.00	3129.78
S36	V9	DA1	336.86	9.74	0.00	3129.78
S37	ST2	SP6	252.92	5.15	226.00	2966.65
S38	SP6	ST3	252.92	5.15	212.15	2966.65
S39	SP6	V7	252.92	5.15	13.85	2966.65
S4	SP1	M1	20.00	0.94	450.00	4.50
S40	V7	FWH4	252.92	5.15	13.85	2966.65
S41	ST3	V6	168.66	2.20	12.93	2805.52
S42	V6	FWH3	168.66	2.20	12.93	2805.52
S43	ST3	V5	91.50	0.74	8.67	2636.86
S44	V5	FWH2	91.50	0.74	8.67	2636.86
S45	ST3	V4	69.79	0.31	11.23	2515.96

S46	V4	FWH1	69.79	0.31	11.23	2515.96
S47	ST3	M3	39.41	0.07	179.26	2331.49
S48	M3	CND1	39.41	0.07	247.36	1733.07
S49	CND1	PUMP1	39.30	0.07	247.36	164.52
S5	HX1	M2	143.87	1.03	591.75	150.28
S50	-	CND1	15.00	1.00	6150.46	63.04
S51	CND1	-	30.10	1.00	6150.46	126.16
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.36	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.89	0.74	35.45	309.30
S54	M4	DA1	147.16	15.61	300.48	620.58
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	279.29	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.76	212.48	279.29	492.47
S57	SP5	FWH5	113.76	212.48	261.64	492.47
S58	PUMP1	FWH1	39.55	15.61	247.36	166.93
S59	FWH1	FWH2	68.73	15.61	247.36	288.89
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.30	15.61	247.36	379.37
S61	FWH4	M4	153.14	15.61	247.36	646.35
S62	FWH5	FWH6	210.55	212.48	261.64	907.62
S63	FWH3	FWH2	95.52	2.20	26.78	400.28
S64	FWH4	FWH3	127.10	5.15	13.85	534.12
S65	FWH3	FWH4	121.56	15.61	247.36	511.32
S66	FWH5	M4	118.96	19.80	53.13	500.59
S67	FWH6	ECON1	237.84	212.48	261.64	1030.64
S68	TMX1	V2	502.62	35.16	262.84	3456.33
S69	SP5	TMX1	113.76	212.48	0.17	492.47
S7	HX1	SP3	225.96	1.03	449.00	215.19
S70	FWH6	FWH5	216.36	33.00	16.30	927.24
S71	FWH1	M3	44.79	0.31	46.74	187.49
S72	SP7	FB1	225.96	1.03	449.00	215.19
S73	SP8	SPHT3	799.68	1.03	295.87	1005.15
S74	SPHT4	M5	439.95	1.03	295.88	517.55
S75	SP8	SPHT4	799.68	1.03	295.88	1005.15
S76	SPHT3	M5	592.27	1.03	295.87	718.69
S77	M5	SPHT1	516.89	1.03	591.75	618.11
S78	SP5	TMX2	113.76	212.48	17.49	492.47
S79	TMX2	V1	539.99	212.48	279.13	3349.99
S8	SP3	M2	225.96	1.03	0.00	215.19
S80	SPHT4	TMX2	605.99	212.48	261.64	3541.02
S9	M2	C2	143.87	1.03	591.75	150.29

Πίνακας 3.2.2.

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	167,5
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	5.464
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	338.850
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.03
Ειδικές εκπομπές CO₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.173

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την περίπτωση θερμικής υποκατάστασης με 10% ξηρό λιγνίτη είναι τα εξής:

Πίνακας 3.2.3

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	440.08	4.50
S10	C2	-	142.97	1.04	570.34	148.29
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	440.08	13.21
S12	SP3	M1	223.43	1.03	0.00	212.55
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	223.43	1.03	440.84	212.55
S15	SP7	FB1	223.43	1.03	0.00	212.55
S16	FB1	SP8	812.88	1.03	570.34	1017.55
S17	SPHT1	SPHT2	413.30	1.03	570.34	480.26
S18	SPHT2	ECON1	336.39	1.03	570.34	383.18
S19	ECON1	HX1	270.31	1.03	570.34	301.48
S2	M1	C1	20.00	0.94	440.08	4.50
S20	ECON1	FB1	275.09	213.54	261.65	1206.82
S21	FB1	SPHT1	371.19	213.54	261.65	2169.84
S22	SPHT1	FB1	374.22	213.54	261.65	2451.29
S23	FB1	SPHT4	440.17	213.54	261.65	2993.54
S24	V1	ST1	539.84	213.24	280.70	3348.63
S25	ST1	SP4	279.56	35.23	280.70	2920.42
S26	SP4	SPHT2	279.56	35.23	264.17	2920.42
S27	SPHT2	SPHT3	359.09	35.23	264.17	3127.91
S28	SP4	-	279.56	35.23	0.00	2920.42

S29	SPHT3	TMX1	495.37	35.23	264.17	3439.94
S3	C1	SP2	28.59	1.03	440.08	13.21
S30	SP4	V3	279.56	35.23	16.53	2920.42
S31	V2	ST2	495.17	34.92	264.20	3439.84
S32	ST2	V8	412.06	19.81	36.82	3275.34
S33	V8	FWH5	412.06	19.81	36.82	3275.34
S34	V3	FWH6	276.47	33.00	16.53	2920.42
S35	ST2	V9	330.69	10.46	0.00	3116.62
S36	V9	DA1	330.69	9.74	0.00	3116.62
S37	ST2	SP6	247.46	5.15	227.37	2955.23
S38	SP6	ST3	247.46	5.15	213.38	2955.23
S39	SP6	V7	247.46	5.15	13.99	2955.23
S4	SP1	M1	20.00	0.94	440.08	4.50
S40	V7	FWH4	247.46	5.15	13.99	2955.23
S41	ST3	V6	163.84	2.20	12.98	2795.60
S42	V6	FWH3	163.84	2.20	12.98	2795.60
S43	ST3	V5	91.61	0.75	8.76	2630.14
S44	V5	FWH2	91.61	0.75	8.76	2630.14
S45	ST3	V4	69.88	0.31	11.35	2508.44
S46	V4	FWH1	69.88	0.31	11.35	2508.44
S47	ST3	M3	39.43	0.07	180.23	2324.22
S48	M3	CND1	39.43	0.07	248.85	1726.88
S49	CND1	PUMP1	39.35	0.07	248.85	164.74
S5	HX1	M2	141.13	1.03	570.34	146.10
S50	-	CND1	15.00	1.00	6150.46	63.04
S51	CND1	-	30.13	1.00	6150.46	126.28
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.48	92.32
S53	FWH2	FWH1	74.01	0.74	35.73	309.81
S54	M4	DA1	147.05	15.61	302.18	620.14
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	281.03	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.77	213.54	281.03	492.62
S57	SP5	FWH5	113.77	213.54	261.65	492.62
S58	PUMP1	FWH1	39.60	15.61	248.85	167.15
S59	FWH1	FWH2	68.81	15.61	248.85	289.22
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.41	15.61	248.85	379.81
S61	FWH4	M4	152.98	15.61	248.85	645.68
S62	FWH5	FWH6	210.11	213.54	261.65	905.71
S63	FWH3	FWH2	95.64	2.20	26.97	400.80
S64	FWH4	FWH3	127.06	5.15	13.99	533.94
S65	FWH3	FWH4	121.45	15.61	248.85	510.83
S66	FWH5	M4	119.03	19.81	53.33	500.88
S67	FWH6	ECON1	237.80	213.54	261.65	1030.49
S68	TMX1	V2	495.33	35.23	264.20	3439.84
S69	SP5	TMX1	113.77	213.54	0.32	492.62
S7	HX1	SP3	223.43	1.03	440.84	212.55
S70	FWH6	FWH5	216.09	33.00	16.53	925.98
S71	FWH1	M3	44.91	0.31	47.14	187.98
S72	SP7	FB1	223.43	1.03	440.84	212.55
S73	SP8	SPHT3	812.88	1.03	274.46	1017.55
S74	SPHT4	M5	440.17	1.03	295.88	514.68
S75	SP8	SPHT4	812.88	1.03	295.88	1017.55

S76	SPHT3	M5	592.18	1.03	274.46	714.19
S77	M5	SPHT1	514.08	1.03	570.34	610.67
S78	SP5	TMX2	113.77	213.54	19.05	492.62
S79	TMX2	V1	539.96	213.54	280.70	3348.63
S8	SP3	M2	223.43	1.03	0.00	212.55
S80	SPHT4	TMX2	611.91	213.54	261.65	3556.57
S9	M2	C2	141.13	1.03	570.34	146.11

Πίνακας 3.2.4.

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	157.95
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	5.79446
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	338.940
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.04
Ειδικές εκπομπές CO ₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.153

Οι πίνακες που αντιστοιχούν σε θερμική υποκατάσταση με **20 % ξηρό λιγνίτη** είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 3.2.5.

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	431.28	4.50
S10	C2	-	140.50	1.04	553.58	144.26
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	431.28	13.21
S12	SP3	M1	221.26	1.03	0.00	210.30
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	221.26	1.03	433.15	210.30
S15	SP7	FB1	221.26	1.03	0.00	210.30
S16	FB1	SP8	827.37	1.03	553.58	1029.95
S17	SPHT1	SPHT2	413.11	1.03	553.58	476.38
S18	SPHT2	ECON1	333.83	1.03	553.58	377.12
S19	ECON1	HX1	268.68	1.03	553.58	297.22
S2	M1	C1	20.00	0.94	431.28	4.50
S20	ECON1	FB1	273.24	215.23	261.65	1197.75

S21	FB1	SPHT1	371.85	215.23	261.65	2171.54
S22	SPHT1	FB1	374.85	215.23	261.65	2443.61
S23	FB1	SPHT4	443.89	215.23	261.65	3006.19
S24	V1	ST1	539.92	215.01	283.24	3346.74
S25	ST1	SP4	279.09	35.38	283.24	2918.42
S26	SP4	SPHT2	279.09	35.38	266.75	2918.42
S27	SPHT2	SPHT3	356.88	35.38	266.75	3122.27
S28	SP4	-	279.09	35.38	0.00	2918.42
S29	SPHT3	TMX1	490.01	35.38	266.75	3427.68
S3	C1	SP2	28.59	1.03	431.28	13.21
S30	SP4	V3	279.09	35.38	16.49	2918.42
S31	V2	ST2	489.81	35.14	266.88	3427.53
S32	ST2	V8	407.48	19.96	36.98	3265.13
S33	V8	FWH5	407.48	19.96	36.98	3265.13
S34	V3	FWH6	275.78	33.00	16.49	2918.42
S35	ST2	V9	326.53	10.53	0.00	3107.60
S36	V9	DA1	326.53	9.74	0.00	3107.60
S37	ST2	SP6	243.77	5.19	229.88	2947.37
S38	SP6	ST3	243.77	5.19	215.67	2947.37
S39	SP6	V7	243.77	5.19	14.21	2947.37
S4	SP1	M1	20.00	0.94	431.28	4.50
S40	V7	FWH4	243.77	5.19	14.21	2947.37
S41	ST3	V6	160.58	2.22	13.11	2788.77
S42	V6	FWH3	160.58	2.22	13.11	2788.77
S43	ST3	V5	91.85	0.75	8.90	2624.44
S44	V5	FWH2	91.85	0.75	8.90	2624.44
S45	ST3	V4	70.09	0.31	11.51	2503.14
S46	V4	FWH1	70.09	0.31	11.51	2503.14
S47	ST3	M3	39.55	0.07	182.04	2319.00
S48	M3	CND1	39.55	0.07	251.66	1721.39
S49	CND1	PUMP1	39.53	0.07	251.66	165.47
S5	HX1	M2	138.66	1.03	553.58	142.10
S50	-	CND1	15.00	1.00	6150.46	63.04
S51	CND1	-	30.24	1.00	6150.46	126.74
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.83	92.32
S53	FWH2	FWH1	74.27	0.75	36.22	310.93
S54	M4	DA1	147.19	15.61	305.10	620.74
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	283.68	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.80	215.23	283.68	492.86
S57	SP5	FWH5	113.80	215.23	261.65	492.86
S58	PUMP1	FWH1	39.77	15.61	251.66	167.88
S59	FWH1	FWH2	68.99	15.61	251.66	289.99
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.62	15.61	251.66	380.71
S61	FWH4	M4	153.08	15.61	251.66	646.11
S62	FWH5	FWH6	210.18	215.23	261.65	906.07
S63	FWH3	FWH2	95.93	2.22	27.32	402.02
S64	FWH4	FWH3	127.26	5.19	14.21	534.79
S65	FWH3	FWH4	121.53	15.61	251.66	511.18
S66	FWH5	M4	119.11	19.96	53.45	501.21
S67	FWH6	ECON1	237.77	215.23	261.65	1030.38
S68	TMX1	V2	489.94	35.38	266.88	3427.53

S69	SP5	TMX1	113.80	215.23	0.44	492.86
S7	HX1	SP3	221.26	1.03	433.15	210.30
S70	FWH6	FWH5	216.09	33.00	16.49	925.98
S71	FWH1	M3	45.16	0.31	47.78	189.04
S72	SP7	FB1	221.26	1.03	433.15	210.30
S73	SP8	SPHT3	827.37	1.03	257.70	1029.95
S74	SPHT4	M5	443.89	1.03	295.88	515.52
S75	SP8	SPHT4	827.37	1.03	295.88	1029.95
S76	SPHT3	M5	593.50	1.03	257.70	710.50
S77	M5	SPHT1	514.26	1.03	553.58	606.26
S78	SP5	TMX2	113.80	215.23	21.58	492.86
S79	TMX2	V1	540.00	215.23	283.24	3346.74
S8	SP3	M2	221.26	1.03	0.00	210.30
S80	SPHT4	TMX2	621.67	215.23	261.65	3582.16
S9	M2	C2	138.66	1.03	553.58	142.11

Πίνακας 3.2.6.

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	148.36
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.16909
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	340.890
καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.26
Ειδικές εκπομπές CO ₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.126

Τέλος, οι αντίστοιχοι πίνακες για θερμική υποκατάσταση με 30 % ξηρό λιγνίτη είναι:

Πίνακας 3.2.7

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(kJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	435.00	4.50
S10	C2	-	137.16	1.04	545.31	139.22
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	435.00	13.21
S12	SP3	M1	217.61	1.03	0.00	206.52
S13	SP1	FB1	20.00	0.94	0.00	4.50
S14	SP3	SP7	217.61	1.03	432.18	206.52
S15	SP7	FB1	217.61	1.03	0.00	206.52
S16	FB1	SP8	836.46	1.03	545.31	1034.07
S17	SPHT1	SPHT2	413.12	1.03	545.31	472.55
S18	SPHT2	ECON1	330.34	1.03	545.31	369.79
S19	ECON1	HX1	267.02	1.03	545.31	292.82
S2	M1	C1	20.00	0.94	435.00	4.50
S20	ECON1	FB1	271.50	216.29	261.65	1189.28
S21	FB1	SPHT1	372.26	216.29	261.65	2171.90
S22	SPHT1	FB1	375.30	216.29	261.65	2440.34
S23	FB1	SPHT4	446.48	216.29	261.65	3015.17
S24	V1	ST1	539.90	216.03	284.70	3345.48
S25	ST1	SP4	279.16	35.59	284.70	2917.77
S26	SP4	SPHT2	279.16	35.59	268.30	2917.77
S27	SPHT2	SPHT3	358.01	35.59	268.30	3124.56
S28	SP4	-	279.16	35.59	0.00	2917.77
S29	SPHT3	TMX1	489.18	35.59	268.30	3425.58
S3	C1	SP2	28.59	1.03	435.00	13.21
S30	SP4	V3	279.16	35.59	16.40	2917.77
S31	V2	ST2	489.04	35.31	268.30	3425.58
S32	ST2	V8	406.58	20.06	37.08	3263.01
S33	V8	FWH5	406.58	20.06	37.08	3263.01
S34	V3	FWH6	275.56	33.00	16.40	2917.77
S35	ST2	V9	325.70	10.58	0.00	3105.72
S36	V9	DA1	325.70	9.74	0.00	3105.72
S37	ST2	SP6	243.04	5.21	231.22	2945.75
S38	SP6	ST3	243.04	5.21	216.92	2945.75
S39	SP6	V7	243.04	5.21	14.30	2945.75
S4	SP1	M1	20.00	0.94	435.00	4.50
S40	V7	FWH4	243.04	5.21	14.30	2945.75
S41	ST3	V6	160.02	2.23	13.17	2787.53
S42	V6	FWH3	160.02	2.23	13.17	2787.53
S43	ST3	V5	92.02	0.76	8.96	2623.53
S44	V5	FWH2	92.02	0.76	8.96	2623.53
S45	ST3	V4	70.24	0.31	11.58	2502.30
S46	V4	FWH1	70.24	0.31	11.58	2502.30
S47	ST3	M3	39.73	0.07	183.22	2318.50
S48	M3	CND1	39.73	0.07	253.00	1722.94

S49	CND1	PUMP1	39.66	0.07	253.00	166.02
S5	HX1	M2	135.33	1.03	545.31	137.08
S50	-	CND1	15.00	1.00	6150.46	63.04
S51	CND1	-	30.32	1.00	6150.46	127.08
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.78	92.32
S53	FWH2	FWH1	74.44	0.76	36.43	311.61
S54	M4	DA1	147.32	15.61	306.48	621.28
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	284.70	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.82	216.29	284.70	493.01
S57	SP5	FWH5	113.82	216.29	261.65	493.01
S58	PUMP1	FWH1	39.90	15.61	253.00	168.43
S59	FWH1	FWH2	69.13	15.61	253.00	290.57
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.79	15.61	253.00	381.40
S61	FWH4	M4	153.20	15.61	253.00	646.63
S62	FWH5	FWH6	210.35	216.29	261.65	906.90
S63	FWH3	FWH2	96.12	2.23	27.47	402.80
S64	FWH4	FWH3	127.39	5.21	14.30	535.37
S65	FWH3	FWH4	121.66	15.61	253.00	511.73
S66	FWH5	M4	119.14	20.06	53.48	501.36
S67	FWH6	ECON1	237.78	216.29	261.65	1030.47
S68	TMX1	V2	489.18	35.59	268.30	3425.58
S69	SP5	TMX1	113.82	216.29	0.00	493.01
S7	HX1	SP3	217.61	1.03	432.18	206.52
S70	FWH6	FWH5	216.24	33.00	16.40	926.69
S71	FWH1	M3	45.32	0.31	48.00	189.70
S72	SP7	FB1	217.61	1.03	432.18	206.52
S73	SP8	SPHT3	836.46	1.03	249.43	1034.07
S74	SPHT4	M5	446.48	1.03	295.88	514.64
S75	SP8	SPHT4	836.46	1.03	295.88	1034.07
S76	SPHT3	M5	595.25	1.03	249.43	707.04
S77	M5	SPHT1	515.26	1.03	545.31	602.64
S78	SP5	TMX2	113.82	216.29	23.05	493.01
S79	TMX2	V1	540.00	216.29	284.70	3345.48
S8	SP3	M2	217.61	1.03	0.00	206.52
S80	SPHT4	TMX2	627.27	216.29	261.65	3596.74
S9	M2	C2	135.33	1.03	545.31	137.09

Πίνακας 3.2.8.

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	138.72
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.59739
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	342.370
καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.42

Ειδικές εκπομπές CO₂	<i>tnCO₂ / MW_{hel}</i>	1.118
--	--	--------------

3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Ο παρακάτω πίνακας δίνει την ηλεκτρική ισχύ και τον καθαρό βαθμό απόδοσης του ατμοηλεκτρικού σταθμού του Αγίου Δημητρίου σύμφωνα με τα **αποτελέσματα** για κάθε περίπτωση καυσίμου.

Πίνακας 3.3.1

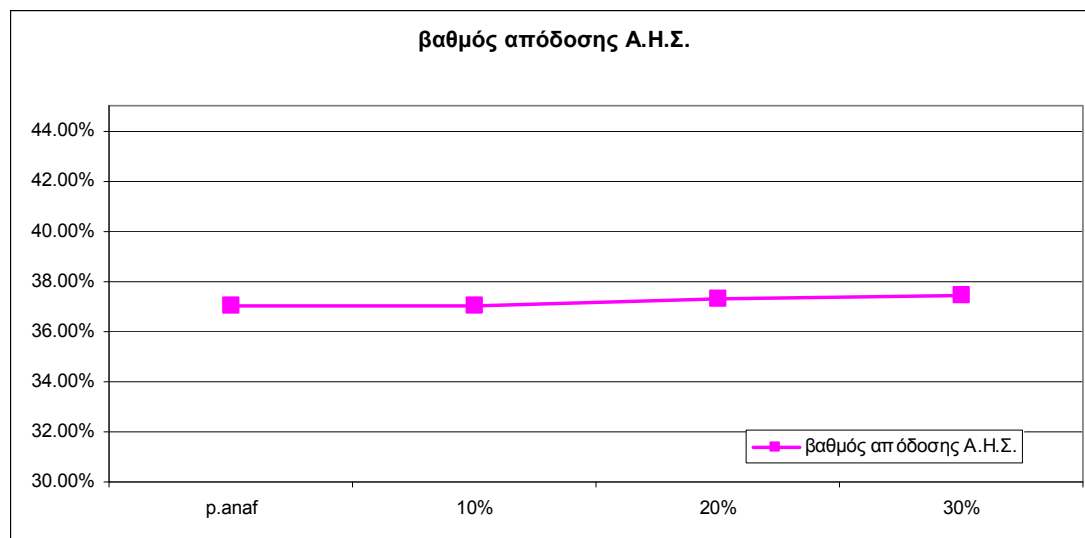
	PeI (KW)	n (Α.Η.Σ.)
περίπτωση αναφοράς	338.850	37,03%
10% ξηρός λιγνίτης	338.940	37,04%
20% ξηρός λιγνίτης	340.890	37,26%
30% ξηρός λιγνίτης	342.370	37,42%

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται σε έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό είναι το έργο που αποδίδουν οι στρόβιλοι της εγκατάστασης, και στη συγκεκριμένη περίπτωση του Αγίου Δημητρίου, τα τμήματα υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης του ατμοστροβίλου. Από αυτή την ισχύ αφαιρούνται οι ιδιοκαταναλώσεις του συστήματος, δηλαδή η απαραίτητη ενέργεια για να λειτουργήσουν οι ανεμιστήρες και οι αντλίες της μονάδας. Έτσι, προκύπτει η καθαρή ηλεκτρική ισχύς της ατμοηλεκτρικής μονάδας.

Στη συνέχεια, υπολογίζεται εύκολα ο καθαρός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης από τον λόγο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς τη θερμική ισχύ που προσφέρεται στην εστία. Σύμφωνα, λοιπόν, με την παραπάνω διαδικασία, υπολογίζονται η ηλεκτρική ισχύς και ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή του βαθμού απόδοσης συναρτήσει της περιεκτικότητας του καυσίμου σε ξηρό λιγνίτη.

Σχήμα 3.3.1



Κάποια άλλα βασικά μεγέθη από τη σύγκριση των περιπτώσεων που εξετάζονται φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.3.2

	παροχή νερού στον ΤΜΧ1(kg/sec)	παροχή νερού στον ΤΜΧ2(kg/sec)	Τgout(από τον Α.Η.Σ)	θερμοκρασία εισόδου ατμού στον ΤΜΧ1 (°C)	θερμοκρασία εισόδου ατμού στον ΤΜΧ2 (°C)	Ειδικές εκπομπές CO2 (tn/ MW _{hel})
p.anaf	0.17	17.49	145.73	503	606	1.173
10%	0.32	19.05	142.97	495	612	1.153
20%	0.44	21.58	140.5	490	622	1.126
30%	0	23.05	137.16	489	627	1.118

Σύμφωνα λοιπόν με τους παραπάνω πίνακες και το αντίστοιχο διάγραμμα, παρατηρείται σταδιακή βελτίωση του βαθμού απόδοσης του ατμοηλεκτρικού σταθμού, καθώς μεγαλώνει το ποσοστό θερμικής υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, διότι η αύξηση του ποσοστού του ξηρού λιγνίτη στο καύσιμο συνεπάγεται με μείωση της υγρασίας και αύξηση της θερμογόνου ικανότητας του καυσίμου, για την ίδια αποδιδόμενη θερμική ισχύ στον Α/Π, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε αύξηση της ωφέλιμης ισχύος και κατ' επέκταση σε βελτίωση του βαθμού απόδοσης της μονάδας.

Διαπιστώνεται επίσης, ότι η ποσότητα του νερού ψεκασμού στους δύο ρυθμιστές θερμοκρασίας του κυκλώματος αυξάνεται όσο μεγαλώνει το ποσοστό υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό. Το γεγονός αυτό είναι λογικό αφού αυξάνονται και οι θερμοκρασίες του ρεύματος του ατμού στους εναλλάκτες του Α/Π. Έτσι, χρειάζεται περισσότερη ποσότητα νερού-ψεκασμού για να διατηρηθεί η θερμοκρασία εισόδου του ατμού στο στρόβιλο στο επιθυμητό επίπεδο. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η αύξηση αυτή της ποσότητας του νερού – ψεκασμού είναι ένας λόγος που στερεί την περαιτέρω βελτίωση του βαθμού απόδοσης του Α.Η.Σ., δεδομένου ότι μειώνεται η ποσότητα του κύκλου του ατμού/νερού που παράγει έργο.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι καθώς αυξάνει το ποσοστό θερμικής υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό οι ειδικές εκπομπές CO₂ μειώνονται. Συγκεκριμένα, η μείωση αυτή φτάνει το 5 % για την περίπτωση της θερμικής υποκατάστασης κατά 30% από ξηρό λιγνίτη σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μικτής καύσης φυσικού και ξηρού λιγνίτη, αφού οι συνεχώς αυστηρότερες νομοθεσίες για τις εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου, υπαγορεύουν στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής αυξημένους βαθμούς απόδοσης και μικρότερες εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Η μείωση αυτή οφείλεται στην εξοικονόμηση του αρχικού καυσίμου.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΥ

Ο πίνακας που ακολουθεί επικεντρώνεται στα ποσά θερμότητας που συναλλάσσονται στις επιφάνειες του ατμοπαραγωγού κατά τη διαδικασία της καύσης.

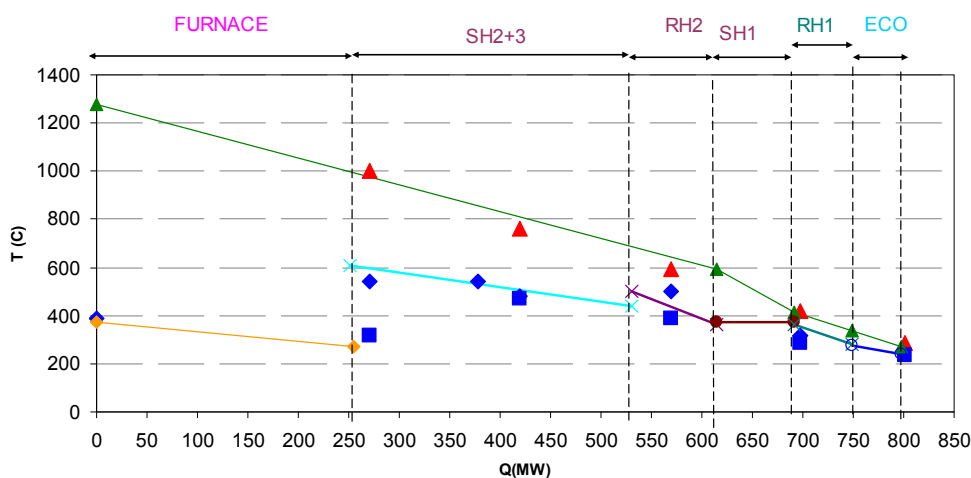
Πίνακας 3.3.3

	p.anaf	10	20	30
	Qωφ.(mD*Δh)	Qωφ.(mD*Δh)	Qωφ.(mD*Δh)	Qωφ.(mD*Δh)
furnace	250.881,36	251.974,18	254.792,15	257.102,52
SH2	136.411,25	141.879,71	147.199,06	150.404,27
SH3	142.583,33	147.316,80	150.702,55	152.167,79
RH2	83.911,11	82.428,97	81.468,12	80.763,67
SH1	77.968,72	73.641,39	71.187,12	70.237,33
RH1	56.537,36	54.812,63	54.376,99	55.481,76
ECO	48.709,52	46.136,74	43.792,36	41.552,64
άθροισμα (KW)	797.002,65	798.190,43	803.518,34	807.709,97

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η συνολική ωφέλιμη θερμική ισχύς του ατμοπαραγωγού αυξάνεται καθώς μεγαλώνει το ποσοστό υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό και συγκεκριμένα για τα ποσοστά υποκατάστασης 10, 20 και 30%.

Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη, αφού έχουμε βελτίωση της ποιότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου (μείωση της υγρασίας του), δηλαδή αύξηση της θερμογόνου ικανότητάς του, καλύτερες συνθήκες καύσης και άρα μεγαλύτερη ωφέλιμη θερμική ισχύ.

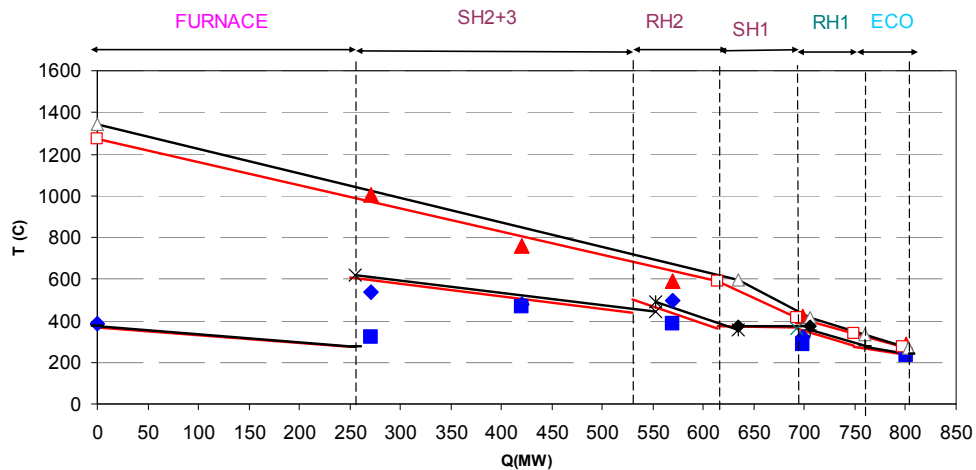
Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της θερμοροής συναρτήσει της θερμοκρασίας για κάθε τμήμα του Α/Π για την περίπτωση αναφοράς (100% φυσικός λιγνίτης).



Σχήμα 3.3.2

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα *συγκριτικά διαγράμματα* σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς για τις περιπτώσεις των 20 και 30 % υποκατάστασης του φυσικού λιγνίτη από ξηρό.

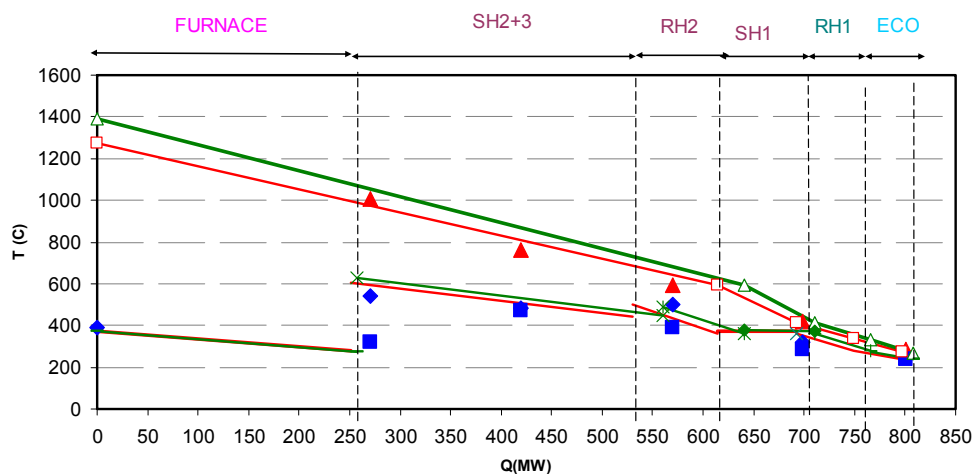
1. περίπτωση αναφοράς – 20% ξηρός λιγνίτης



Σχήμα 3.3.3

Οι κόκκινες γραμμές αντιστοιχούν στην περίπτωση αναφοράς, ενώ οι μαύρες γραμμές στο ποσοστό υποκατάστασης 20%.

2. περίπτωση αναφοράς – 30% ξηρός λιγνίτης



Σχήμα 3.3.4

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα οι κόκκινες γραμμές αντιπροσωπεύουν την περίπτωση αναφοράς και οι πράσινες το ποσοστό υποκατάστασης 30%.

Σημειώνεται ότι τα μεμονομένα σημεία που υπάρχουν στα διαγράμματα απεικονίζουν τα κατασκευαστικά σημεία λειτουργίας του ατμοπαραγωγού και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.3.4

	Gas Temperature outlet	Steam/Water Temperature outlet	Steam/Water Temperature inlet	Heat flow Q(MW)	Heat flow Sum Q(MW)
					0
Furnace	1003.8	387.9	319.3	271	271
SH2	870	519.5	450.3	71	342
SH3	760	540	500.6	36	378
RH2	760	540	468.6	42	420
SH1	592	481.2	387.9	150	570
RH1	420	498.4	287.7	128	698
ECO	285	319.3	236.3	103	801

Στη συνέχεια, υπολογίζεται με δύο τρόπους, τον άμεσο και τον έμμεσο, ο βαθμός απόδοσης του ατμοπαραγωγού για κάθε περίπτωση καυσίμου.

- Άμεσος τρόπος

Το γινόμενο της παροχής μάζας του ατμού επί την διαφορά ενθαλπίας σε κάθε τμήμα του ατμοπαραγωγού υπολογίζει την ωφέλιμη θερμική ισχύ. Ο λόγος όμως της ωφέλιμης θερμικής ισχύος που παράγεται προς την θερμική ισχύ του καυσίμου που αποδίδεται στην εστία κατά την καύση είναι ο βαθμός απόδοσης του ατμοπαραγωγού.

- Έμμεσος τρόπος

Ο έμμεσος τρόπος υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του Α/Π είναι πιο προσεγγιστικός και στηρίζεται στον εύρεση της τιμής του εξής μαθηματικού τύπου:

$$n = (1 - U_{\epsilon})(1 - U_L - U_g)$$

όπου, $U_{\epsilon} = 0,015$ (απώλειες εστίας)

$$U_L = QL / mB \cdot H_u \text{ (απώλειες ακτινοβολίας)}$$

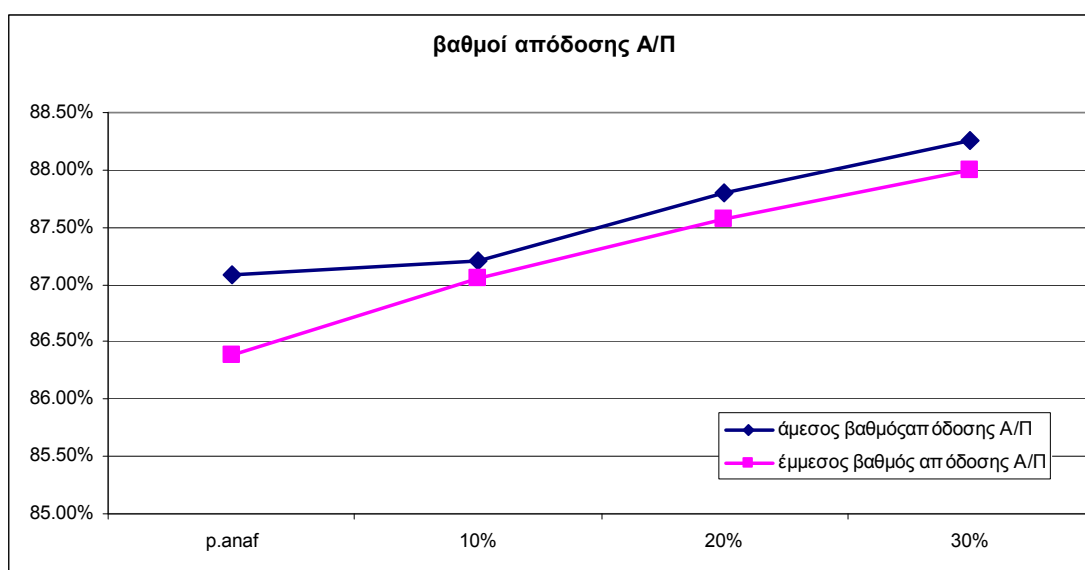
$$QL = cQ\omega^{0,7} \text{ και } c = 0,0315 \text{ για την περίπτωση του λιγνίτη}$$

$$U_g = [mG \cdot C_p \cdot T_{gout} - C_p \cdot T_{20}] / mB \cdot H_u \text{ (απώλειες καυσαερίων)}$$

Έτσι, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας και το διάγραμμα για τον βαθμό απόδοσης του Α/Π σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 3.3.5

	η(βαθμός απόδοσης Α/Π)άμεσος τρόπος	έμμεσος τρόπος
p.anaf	87.08%	86.39%
10%	87.21%	87.05%
20%	87.79%	87.57%
30%	88.25%	87.99%



Σχήμα 3.3.5

Διαπιστώνεται ότι ο έμμεσος βαθμός απόδοσης του Α/Π παρουσιάζει μια μικρή απόκλιση σε σχέση με τον άμεσο κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο, αφού ο υπολογισμός του έγινε προσεγγιστικά, παίρνοντας κάποιες συγκεκριμένες τιμές των σταθερών μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν.

Επίσης, γίνεται αντιληπτό ότι η διαφοροποίηση του βαθμού απόδοσης ακολουθεί την ίδια πορεία με αυτή της ωφέλιμης ισχύος που έχει περιγραφεί παραπάνω, λόγω της άμεσης συσχέτισης που έχουν μεταξύ τους τα δύο αυτά μεγέθη.

Η αύξηση αυτή, λοιπόν, οφείλεται στην βελτίωση της ποιότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου (μείωση της υγρασίας του), δηλαδή στην αύξηση της θερμογόνου ικανότητάς του και στην ταυτόχρονη μείωση της παροχής μάζας του καυσίμου. Αυτό γίνεται επειδή το γινόμενο $mB \cdot H_u$, το οποίο συμβολίζει την προσδιδόμενη θερμική ισχύ στον Α/Π, παραμένει σταθερό σε όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις. Η μείωση της παροχής μάζας όμως, οδηγεί και σε μείωση της παροχής των καυσαερίων που εκπέμπονται. Ακόμη, παρατηρείται αύξηση της παραγόμενης ωφέλιμης ισχύος του Α/Π και σύμφωνα με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο

υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του Α/Π, διαπιστώνεται η άνοδός του, όσο μεγαλώνει το ποσοστό της θερμικής υποκατάστασης από τον ξηρό λιγνίτη.

άμεσος βαθμός απόδοσης Α/Π: $n = Q_{\omega\phi} / (mB \cdot H_u)$

Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει αν χρησιμοποιηθεί και ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού του έμμεσου βαθμού απόδοσης του Α/Π, ο οποίος παρουσιάζεται και παραπάνω.

έμμεσος βαθμός απόδοσης Α/Π: $n = (1 - U_{\epsilon})(1 - U_L - U_g)$

Το γινόμενο $(1 - U_{\epsilon})$ παραμένει σταθερό, οι απώλειες ακτινοβολίας U_{ϵ} είναι συνάρτηση του θερμικού φορτίου του καυσίμου και οι απώλειες των καυσαερίων δίνονται από τον τύπο: $U_g = m_g \cdot C_{p,g} \cdot (T_{g,out} - T_{g,atm}) / mB \cdot H_u$

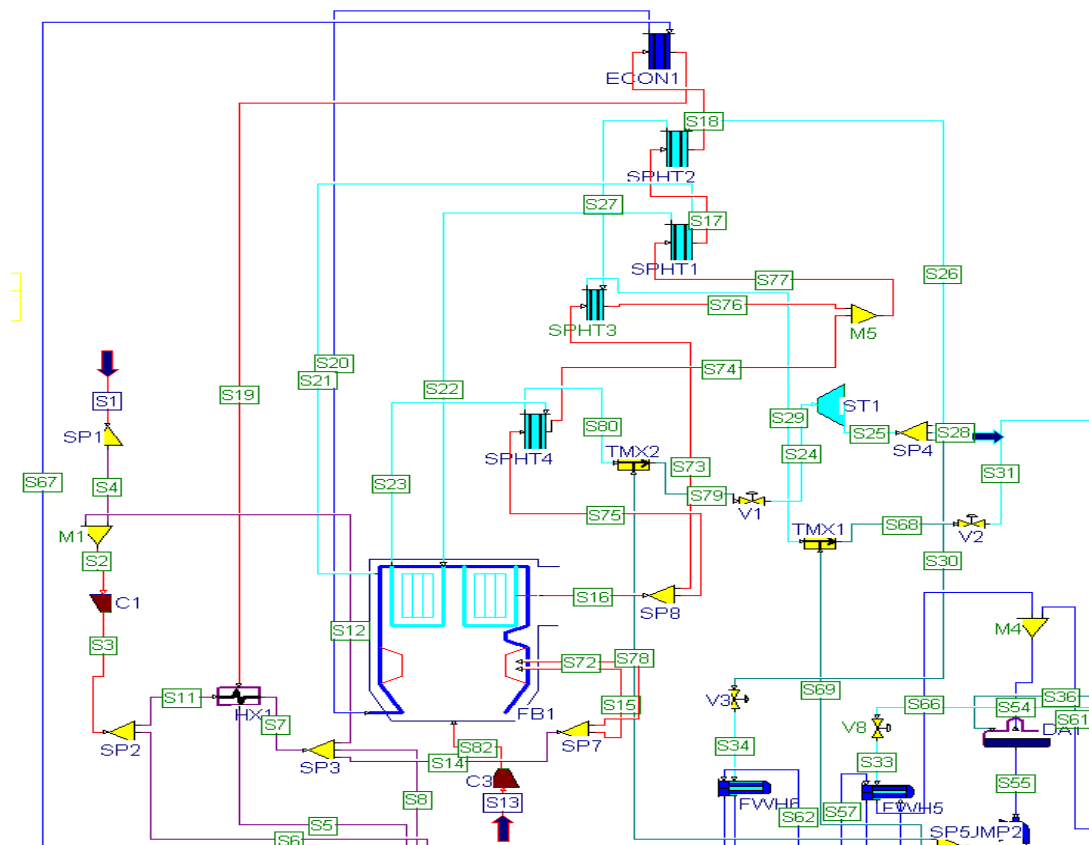
Όπως έχει ήδη αναφερθεί η παροχή των καυσαερίων μειώνεται, ενώ η θερμοκρασία εξόδου τους αυξάνεται. Έτσι, διαπιστώνεται και πάλι αύξηση του βαθμού απόδοσης του Α/Π.

3.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΨΥΧΡΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Η ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων πραγματοποιείται για την βελτίωση του βαθμού απόδοσης του Α.Η.Σ. Η θερμοκρασία των καυσαερίων που εξέρχονται από την εστία φτάνει τους 850 °C, τη στιγμή που η απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανση του καυσίμου αποδίδεται γύρω στους 120 °C. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι συναλλάσσεται πολύ μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας η οποία επηρεάζει αρνητικά το βαθμό απόδοσης. Έτσι, με την ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας τους και άρα της συναλλασόμενης θερμότητας, που οδηγεί σε βελτίωση του βαθμού απόδοσης.

Η μοντελοποίηση της μεθόδου ξήρανσης του λιγνίτη με ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων στον Α.Η.Σ. του Αγίου Δημητρίου γίνεται και πάλι με τη βοήθεια του Gate Cycle. Θεωρείται μικτή καύση φυσικού και ξηρού λιγνίτη με θερμικό ποσοστό υποκατάστασης 20%. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, η ανακυκλοφορία των καυσαερίων μοντελοποιείται ως ένα ξεχωριστό ρεύμα εισόδου στον ατμοπαραγωγό (S13). Επίσης, χρησιμοποιείται και ένας ανεμιστήρας, C3, για την διευκόλυνση της ροής των καυσαερίων. Ο εξοπλισμός της υπόλοιπης εγκατάστασης παραμένει αναλλοίωτος.

Στην ουσία η ποσότητα του καυσαερίου που χρησιμοποιείται στο ρεύμα S13 προέρχεται από το ρεύμα των καυσαερίων που εξέρχεται από τον ατμοπαραγωγό πριν διέλθει από τον εναλλάκτη καυσαερίων της εγκατάστασης(LUVO), ενώ ταυτόχρονα η υπόλοιπη ποσότητα οδηγείται κανονικά στην καπνοδόχο του Α.Η.Σ. Έτσι, τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ρεύματος S13 και η σύστασή του είναι τα ίδια με αυτά του ρεύματος S19.

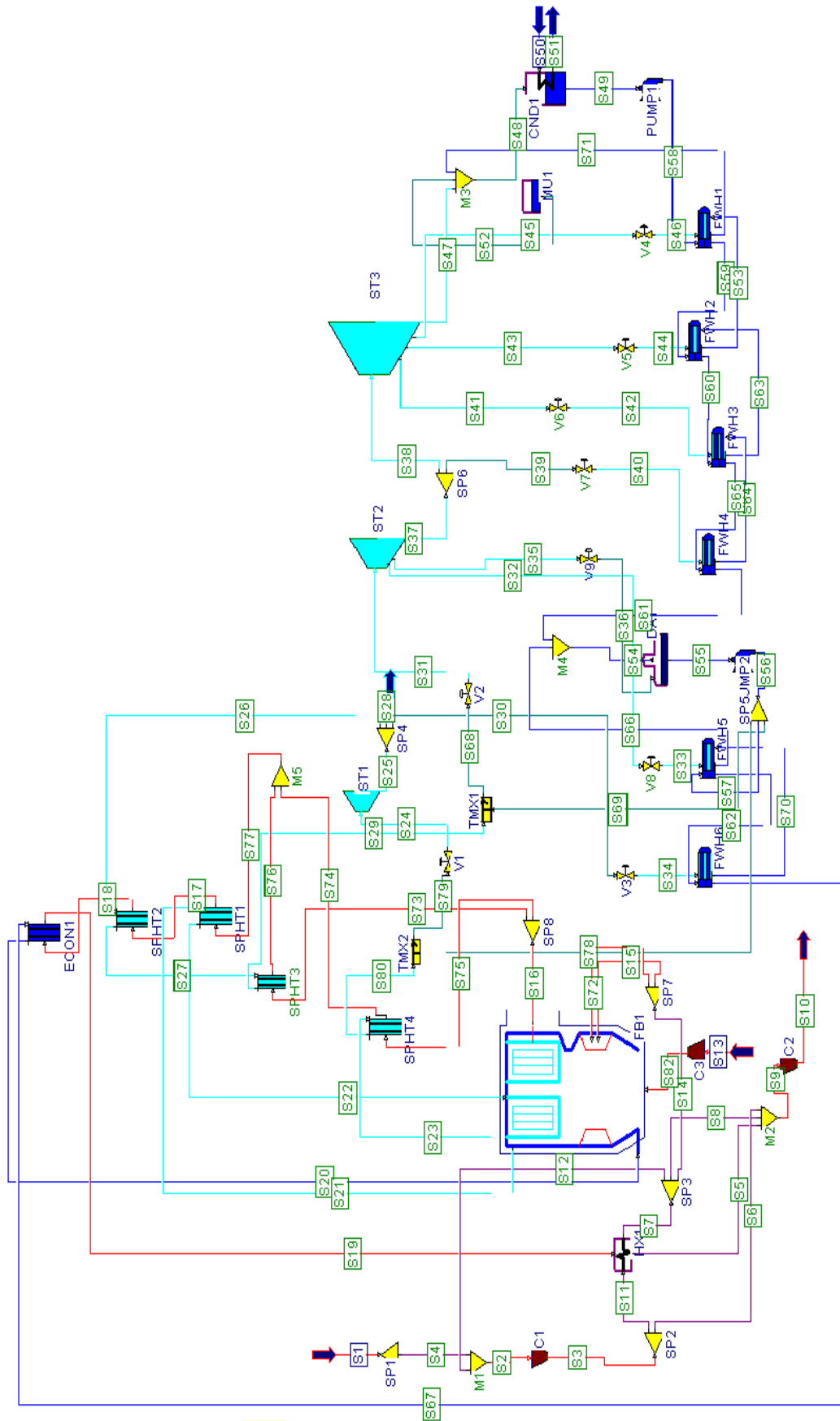


Σχήμα 3.4.1

Οι εναλλακτικές περιπτώσεις που μελετούνται εδώ αφορούν την ακριβή ποσότητα των καυσαερίων που χρησιμοποιούνται από την μονάδα για ανακυκλοφορία με περίπτωση αναφοράς την μηδενική παροχή. Στη συνέχεια ακολουθούν οι περιπτώσεις των 10, 20 και 38.17 kg ανακυκλοφορίας.

Η παροχή των 38.17 kg καυσαερίου ανακυκλοφορίας είναι η μέγιστη που μπορεί να επιτευχθεί, αφού αυτή είναι η παροχή που αντιστοιχεί στη διαφορά των καυσαερίων που σημειώνεται σε αυτά που εξέρχονται από τον Α.Η.Σ. στην περίπτωση χρήσης ως καυσίμου τον 100 % φυσικό λιγνίτη και αυτών που εξέρχονται όταν το καύσιμο είναι με 20% ξηρό λιγνίτη. Στην περίπτωση του 20 % ξηρού λιγνίτη η παροχή μάζας των καυσαερίων είναι μικρότερη, διότι χρησιμοποιείται λιγότερη ποσότητα καυσίμου. Υπενθυμίζεται ότι το θερμικό φορτίο του καυσίμου στην εστία ορίστηκε να είναι σταθερό και αφού υπάρχει αύξηση της θερμογόνου ικανότητας μειώνεται η ποσότητα του καυσίμου. Έτσι, μειωμένη ποσότητα καυσίμου συνεπάγεται με πτώση στην ποσότητα των καυσαερίων.

Στην επόμενη σελίδα δίνεται ο θερμοδυναμικός κύκλος του Α.Η.Σ.



3.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες με τα θερμοδυναμικά μεγέθη του ατμού σε κάθε σημείο της μονάδας και για όλες τις περιπτώσεις ανακυκλοφορίας που εξετάστηκαν, ξεχωριστά. Επίσης, αναφέρονται οι βαθμοί απόδοσης και η ηλεκτρική ισχύς της μονάδας.

1. μηδενική παροχή ανακυκλοφορίας ψυχρών καυσαερίων (περίπτωση αναφοράς)

πίνακας 3.5.1

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(KJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	431.28	4.50
S10	C2	-	124.96	1.04	553.58	126.08
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	431.28	13.21
S12	SP3	M1	198.78	1.03	0.00	187.02
S13	-	C3	238.00	1.03	0.00	225.86
S14	SP3	SP7	198.78	1.03	433.15	187.02
S15	SP7	FB1	198.78	1.03	0.00	187.02
S16	FB1	SP8	800.21	1.03	553.58	992.02
S17	SPHT1	SPHT2	394.36	1.03	553.58	452.71
S18	SPHT2	ECON1	307.13	1.03	553.58	344.19
S19	ECON1	HX1	238.54	1.03	553.58	260.76
S2	M1	C1	20.00	0.94	431.28	4.50
S20	ECON1	FB1	273.75	210.30	269.51	1200.32
S21	FB1	SPHT1	369.90	210.30	269.51	2204.97
S22	SPHT1	FB1	372.57	210.30	269.51	2454.45
S23	FB1	SPHT4	435.79	210.30	269.51	2981.38
S24	V1	ST1	539.91	210.05	284.39	3352.59
S25	ST1	SP4	280.28	34.85	284.39	2924.04
S26	SP4	SPHT2	280.28	34.85	267.45	2924.04
S27	SPHT2	SPHT3	366.54	34.85	267.45	3146.42
S28	SP4	-	280.28	34.85	0.00	2924.04
S29	SPHT3	TMX1	507.21	34.85	267.45	3467.00
S3	C1	SP2	28.59	1.03	431.28	13.21
S30	SP4	V3	280.28	34.85	16.94	2924.04
S31	V2	ST2	507.09	34.61	267.45	3467.00
S32	ST2	V8	423.01	19.61	37.69	3299.52
S33	V8	FWH5	423.01	19.61	37.69	3299.52
S34	V3	FWH6	277.73	33.00	16.94	2924.04
S35	ST2	V9	340.63	10.35	0.00	3137.97
S36	V9	DA1	340.63	9.74	0.00	3137.97
S37	ST2	SP6	256.23	5.10	229.76	2973.74
S38	SP6	ST3	256.23	5.10	215.76	2973.74
S39	SP6	V7	256.23	5.10	14.00	2973.74
S4	SP1	M1	20.00	0.94	431.28	4.50
S40	V7	FWH4	256.23	5.10	14.00	2973.74
S41	ST3	V6	171.64	2.18	13.15	2811.79

S42	V6	FWH3	171.64	2.18	13.15	2811.79
S43	ST3	V5	91.20	0.73	8.76	2641.87
S44	V5	FWH2	91.20	0.73	8.76	2641.87
S45	ST3	V4	69.54	0.31	11.40	2520.79
S46	V4	FWH1	69.54	0.31	11.40	2520.79
S47	ST3	M3	39.21	0.07	182.44	2335.93
S48	M3	CND1	39.21	0.07	251.24	1739.22
S49	CND1	PUMP1	39.04	0.07	251.24	163.43
S5	HX1	M2	123.18	1.03	553.58	124.00
S50	-	CND1	15.00	1.00	6284.77	63.04
S51	CND1	-	30.05	1.00	6284.77	125.98
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.49	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.57	0.73	35.91	307.98
S54	M4	DA1	146.89	15.61	305.88	619.44
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	284.39	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.72	210.30	284.39	492.17
S57	SP5	FWH5	113.72	210.30	269.51	492.17
S58	PUMP1	FWH1	39.28	15.61	251.24	165.84
S59	FWH1	FWH2	68.50	15.61	251.24	287.96
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.04	15.61	251.24	378.28
S61	FWH4	M4	152.91	15.61	251.24	645.36
S62	FWH5	FWH6	210.28	210.30	269.51	906.34
S63	FWH3	FWH2	95.15	2.18	27.15	398.72
S64	FWH4	FWH3	126.75	5.10	14.00	532.64
S65	FWH3	FWH4	121.42	15.61	251.24	510.71
S66	FWH5	M4	118.89	19.61	54.64	500.25
S67	FWH6	ECON1	237.85	210.30	269.51	1030.65
S68	TMX1	V2	507.21	34.85	267.45	3467.00
S69	SP5	TMX1	113.72	210.30	0.00	492.17
S7	HX1	SP3	198.78	1.03	433.15	187.02
S70	FWH6	FWH5	216.20	33.00	16.94	926.50
S71	FWH1	M3	44.45	0.31	47.31	186.06
S72	SP7	FB1	198.78	1.03	433.15	187.02
S73	SP8	SPHT3	800.21	1.03	257.70	992.02
S74	SPHT4	M5	435.79	1.03	295.88	505.18
S75	SP8	SPHT4	800.21	1.03	295.88	992.02
S76	SPHT3	M5	552.25	1.03	257.70	655.97
S77	M5	SPHT1	490.46	1.03	553.58	575.38
S78	SP5	TMX2	113.72	210.30	14.88	492.17
S79	TMX2	V1	540.00	210.30	284.39	3352.59
S8	SP3	M2	198.78	1.03	0.00	187.02
S80	SPHT4	TMX2	594.40	210.30	269.51	3510.55
S82	C3	FB1	241.11	1.05	0.00	229.07
S9	M2	C2	123.18	1.03	553.58	124.01

Πίνακας 3.5.2

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	148.36
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.16909
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	346.900
καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.91

2. 10 kg ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων

Πίνακας 3.5.3

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(KJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	421.00	4.50
S10	C2	-	126.21	1.04	551.40	127.58
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	421.00	13.22
S12	SP3	M1	200.42	1.03	0.00	188.72
S13	-	C3	238.00	1.03	10.00	225.86
S14	SP3	SP7	200.42	1.03	420.97	188.72
S15	SP7	FB1	200.42	1.03	0.00	188.72
S16	FB1	SP8	801.67	1.03	551.40	994.48
S17	SPHT1	SPHT2	394.39	1.03	551.40	452.91
S18	SPHT2	ECON1	306.52	1.03	551.40	343.57
S19	ECON1	HX1	238.53	1.03	551.40	260.84
S2	M1	C1	20.00	0.94	421.00	4.50
S20	ECON1	FB1	273.32	210.49	269.51	1198.24
S21	FB1	SPHT1	369.98	210.49	269.51	2203.61
S22	SPHT1	FB1	372.58	210.49	269.51	2451.99
S23	FB1	SPHT4	435.87	210.49	269.51	2981.30
S24	V1	ST1	539.89	210.21	284.63	3352.36
S25	ST1	SP4	280.24	34.88	284.63	2923.82
S26	SP4	SPHT2	280.24	34.88	267.70	2923.82
S27	SPHT2	SPHT3	366.72	34.88	267.70	3146.81
S28	SP4	-	280.24	34.88	0.00	2923.82
S29	SPHT3	TMX1	506.82	34.88	267.70	3466.10
S3	C1	SP2	28.59	1.03	421.00	13.22
S30	SP4	V3	280.24	34.88	16.93	2923.82
S31	V2	ST2	506.70	34.63	267.70	3466.10

S32	ST2	V8	422.66	19.62	37.71	3298.74
S33	V8	FWH5	422.66	19.62	37.71	3298.74
S34	V3	FWH6	277.65	33.00	16.93	2923.82
S35	ST2	V9	340.31	10.36	0.00	3137.28
S36	V9	DA1	340.31	9.74	0.00	3137.28
S37	ST2	SP6	255.95	5.10	229.99	2973.14
S38	SP6	ST3	255.95	5.10	215.97	2973.14
S39	SP6	V7	255.95	5.10	14.02	2973.14
S4	SP1	M1	20.00	0.94	421.00	4.50
S40	V7	FWH4	255.95	5.10	14.02	2973.14
S41	ST3	V6	171.40	2.18	13.16	2811.27
S42	V6	FWH3	171.40	2.18	13.16	2811.27
S43	ST3	V5	91.22	0.73	8.78	2641.46
S44	V5	FWH2	91.22	0.73	8.78	2641.46
S45	ST3	V4	69.56	0.31	11.41	2520.40
S46	V4	FWH1	69.56	0.31	11.41	2520.40
S47	ST3	M3	39.23	0.07	182.62	2335.58
S48	M3	CND1	39.23	0.07	251.50	1738.88
S49	CND1	PUMP1	39.06	0.07	251.50	163.51
S5	HX1	M2	124.42	1.03	551.40	125.49
S50	-	CND1	15.00	1.00	6284.77	63.04
S51	CND1	-	30.07	1.00	6284.77	126.02
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.51	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.60	0.73	35.95	308.08
S54	M4	DA1	146.91	15.61	306.14	619.51
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	284.63	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.72	210.49	284.63	492.19
S57	SP5	FWH5	113.72	210.49	269.51	492.19
S58	PUMP1	FWH1	39.30	15.61	251.50	165.92
S59	FWH1	FWH2	68.52	15.61	251.50	288.04
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.22
S60	FWH2	FWH3	90.07	15.61	251.50	378.37
S61	FWH4	M4	152.92	15.61	251.50	645.42
S62	FWH5	FWH6	210.30	210.49	269.51	906.40
S63	FWH3	FWH2	95.18	2.18	27.18	398.84
S64	FWH4	FWH3	126.78	5.10	14.02	532.74
S65	FWH3	FWH4	121.43	15.61	251.50	510.76
S66	FWH5	M4	118.90	19.62	54.64	500.28
S67	FWH6	ECON1	237.85	210.49	269.51	1030.64
S68	TMX1	V2	506.82	34.88	267.70	3466.10
S69	SP5	TMX1	113.72	210.49	0.00	492.19
S7	HX1	SP3	200.42	1.03	420.97	188.72
S70	FWH6	FWH5	216.21	33.00	16.93	926.54
S71	FWH1	M3	44.47	0.31	47.37	186.16
S72	SP7	FB1	200.42	1.03	420.97	188.72
S73	SP8	SPHT3	801.67	1.03	255.52	994.48
S74	SPHT4	M5	435.87	1.03	295.88	505.49
S75	SP8	SPHT4	801.67	1.03	295.88	994.48
S76	SPHT3	M5	552.54	1.03	255.52	656.62
S77	M5	SPHT1	490.40	1.03	551.40	575.53
S78	SP5	TMX2	113.72	210.49	15.12	492.19
S79	TMX2	V1	540.00	210.49	284.63	3352.36

S8	SP3	M2	200.42	1.03	0.00	188.72
S80	SPHT4	TMX2	595.27	210.49	269.51	3512.81
S82	C3	FB1	241.11	1.05	10.00	229.07
S9	M2	C2	124.42	1.03	551.40	125.50

Πίνακας 3.5.4

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	148.36
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.16909
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	347.150
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	37.93

3. 20 kg ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων

Πίνακας 3.5.5

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(KJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	410.00	4.50
S10	C2	-	127.62	1.04	549.22	129.28
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	410.00	13.21
S12	SP3	M1	202.23	1.03	0.00	190.59
S13	-	C3	238.00	1.03	20.00	225.86
S14	SP3	SP7	202.23	1.03	408.79	190.59
S15	SP7	FB1	202.23	1.03	0.00	190.59
S16	FB1	SP8	804.43	1.03	549.22	998.76
S17	SPHT1	SPHT2	394.70	1.03	549.22	453.49
S18	SPHT2	ECON1	305.84	1.03	549.22	342.87
S19	ECON1	HX1	238.51	1.03	549.22	260.91
S2	M1	C1	20.00	0.94	410.00	4.50
S20	ECON1	FB1	272.87	210.85	269.51	1196.01
S21	FB1	SPHT1	370.13	210.85	269.51	2204.32
S22	SPHT1	FB1	372.83	210.85	269.51	2453.43
S23	FB1	SPHT4	437.19	210.85	269.51	2986.42
S24	V1	ST1	540.03	210.75	285.38	3352.13
S25	ST1	SP4	280.48	35.00	285.38	2924.03

S26	SP4	SPHT2	280.48	35.00	268.56	2924.03
S27	SPHT2	SPHT3	367.29	35.00	268.56	3147.92
S28	SP4	-	280.48	35.00	0.00	2924.03
S29	SPHT3	TMX1	506.76	35.00	268.56	3465.84
S3	C1	SP2	28.59	1.03	410.00	13.21
S30	SP4	V3	280.48	35.00	16.82	2924.03
S31	V2	ST2	506.64	34.75	268.65	3465.83
S32	ST2	V8	422.65	19.69	37.81	3298.61
S33	V8	FWH5	422.65	19.69	37.81	3298.61
S34	V3	FWH6	277.72	33.00	16.82	2924.03
S35	ST2	V9	340.29	10.40	0.00	3137.18
S36	V9	DA1	340.29	9.74	0.00	3137.18
S37	ST2	SP6	255.90	5.12	230.83	2972.99
S38	SP6	ST3	255.90	5.12	216.73	2972.99
S39	SP6	V7	255.90	5.12	14.10	2972.99
S4	SP1	M1	20.00	0.94	410.00	4.50
S40	V7	FWH4	255.90	5.12	14.10	2972.99
S41	ST3	V6	171.25	2.19	13.24	2810.93
S42	V6	FWH3	171.25	2.19	13.24	2810.93
S43	ST3	V5	91.29	0.74	8.82	2641.03
S44	V5	FWH2	91.29	0.74	8.82	2641.03
S45	ST3	V4	69.62	0.31	11.46	2519.95
S46	V4	FWH1	69.62	0.31	11.46	2519.95
S47	ST3	M3	39.14	0.07	183.09	2334.43
S48	M3	CND1	39.14	0.07	252.66	1734.80
S49	CND1	PUMP1	39.12	0.07	252.66	163.79
S5	HX1	M2	125.83	1.03	549.22	127.18
S50	-	CND1	15.00	1.00	6284.77	63.04
S51	CND1	-	30.11	1.00	6284.77	126.20
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.90	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.68	0.74	36.16	308.43
S54	M4	DA1	147.03	15.61	307.28	620.06
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	285.74	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.73	210.85	285.74	492.25
S57	SP5	FWH5	113.73	210.85	269.51	492.25
S58	PUMP1	FWH1	39.37	15.61	252.66	166.20
S59	FWH1	FWH2	68.57	15.61	252.66	288.23
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.21
S60	FWH2	FWH3	90.10	15.61	252.66	378.53
S61	FWH4	M4	153.04	15.61	252.66	645.92
S62	FWH5	FWH6	210.48	210.85	269.51	907.24
S63	FWH3	FWH2	95.26	2.19	27.34	399.20
S64	FWH4	FWH3	126.92	5.12	14.10	533.37
S65	FWH3	FWH4	121.49	15.61	252.66	511.00
S66	FWH5	M4	118.91	19.69	54.61	500.34
S67	FWH6	ECON1	237.85	210.85	269.51	1030.65
S68	TMX1	V2	506.76	35.00	268.65	3465.83
S69	SP5	TMX1	113.73	210.85	0.36	492.25
S7	HX1	SP3	202.23	1.03	408.79	190.59
S70	FWH6	FWH5	216.28	33.00	16.82	926.87
S71	FWH1	M3	44.57	0.31	47.68	186.58
S72	SP7	FB1	202.23	1.03	408.79	190.59

S73	SP8	SPHT3	804.43	1.03	253.34	998.76
S74	SPHT4	M5	437.19	1.03	295.88	507.37
S75	SP8	SPHT4	804.43	1.03	295.88	998.76
S76	SPHT3	M5	553.55	1.03	253.34	658.22
S77	M5	SPHT1	491.31	1.03	549.22	576.95
S78	SP5	TMX2	113.73	210.85	15.87	492.25
S79	TMX2	V1	540.07	210.85	285.38	3352.13
S8	SP3	M2	202.23	1.03	0.00	190.59
S80	SPHT4	TMX2	598.14	210.85	269.51	3520.55
S82	C3	FB1	241.11	1.05	20.00	229.07
S9	M2	C2	125.83	1.03	549.22	127.19

Πίνακας 3.5.6

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	148.36
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.16909
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	348.310
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	38.05

4. 38,17 kg ανακυκλοφορία ψυχρών καυσαερίων

Πίνακας 3.5.7

stream	from	to	temperature(°C)	pressure(bar)	flow(kg/sec)	enthalpy(KJ/kg)
S1	-	SP1	20.00	0.94	390.00	4.50
S10	C2	-	130.35	1.04	545.26	132.56
S11	SP2	HX1	28.59	1.03	390.00	13.22
S12	SP3	M1	205.56	1.03	0.00	194.03
S13	-	C3	238.00	1.03	38.17	225.86
S14	SP3	SP7	205.56	1.03	386.66	194.03
S15	SP7	FB1	205.56	1.03	0.00	194.03
S16	FB1	SP8	808.18	1.03	545.26	1004.80
S17	SPHT1	SPHT2	395.07	1.03	545.26	454.27
S18	SPHT2	ECON1	304.93	1.03	545.26	341.99
S19	ECON1	HX1	238.50	1.03	545.26	261.07
S2	M1	C1	20.00	0.94	390.00	4.50
S20	ECON1	FB1	272.21	211.52	269.51	1192.80
S21	FB1	SPHT1	370.39	211.52	269.51	2204.73
S22	SPHT1	FB1	373.19	211.52	269.51	2453.25
S23	FB1	SPHT4	438.65	211.52	269.51	2991.45
S24	V1	ST1	539.94	211.38	286.34	3351.13
S25	ST1	SP4	280.38	35.10	286.34	2923.32
S26	SP4	SPHT2	280.38	35.10	269.57	2923.32
S27	SPHT2	SPHT3	367.49	35.10	269.57	3148.18
S28	SP4	-	280.38	35.10	0.00	2923.32
S29	SPHT3	TMX1	506.04	35.10	269.57	3464.11
S3	C1	SP2	28.59	1.03	390.00	13.22
S30	SP4	V3	280.38	35.10	16.77	2923.32
S31	V2	ST2	505.92	34.86	269.57	3464.11
S32	ST2	V8	421.97	19.76	37.87	3297.03
S33	V8	FWH5	421.97	19.76	37.87	3297.03
S34	V3	FWH6	277.48	33.00	16.77	2923.32
S35	ST2	V9	339.67	10.43	0.00	3135.78
S36	V9	DA1	339.67	9.74	0.00	3135.78
S37	ST2	SP6	255.41	5.14	231.70	2971.89
S38	SP6	ST3	255.41	5.14	217.53	2971.89
S39	SP6	V7	255.41	5.14	14.17	2971.89
S4	SP1	M1	20.00	0.94	390.00	4.50
S40	V7	FWH4	255.41	5.14	14.17	2971.89
S41	ST3	V6	170.86	2.20	13.27	2810.08
S42	V6	FWH3	170.86	2.20	13.27	2810.08
S43	ST3	V5	91.40	0.74	8.86	2640.47
S44	V5	FWH2	91.40	0.74	8.86	2640.47
S45	ST3	V4	69.72	0.31	11.50	2519.43
S46	V4	FWH1	69.72	0.31	11.50	2519.43
S47	ST3	M3	39.22	0.07	183.90	2333.82
S48	M3	CND1	39.22	0.07	253.49	1736.31
S49	CND1	PUMP1	39.20	0.07	253.49	164.13
S5	HX1	M2	128.55	1.03	545.26	130.44
S50	-	CND1	15.00	1.00	6284.77	63.04

S51	CND1	-	30.16	1.00	6284.77	126.41
S52	MU1	M3	22.00	1.03	21.79	92.32
S53	FWH2	FWH1	73.79	0.74	36.30	308.90
S54	M4	DA1	147.13	15.61	308.13	620.47
S55	DA1	PUMP2	110.37	1.45	286.34	462.87
S56	PUMP2	SP5	113.74	211.52	286.34	492.34
S57	SP5	FWH5	113.74	211.52	269.51	492.34
S58	PUMP1	FWH1	39.45	15.61	253.49	166.53
S59	FWH1	FWH2	68.66	15.61	253.49	288.63
S6	SP2	M2	28.59	1.03	0.00	13.22
S60	FWH2	FWH3	90.23	15.61	253.49	379.07
S61	FWH4	M4	153.14	15.61	253.49	646.34
S62	FWH5	FWH6	210.59	211.52	269.51	907.74
S63	FWH3	FWH2	95.41	2.20	27.44	399.80
S64	FWH4	FWH3	127.01	5.14	14.17	533.75
S65	FWH3	FWH4	121.59	15.61	253.49	511.42
S66	FWH5	M4	118.93	19.76	54.64	500.44
S67	FWH6	ECON1	237.86	211.52	269.51	1030.70
S68	TMX1	V2	506.04	35.10	269.57	3464.11
S69	SP5	TMX1	113.74	211.52	0.00	492.34
S7	HX1	SP3	205.56	1.03	386.66	194.03
S70	FWH6	FWH5	216.39	33.00	16.77	927.35
S71	FWH1	M3	44.67	0.31	47.80	186.99
S72	SP7	FB1	205.56	1.03	386.66	194.03
S73	SP8	SPHT3	808.18	1.03	249.38	1004.80
S74	SPHT4	M5	438.65	1.03	295.88	509.62
S75	SP8	SPHT4	808.18	1.03	295.88	1004.80
S76	SPHT3	M5	554.43	1.03	249.38	659.87
S77	M5	SPHT1	492.05	1.03	545.26	578.34
S78	SP5	TMX2	113.74	211.52	16.83	492.34
S79	TMX2	V1	540.00	211.52	286.34	3351.13
S8	SP3	M2	205.56	1.03	0.00	194.03
S80	SPHT4	TMX2	601.63	211.52	269.51	3529.70
S82	C3	FB1	241.11	1.05	38.17	229.07
S9	M2	C2	128.55	1.03	545.26	130.45

Πίνακας 3.5.8

Απόδοση μονάδας και καύσιμο		
Καύσιμο		
Παροχή καυσίμου	<i>kg / sec</i>	148.36
Θερμογόνος ικανότητα καυσίμου (LHV)	<i>MJ / Kg</i>	6.16909
Απόδοση		
Ωφέλιμη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό (Q _{ωφ})	<i>MW_{th}</i>	915.220
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς (<i>P_{net}</i>)	<i>MW_{el}</i>	349.390
Καθαρός βαθμός απόδοσης (<i>η</i>)	%	38.12

3.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

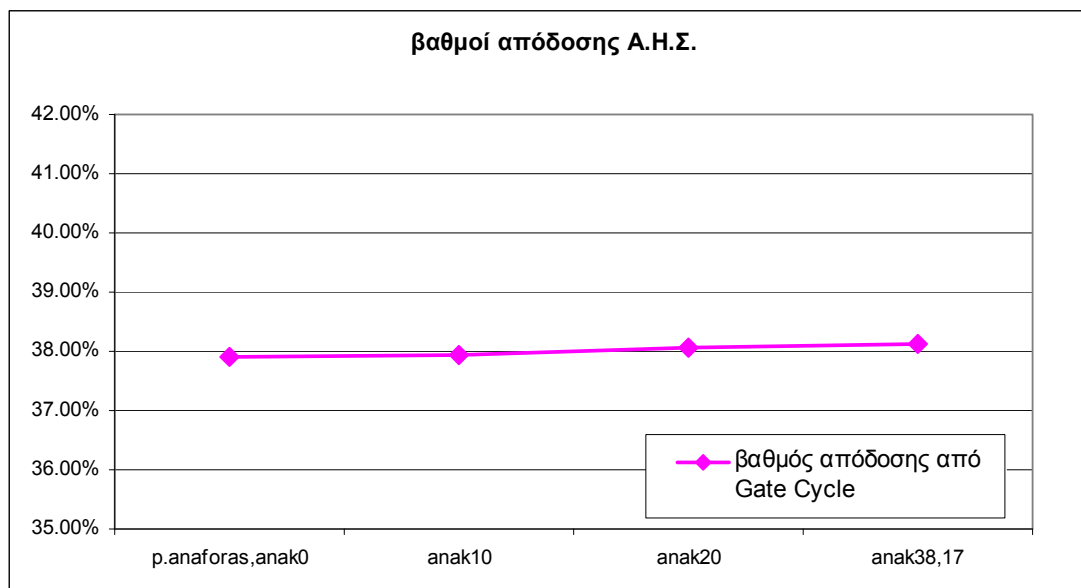
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η διαφοροποίηση κάποιων βασικών μεγεθών της μονάδας για τις εναλλακτικές περιπτώσεις ανακυκλοφορίας καυσαερίων που εξετάστηκαν.

Συγκεκριμένα, ο παρακάτω πίνακας δίνει το βαθμό απόδοσης και την ηλεκτρική ισχύ της μονάδας.

Πίνακας 3.6.1

	<i>PeI (MW)</i>	<i>n (A.H.Σ.)</i>
Περίπτωση αναφοράς	346.90	37.91%
10 kg ανακυκλοφορίας	347.15	37.93%
20 kg ανακυκλοφορίας	348.31	38.05%
38,17 kg ανακυκλοφορίας	349.39	38.12%

Το αντίστοιχο διάγραμμα είναι :



Σχήμα 3.6.1

Παρατηρείται λοιπόν ότι με την ανακυκλοφορία των καυσαερίων ο βαθμός απόδοσης της ατμοηλεκτρικής μονάδας βελτιώνεται ελαφρώς σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς, το οποίο ήταν αναμενόμενο, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου για τον λόγο πραγματοποίησης της ανακυκλοφορίας ψυχρών καυσαερίων.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με κάποια άλλα σημαντικά μεγέθη της μονάδας, όπως είναι η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον Α.Η.Σ. και η ποσότητα του νερού ψεκασμού που χρησιμοποιείται κάθε φορά στους ψυκτήρες ατμού (TMX1, TMX2).

Πίνακας 3.6.2

	παροχή νερού στον TMX1 (kg/sec)	παροχή νερού στον TMX2 (kg/sec)	Tgout(από τον Α.Η.Σ)
Περίπτωση αναφοράς	0	14.88	124.96
10 kg ανακυκλοφορίας	0	15.12	126.21
20 kg ανακυκλοφορίας	0	15.87	127.62
38,17 kg ανακυκλοφορίας	0	16.83	130.35

Διαπιστώνεται ότι η παροχή νερού στον ρυθμιστή θερμοκρασίας TMX2 αυξάνεται, αφού ο υπέρθερος ατμός που εξέρχεται από τον Α/Π έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία και άρα απαιτείται μεγάλη ποσότητα νερού ώστε να επιτευχθεί πτώση της θερμοκρασίας στους 540°C πριν την είσοδό του στο τμήμα της υψηλής πίεσης του στροβίλου. Αντιθέτως, η παροχή νερού – ψεκασμού στον TMX1 παραμένει σταθερή και μηδενική, αφού η θερμοκρασία του ανάθερμου ατμού που εξέρχεται από τον ατμοπαραγωγό κυμαίνεται στα επιτρεπτά όρια.

Ακόμη, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων που εξέρχονται από τον Α.Η.Σ. όσο μεγαλώνει η ποσότητα των ανακυκλοφορούντων καυσαερίων. Αυτό δικαιολογείται λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών στην εστία του ατμοπαραγωγού.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΥ

Απομονώνοντας το κομμάτι του ατμοπαραγωγού της εγκατάστασης και μελετώντας πιο αναλυτικά τις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας (εναλλάκτες) προκύπτει ο επόμενος πίνακας :

Πίνακας 3.6.3

Ωφέλιμο

	p.anaforas,anak0	anak10	anak20	anak38,17
furnace	270.763,22	270.957,27	271.749,63	272.725,25
SH2	142.012,90	142.654,34	143.646,13	145.050,28
SH3	142.616,61	143.247,26	143.953,38	145.063,76
RH2	85.739,12	85.473,93	85.380,60	85.165,25
SH1	67.237,35	66.940,89	67.137,64	66.978,63
RH1	59.475,53	59.694,42	60.127,90	60.615,51
ECO	45.727,76	45.169,88	44.566,17	43.687,57
άθροισμα (KW)	813.572,50	814.137,99	816.561,44	819.286,25

Σημειώνεται λοιπόν μια αύξηση στην ωφέλιμη θερμική ισχύ του Α/Π, η οποία δικαιολογείται αφ'ενός λόγω της καλύτερης ποιότητας του καυσίμου που χρησιμοποιείται (20% ξηρός λιγνίτης), αφ' ετέρου λόγω της ανακυκλοφορίας ψυχρών καυσαερίων. Έτσι, βελτιώνονται οι συνθήκες καύσης στην εστία με αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύος του ατμοπαραγωγού.

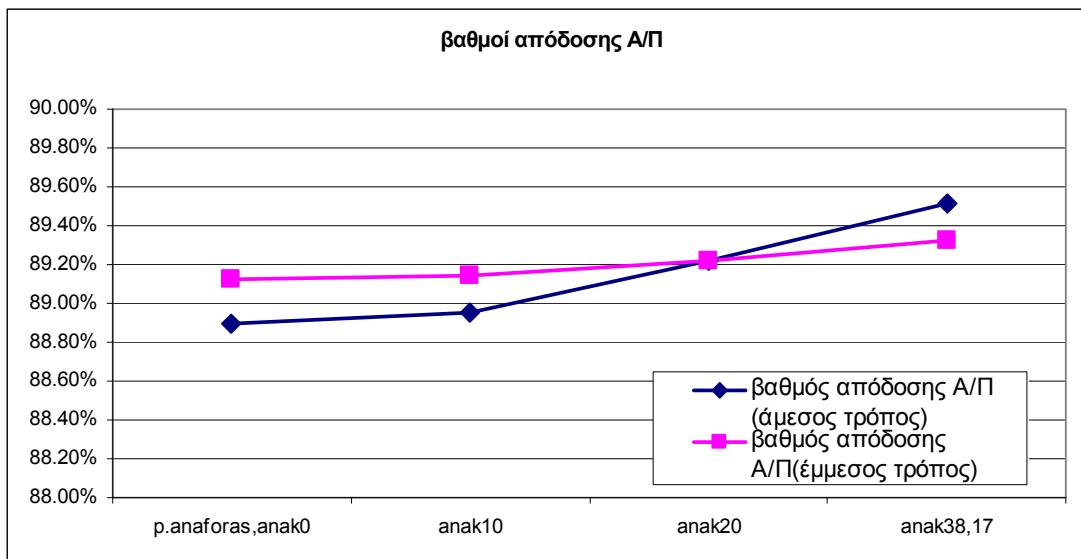
Στον παρακάτω πίνακα καταγράφεται ο βαθμός απόδοσης του Α/Π, όπως έχει υπολογιστεί αναλυτικά.

Πίνακας 3.6.4

	n(β. Αποδ. Α/Π)άμεσος τρόπος	έμμεσος τρόπος
Περίπτωση αναφοράς	88.89%	89.13%
10 kg ανακυκλοφορίας	88.95%	89.14%
20 kg ανακυκλοφορίας	89.22%	89.22%
38,17 kg ανακυκλοφορίας	89.52%	89.32%

Ο άμεσος και ο έμμεσος τρόπος υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του ατμοπαραγωγού, για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση, έχει ήδη περιγραφεί στην προηγούμενη μοντελοποίηση του σταθμού που έγινε και είναι ακριβώς ο ίδιος.

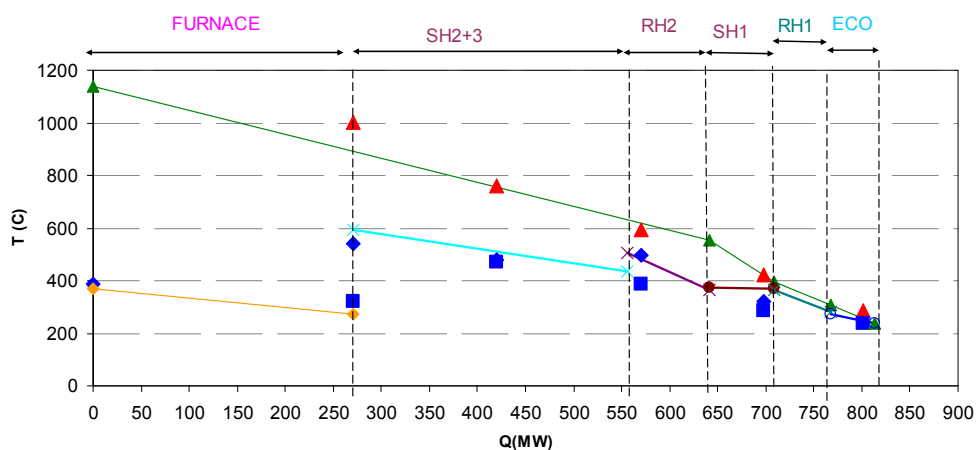
Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει και σχηματικά τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα.



Σχήμα 3.6.2

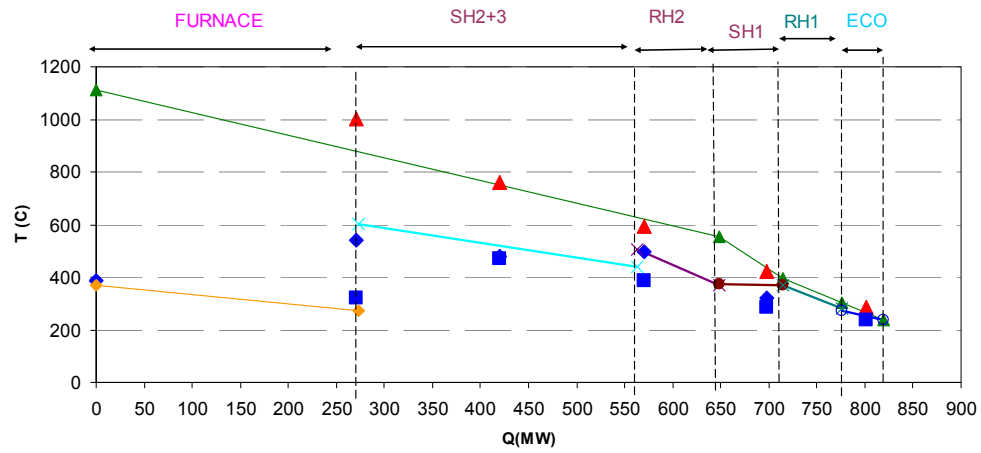
Στα παρακάτω διαγράμματα, διαφαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει της θερμότητας για κάθε τμήμα (εναλλάκτη) του Α/Π για την περίπτωση αναφοράς και την περίπτωση της μέγιστης παροχής ανακυκλοφορίας, δηλαδή των 38,17kg ψυχρού καυσαερίου.

- Περίπτωση αναφοράς(μηδενική ανακυκλοφορία)



Σχήμα 3.6.3

- 38,17kg ανακυκλοφορία καυσαερίου



Σχήμα 3.6.4

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι τα μεμονομένα σημεία που υπάρχουν στο διάγραμμα είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του Α/Π και έτσι παρατηρείται και η πιθανή απόκλιση στις συνθήκες λειτουργίας με την πραγματικότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα ίδια με αυτά του πίνακα της προηγούμενης μοντελοποίησης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ν. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ Ι - Γενικές Αρχές, *Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ*
2. Ν. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΙΙ - Εμβάθυνση, *Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ*
3. ΕΜΜ. Κ. ΚΑΚΑΡΑΣ, ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ, *Εκδόσεις Fountas*
4. Ξ.Κ. ΚΑΚΑΤΣΙΟΣ, ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, *Εκδόσεις ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ*
5. Μ. ΦΟΥΝΤΗ, Δ. ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΙΙ, *Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 2003*
6. Arun S. Mujumdar. "HANDBOOK OF INDUSTRIAL DRYING VOLUME 1 & 2". Έκδοση 2^η . Department of Chemical Engineering, McGill University, Montreal, Quebec, Canada. New York 1995.
7. Κων.Β.Καβουρίδης, Κων. Χαλόπουλος, Μάρκος Λεοντίδης, Χρ. Ρούμπος. "Εισήγηση: Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση – προοπτικές". ΤΕΕ. "Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας". Αθήνα, Ιούνιος 2005
8. Μ. ΑΛΕΞΙΟΥ, "Προσομοίωση ενσωμάτωσης τεχνολογιών προξήρανσης στερεών καυσίμων με εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας του υδρατμού στον κύκλο ατμού ατμοηλεκτρικών μονάδων.", *Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2007*
9. Υπουργείο περιβάλλοντος, χωροταξίας και δημοσίων έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.) "3^η εθνική έκθεση της σύμβασης – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή". Αθήνα, Οκτώβριος 2002.
10. Δραζιώτη. Α. Ιωάννη. Διπλωματική εργασία: "Συμβατικές και μη μέθοδοι ξήρανσης". Ε.Μ.Π. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Τομέας θερμότητας. Αθήνα 1999.

11. RWE POWER. “Lignite-Fired Power Plant with Optimized Plant Technology (BoA)”. www.coal.org/PDFs/EUROalstomadvcombusfacility.pdf.
12. E.Kakkaras , P. Ahladas, S.Surmopoulos “Computer simulation studies for the integration of an external dryer into a Greek lignite – fired power plant “
13. Γ. Βιολιδάκης , ‘Ανάπτυξη υπολογιστικού κώδικα για την εκτίμηση θερμικών μεγεθών λέβητα κονιοποιημένου καυσίμου – εφαρμογή σε Α.Η.Σ. για την περίπτωση μκτής καύσης φυσικού και ξηρού λιγνίτη. ‘, διπλωματική εργασία, Αθήνα 2008