



---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων**

*Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών*

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«Διερεύνηση τεχνολογιών  
προξήρανσης σε υφιστάμενο ελληνικό  
ΑΗΣ»

**Του Φοιτητή**

**ΜΑΣΤΟΡΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

**Επιβλέπων**

**Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ**

---

Αθήνα, Ιούλιος 2016



## Σύνοψη:

Ο λιγνίτης κατέχει σημαντικό μερίδιο στο ενεργειακό μίγμα, παρά τη συμβολή του στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, ως ορυκτό καύσιμο. Για παράδειγμα, το 27.4% της ηλεκτροπαραγωγής της Γερμανίας προέρχεται από λιγνιτικούς σταθμούς, ενώ στην Ελλάδα το αντίστοιχο ποσοστό ξεπερνά το 55%. Επίσης το 45% του συνόλου των παγκόσμιων αποθεμάτων άνθρακα αποτελούνται από άνθρακες χαμηλής θερμογόνου ικανότητας (Low rank coals-LRCs), όπως ο λιγνίτης. Με αυτό τα δεδομένα, η καύση λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας αναμένεται να παραμείνει μια βιώσιμη λύση στις επόμενες δεκαετίες, δεδομένου ότι η διαθεσιμότητα του λιγνίτη είναι σημαντική σε πολλές χώρες της Ευρώπης και του κόσμου (Γερμανία, Πολωνία, Ελλάδα, ΗΠΑ, Αυστραλία κ.α.). Επομένως, προβλήματα όσον αφορά την καύση και τη χρήση του λιγνίτη θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με πιο αποτελεσματικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Ένα από τα κύρια προβλήματα που υπάρχουν είναι η υψηλή υγρασία που περιέχεται στον ακατέργαστο λιγνίτη που εξορρύσσεται από το ορυχείο. Αποτελέσματα της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία είναι οι υψηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, το υψηλό κόστος επένδυσης και μεταφοράς, καθώς και άλλα τεχνικά προβλήματα, όπως η μείωση της ευθρυπτότητας του άνθρακα, η δυσκολία στην ανάμειξη και πνευματική μεταφορά του.

Ως εκ τούτου, η επεξεργασία του λιγνίτη μέσω ξήρανσης συγκεντρώνει μεγάλο ενδιαφέρον. Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία του θέματος και τη χρησιμότητα μιας τέτοιας προσπάθειας, η παρούσα εργασία αποτελεί μια επισκόπηση των σύγχρονων υφιστάμενων τεχνολογιών ξήρανσης, καθώς επίσης γίνεται προσπάθεια μοντελοποίησης επιλεγμένων τεχνολογιών ξήρανσης σε υφιστάμενη ατμοηλεκτρική μονάδα για την οικονομικό-τεχνική σύγκριση τους.

## Abstract:

Lignite has a significant share in the energy mix, despite its contribution to greenhouse gas emissions, as fossil fuel. For example, 27.4% of Germany's electricity comes from lignite power stations, while in Greece the figure is over 55%. Also 45% of total global coal reserves consist of low calorific value coal (Low rank coals-LRCs), such as lignite. With this data, the coal-fired power plants are expected to remain a viable option in the coming decades, since the availability of lignite is significant in many countries of Europe and the world (Germany, Poland, Greece, USA, Australia etc.). Therefore, problems regarding the combustion and use of lignite will be addressed in a more efficient and environmentally friendly way. One of the main existing problems is the high moisture content of the raw lignite as received from the mine. The high moisture content results in highest CO<sub>2</sub> emissions per unit of energy produced, and is responsible for high capital and transport costs, as well as other technical problems, such as reduction in coal friability and difficulties in its blending and pneumatic transport. Therefore, processing of lignite through drying receives widespread attention. Considering the importance of the subject and the usefulness of such an effort, this thesis represents a review of modern existing drying technologies and is also an attempt to simulate selected drying technologies applying in an existing lignite-fired plant for their economic-technical comparison.



## Περιεχόμενα:

1. Εισαγωγή: .....	3
2. Ξήρανση λιγνίτη: .....	5
3. Ταξινόμηση ξηραντήρων:.....	6
3.1. Μέθοδος ξήρανσης (με ατμοποίηση – χωρίς ατμοποίηση): .....	6
3.2. Μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας (άμεσος – έμμεσος):.....	7
3.3. Μέσο θέρμανσης (καυσαέριο – αέρας – ατμός): .....	8
4. Τύποι ξηραντήρων άνθρακα: .....	10
4.1. Ξηραντήρες τύπου μύλου: .....	10
4.1.1. Κρουστικοί μύλοι (σπαστήρες): .....	11
4.1.2. Υπάρχουσες εφαρμογές μύλων-ξηραντήρων σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο κονιοποιημένο λιγνίτη: .....	13
4.2. Ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης (FBD):.....	15
4.2.1. Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης Fluo-Solids:.....	16
4.2.2. Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης με fountain bed (spouted bed):.....	16
4.2.3. Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης (WTA): .....	18
4.2.4. Υπάρχουσες εγκαταστάσεις ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης: .....	20
4.3. Τεχνολογία ξήρανσης λιγνίτη Coldry: .....	23
4.4. Περιστρεφόμενοι ξηραντήρες (Rotary dryers): .....	25
4.4.1. Άμεσου τύπου περιστρεφόμενοι ξηραντήρες (Direct rotary dryers): .....	26
4.4.2. Περιστρεφόμενοι-σωληνωτοί (έμμεσου τύπου) ξηραντήρες (Rotary-tube dryers):	29
4.4.3. Άμεσα-έμμεσα περιστρεφόμενα συστήματα ξήρανσης:.....	30
4.4.4. Υπάρχουσες εφαρμογές περιστρεφόμενων ξηραντήρων: .....	31
4.5. Mechanical thermal expression (MTE):.....	32
4.6. Ξήρανση με μικροκύματα: .....	34
4.6.1. CoalTek: .....	35
4.6.2. Drycol:.....	36
4.7. Νέοι ξηραντήρες που λειτουργούν με ροή αέρα υψηλής ταχύτητας για άλεση/ξήρανση: .....	37
4.7.1. Τεχνολογία Windhexe: .....	37
4.7.2. Μύλος DevourX: .....	38
4.7.3. Σύστημα LamiFlo™: .....	39
4.8. Υδροθερμική αφυδάτωση (Hydrothermal dewatering): .....	40
4.8.1. K-Fuel®:.....	40

4.8.2.	Continuous Hydrothermal Dewatering (CHTD):.....	41
4.8.3.	Hot Water Drying (HWD):.....	42
4.8.4.	The Catalytic Hydrothermal Reactor Technology (Cat-HTR):.....	42
4.9.	Αναδυόμενες τεχνολογίες:.....	43
4.9.1.	Screw conveyor dryer (SCD):.....	43
4.9.2.	Ξηραντήρες προσπίπτοντος ρεύματος (Impinging stream drying):.....	44
4.9.3.	Καινοτόμοι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης (Novel fluidized bed dryer):	45
4.9.4.	Ξηραντήρες υπέρθερμου ατμού:.....	45
4.10.	Συμπεράσματα-Συνοπτική σύγκριση:.....	47
5.	Υπολογιστικό μέρος:.....	48
5.1.	Περιγραφή της εγκατάστασης:.....	48
5.2.	Διαδικασία μοντελοποίησης:.....	50
5.2.1.	Υπολογισμός του καυσίμου:.....	50
5.2.2.	Υπολογισμός αέρα καύσης:.....	52
5.2.3.	Παράμετροι εργαζόμενου μέσου (νερό/ατμός):.....	53
5.2.4.	Υπολογισμοί ξήρανσης:.....	54
5.2.5.	Λοιποί υπολογισμοί:.....	56
5.3.	Μοντελοποίηση συστημάτων ξήρανσης:.....	57
5.3.1.	Περίπτωση αναφοράς:.....	57
5.3.2.	Τεχνολογία WTA:.....	57
5.3.3.	Η τεχνολογία Coldry:.....	58
5.3.4.	Περιστρεφόμενος ξηραντήρας αυλών (tubular dryer):.....	59
5.3.5.	ΜΤΕ:.....	60
5.3.6.	Ξήρανση με μικροκύματα – η τεχνολογία Drycol:.....	61
6.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων-Πίνακες:.....	62
7.	Παρουσίαση αποτελεσμάτων – Διαγράμματα:.....	70
8.	Συμπεράσματα:.....	89
9.	Αναφορές:.....	92
Ι.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-ΣΧΗΜΑΤΑ:.....	93

## 1. Εισαγωγή:

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναζήτηση, παρουσίαση, μοντελοποίηση, όπου είναι εφικτή, και τελικά σύγκριση των διαθέσιμων συστημάτων ξήρανσης λιγνίτη.

Ο λιγνίτης θεωρείται η χαμηλότερη βαθμίδα γαιάνθρακα λόγω της υψηλής του υγρασίας και τέφρας και της χαμηλής περιεκτικότητας του σε άνθρακα. Οι άνθρακες χαμηλής θερμογόνου ικανότητας και υψηλής περιεχόμενης υγρασίας (Low Rank Coals-LRCs) αποτελούν περίπου το 45% των συνολικών παγκόσμιων αποθεμάτων άνθρακα. Η καύση λιγνίτη σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής είναι διαδεδομένη σε πολλές χώρες (Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες, Καναδά, Ινδία, Γερμανία, Ελλάδα, Πολωνία, Σερβία, Ρωσία, κ.α.) [1]. Η Ελλάδα κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και προβλέψεις για το ρυθμό κατανάλωσης, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα έχουν εξορυχθεί συνολικά 1.3 δισ. τόνοι λιγνίτη ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3.1 δισ. τόνους περίπου. Σήμερα, οι 8 λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 42% της εγκατεστημένης ισχύος της και παράγουν το 56% περίπου της καθαρής ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ [2].

Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία του λιγνίτη είναι ένα μείζον θέμα από την άποψη της εμπορικής αξιοποίησης του. Υψηλή υγρασία σημαίνει μειωμένη θερμογόνος ικανότητα και, σαν αποτέλεσμα χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Συνεπώς, η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία του λιγνίτη μειώνει την απόδοση της εγκατάστασης καθώς για την ατμοποίηση της περιεχόμενης υγρασίας απορροφάται θερμική ισχύς του καυσίμου, οδηγεί σε υψηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας και αυξάνει το κόστος της εγκατάστασης λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους των λεβήτων λιγνίτη συγκριτικά με τους σύγχρονους λέβητες λιθάνθρακα. Επιπλέον, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα η μεταφορά λιγνίτη σε μεγαλύτερες αποστάσεις, σε αντίθεση με το λιθάνθρακα, και για το λόγο αυτό οι λιγνιτικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως βρίσκονται σε ή πολύ κοντά σε λιγνιτωρυχεία. Ξήρανση και κονιοποίηση, επομένως, απαιτούνται στις εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, ώστε να εξασφαλισθεί η αποτελεσματική ανάφλεξη και η σταθερή καύση του λιγνίτη. Επιπλέον, η παρουσία υγρασίας προκαλεί μειωμένη ευθρυπτότητα του άνθρακα και δυσκολεύει σοβαρά την τροφοδοσία, την ανάμειξη του με αέρα και την πνευματική μεταφορά του. Από την άλλη πλευρά, ο λιγνίτης προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το χαμηλό κόστος εξόρυξης, την υψηλή δραστηριότητα, την υψηλή ποσότητα πτητικών και τα χαμηλά ποσοστά προσμίξεων που σχηματίζουν ρυπαντές όπως θείο, άζωτο και βαρέα μέταλλα. Για τους λόγους αυτούς, η αξιοποίηση του λιγνίτη στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθεί να είναι σημαντική και αναμένεται να αυξηθεί κατά τις προσεχείς δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο [1,3].

Για την αναβάθμιση και εμπλουτισμό του λιγνίτη έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι όπως ξήρανση, πυρόλυση, αεριοποίηση, διεργασίες ρευστοποίησης ακόμα και παρασκευή πολτού άνθρακα-νερού ως καύσιμο. Ο λιγνίτης μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση ακριβότερων ασφαλούχων ανθράκων, για την ανάμειξη με υψηλής ενεργειακής αξίας άνθρακα σε υφιστάμενους λέβητες, ή σε νέους λέβητες που έχουν σχεδιαστεί με την ευελιξία να χρησιμοποιούν LRC [1].



## 2. Ξήρανση λιγνίτη:

Το σύνολο των εφαρμογών που αφορούν το λιγνίτη εμπεριέχουν την ξήρανση του ως στάδιο προ-επεξεργασίας. Μια ενεργειακά και οικονομικά αποδοτική και ασφαλής διαδικασία ξήρανσης μπορεί να βελτιώσει τη συνολική απόδοση και να οδηγήσει σε υψηλότερες οικονομικές αποδόσεις. Ασφαλής ξήρανση με χαμηλό κόστος και κατανάλωση ενέργειας είναι ο καλύτερος τρόπος για την αναβάθμιση του λιγνίτη.

Όμως η προ-ξήρανση του λιγνίτη ενέχει κινδύνους. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο ξηρός λιγνίτης χρειάζεται ιδιαίτερη φροντίδα για την αποθήκευση, μεταφορά ή ακόμα και την άμεση αξιοποίηση του σε παρακείμενη μονάδα. Αυτή αφορά την αποφυγή έκρηξης ή πυρκαγιάς, ενώ κατά την ξήρανση έχει παρατηρηθεί αύξηση των λεπτών σωματιδίων κατά 10 έως 20% που έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη απορρόφηση υγρασίας λόγω της μεγαλύτερης συνολικής ελεύθερης επιφάνειας.

Η χρήση υπέρθερμου ατμού σαν μέσο θέρμανσης κατά την ξήρανση εξαλείφει σχεδόν τελείως τον κίνδυνο αυτανάφλεξης λόγω της απουσίας οξυγόνου όμως το κόστος τέτοιων συστημάτων ξήρανσης είναι υψηλό λόγω της πολυπλοκότητας σχεδιασμού και λειτουργίας τους.

Μια παράμετρος που επηρεάζει επίσης τη διαδικασία της ξήρανσης και το ξηρό προϊόν είναι η θερμοκρασία ξήρανσης, καθώς η υψηλή θερμοκρασία που χρησιμοποιούν οι συμβατικές τεχνολογίες ξήρανσης μπορεί να σημαίνει απώλεια πτητικών που σημαίνει μείωση της θερμογόνου ικανότητας ενώ παράλληλα ενισχύεται ο κίνδυνος αυτανάφλεξης. Αντίθετα χαμηλή θερμοκρασία ή έμμεση θέρμανση μειώνει μεν τον κίνδυνο απώλειας πτητικών όμως μειώνεται και ο ρυθμός ξήρανσης [1].

Κατανοώντας τη σύνθεση της υγρασίας στον άνθρακα διευκολύνει την αποτελεσματική απομάκρυνση της. Στον Πίνακα 2-1 αναλύονται οι διαφορετικοί τύποι υγρασίας στον άνθρακα, σε ποιο μέρος των σωματιδίων απαντώνται και την ενδεικνυόμενη μέθοδο απομάκρυνσης της [5].

Κατηγορία	Τοποθεσία	Ονομασία	Μέθοδος απομάκρυνσης
Εσωτερική προσρόφηση νερού	Μικροπόροι και μικροκοιλότητες εντός των σωματιδίων	Υγροσκοπική υγρασία	Θερμική ή χημική
Επιφανειακή προσρόφηση νερού	Επιφάνεια σωματιδίων	Υγροσκοπική υγρασία	Θερμική ή χημική
Νερό κοιλοτήτων	Κοιλότητες σωματιδίων	Υγροσκοπική υγρασία	Θερμική ή χημική
Νερό μεταξύ σωματιδίων	Μικρές σχισμές μεταξύ σωματιδίων	Επιφανειακή υγρασία	Μηχανική ή θερμική
Κολλώδες νερό	Στρώμα στην επιφάνεια μεμονωμένων σωματιδίων ή συσσωματώματος	Επιφανειακή υγρασία	Μηχανική ή θερμική

Πίνακας 2-1: Διαφορετικές κατηγορίες υγρασίας στον άνθρακα και τυπικοί μέθοδοι απομάκρυνσης [5]

### 3. Ταξινόμηση ξηραντήρων:

Οι ξηραντήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με ορισμένες παραμέτρους, όπως είναι η μέθοδος ξήρανσης που ακολουθείται, ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας, το μέσο θέρμανσης και ξήρανσης, η πηγή θερμότητας και η πίεση λειτουργίας. Οι διάφορες εναλλακτικές των ξηραντήρων, σύμφωνα με τις προηγούμενες κατηγορίες ταξινόμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-1.

Παράμετρος	Εναλλακτικές
Μέθοδος ξήρανσης	Με ή χωρίς ατμοποίηση
Μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας	Άμεσος ή έμμεσος
Μέσο ξήρανσης	Καυσαέριο, θερμός αέρας ή υπέρθερμος ατμός
Μέσο θέρμανσης	Καυσαέριο, θερμός αέρας, ατμός ή ζεστό νερό
Πηγή θερμότητας	Καυστήρες ξηραντήρα, λέβητας (καυσαέριο ή ατμός), ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας από παρακείμενη μονάδα
Πίεση	Ατμοσφαιρική, κενό ή υψηλή πίεση

Πίνακας 3-1: Κατηγορίες ταξινόμησης ξηραντήρων [4]

#### 3.1. Μέθοδος ξήρανσης (με ατμοποίηση – χωρίς ατμοποίηση):

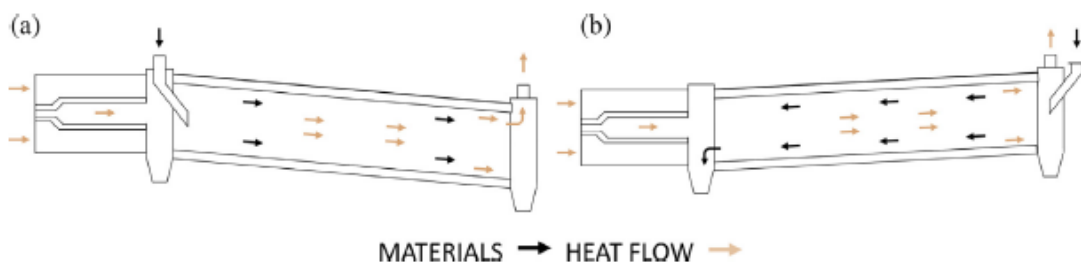
Οι ξηραντήρες με ατμοποίηση λειτουργούν παρέχοντας μια ποσότητα θερμότητας στο υλικό, ώστε να εξατμιστεί η περιεχόμενη υγρασία. Σε αυτές τις διαδικασίες η υγρασία απελευθερώνεται ως υδρατμός κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Η θερμότητα που παρέχεται αντιστοιχεί στην λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης αυξανόμενη κατά ένα ποσό για την κάλυψη της θερμότητας που απορροφάται από το υλικό προς ξήρανση και λουπές απώλειες θερμότητας.

Οι ξηραντήρες χωρίς ατμοποίηση, από την άλλη πλευρά χρησιμοποιούν άλλες μεθόδους κατά τις οποίες η υγρασία απομακρύνεται σε υγρή μορφή. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν η μηχανική θερμική αφυδάτωση, η υδροθερμική αφυδάτωση και η τεχνολογία Coldry [4].

### 3.2. Μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας (άμεσος – έμμεσος):

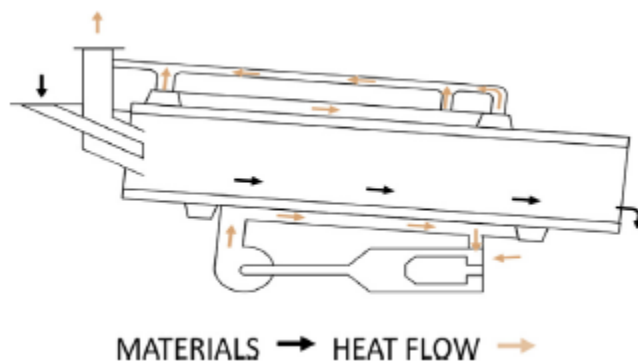
Από την άποψη της μεταφοράς θερμότητας και μάζας, οι διαθέσιμοι ξηραντήρες με ατμοποίηση μπορούν να ταξινομηθούν σε: (α) άμεσα συστήματα ξήρανσης και (β) έμμεσα συστήματα ξήρανσης.

- Στα άμεσα συστήματα ξήρανσης, το υγρό υλικό έρχεται σε άμεση επαφή με το μέσο ξήρανσης. Συνήθως, το μέσο θέρμανσης, το οποίο σε αυτό το είδος ξηραντήρων παίζει επίσης το ρόλο του μέσου ξήρανσης, είναι ζεστό αέριο και ο κυρίαρχος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας περιγράφεται από αυτόν της συναγωγής. Κατά την ξήρανση λιγνίτη και άλλων εύφλεκτων υλικών, το αέριο θα πρέπει να είναι σχετικά ελεύθερο οξυγόνου ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ανάφλεξης. Συνεπώς, υπέρθερμος ατμός ή αδρανές αέριο (π.χ. άζωτο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο ξήρανσης. Η άμεση ξήρανση έχει δύο κύριες παραλλαγές, από την άποψη των σχετικών ροών του υλικού προς ξήρανση και τη ροή του μέσου θέρμανσης: παράλληλη ή αντίθετη ροή (αντιρροής), Εικόνα 3-1 [4,7].



Εικόνα 3-1: Άμεσα ξηραντήρες: (a) παράλληλης ροής και (b) αντιρροής [4]

- Στα έμμεσα συστήματα ξήρανσης η μεταφορά θερμότητας συντελείται κυρίως με αγωγή και ακτινοβολία και το μέσο θέρμανσης δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το προς ξήρανση υλικό (Εικ.3-2) [4]. Σε αυτή την περίπτωση ο περιορισμός όσον αφορά το μέσο ξήρανσης δεν υπάρχει αρκεί να μην υπάρχει εγκλωβισμένος αέρας εντός του υλικού, γεγονός που είναι ούτως ή άλλως ανεπιθύμητο αφού επιδιώκεται η καλύτερη δυνατή ομοιομορφία στην περιοχή του υγρού υλικού για μεγαλύτερο ρυθμό ξήρανσης.

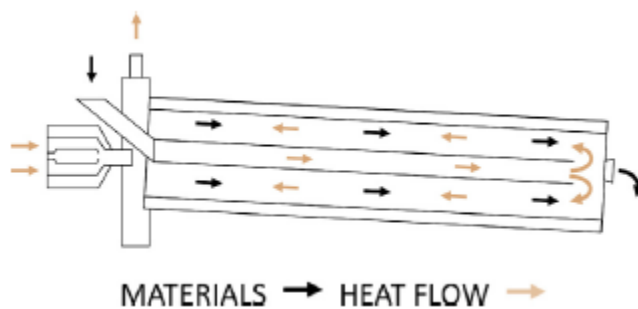


Εικόνα 3-2: Έμμεσα ξηραντήρες [4]

Οι έμμεσοι ξηραντήρες είναι καταλληλότεροι για λεπτόκοκκα προϊόντα ή για πολύ υγρά στερεά. Η θερμότητα ατμοποίησης παρέχεται μέσω θερμινόμενων επιφανειών (σταθερών ή κινούμενων) τοποθετημένες εντός του ξηραντήρα για την υποστήριξη, τη μεταφορά, ή/και τον περιορισμό των στερεών. Η ατμοποιημένη υγρασία απομακρύνεται με λειτουργία κενού ή με ένα ρεύμα αερίου που λειτουργεί ως φορέας υγρασίας. Η λειτουργία κενού συνιστάται για ευαίσθητα στη θερμότητα στερεά.

Οι άμεσοι ξηραντήρες παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση συγκριτικά με τους έμμεσους ξηραντήρες, διότι οι δεύτεροι παρουσιάζουν ένα μειονέκτημα που σχετίζεται με τη μεταφορά θερμότητας από τους σωλήνες ατμού στο υλικό, ενώ κατά κανόνα οι άμεσοι ξηραντήρες είναι φθηνότερα συστήματα τόσο από την άποψη της αρχικής επένδυσης όσο και από την άποψη του λειτουργικού κόστους. Τα χαρακτηριστικά στα οποία υπερτερούν οι έμμεσοι τύπου από τους άμεσους ξηραντήρες είναι οι χαμηλότερες εκπομπές και η εξάλειψη του κινδύνου πυρκαγιάς λόγω της απουσίας οξυγόνου. Επίσης η απόδοση των έμμεσων ξηραντήρων είναι δυνατό να αυξηθεί εάν (α) δεν εισέρχεται καθόλου αέρας και (β) η υγρασία που απομακρύνεται από τον ξηραντήρα υπό τη μορφή ατμού ανακτάται για να καλύψει θερμικές ανάγκες [4].

Υπάρχουν επίσης αποδοτικά συνδυασμένα συστήματα, τα οποία είναι ικανά να συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα τόσο των άμεσων όσο και των έμμεσων μεθόδων ξήρανσης (Εικόνα 3-3), όπως ένας ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης με βυθισμένους σωλήνες θέρμανσης ή ένας εναλλάκτης για την ξήρανση θερμικά ευαίσθητων υλικών. Μια διάταξη τέτοιου τύπου μπορεί να έχει έως και τρεις φορές μικρότερο μέγεθος από ένα ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης συναγωγής με την ίδια δυναμικότητα [4].



Εικόνα 3-3: Άμεσος/έμμεσος ξηραντήρας [4]

### 3.3. Μέσο θέρμανσης (καυσαέριο – αέρας – ατμός):

Το μέσο θέρμανσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους ξηραντήρες μπορεί να ποικίλει σύμφωνα με τις απαιτήσεις της διαδικασίας και της διαθεσιμότητας ροών στην εγκατάσταση ξήρανσης. Το μέσο θέρμανσης μπορεί να είναι (i) καυσαέριο, (ii) αέρας ή (iii) ατμός.

i. Ξηραντήρες με καυσαέριο

Ένας ξηραντήρας καυσαερίων έχει το πλεονέκτημα να θερμαίνεται με ενέργεια που απορρίπτεται στο περιβάλλον σε άλλη περίπτωση, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση της μονάδας. Ωστόσο, απαιτείται μεγάλη παροχή καυσαερίων, όταν η θερμοκρασία τους είναι χαμηλή. Ο μεγάλος όγκος των καυσαερίων απαιτεί μεγαλύτερο μέγεθος εγκατάστασης που οδηγεί σε μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η τυπική κατανάλωση ενέργειας για ένα ξηραντήρα καυσαερίων είναι περίπου 3200 KJ/Kg H<sub>2</sub>O. Περίπου 2600 KJ/Kg H<sub>2</sub>O χρειάζονται για την ατμοποίηση της υγρασίας, εκτός από αυτή την ποσότητα που αντιστοιχεί στη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του νερού, απαιτείται επιπλέον θερμότητα για την αντιστάθμιση των απωλειών θερμότητας και την θέρμανση του υλικού μέχρι την θερμοκρασία ξήρανσης [4].

ii. Ξηραντήρες με αέρα

Τα τελευταία χρόνια, διατάξεις που θερμαίνονται με αέρα χαμηλής θερμοκρασίας αναπτύσσονται ως συστήματα ξήρανσης, λόγω χαμηλής θερμικής κατανάλωσης και χαμηλών εκπομπών αερίων. Η απαιτούμενη θερμότητα μπορεί να προέρχεται από το καυσαέριο ή τον πύργο ψύξης. Η θερμική κατανάλωση για ένα ξηραντήρα αέρα χαμηλής θερμοκρασίας εκτιμάται ότι θα είναι γύρω στα 2700 KJ/Kg H<sub>2</sub>O (συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης θερμότητας) [4].

iii. Ξηραντήρες με ατμό

Οι ξηραντήρες ατμού έχουν το πλεονέκτημα να είναι σε θέση να ανακτήσουν μια μεγάλη ποσότητα της εισαγόμενης θερμότητας μέσω της συμπύκνωσης της ατμοποιημένης υγρασίας σε μεταγενέστερο στάδιο της διαδικασίας. Λόγω αυτού του σταδίου ανάκτησης ενέργειας, η καθαρή απαίτηση θερμότητας για έναν ξηραντήρα ατμού μπορεί να είναι αρκετά χαμηλή, της τάξης των 600 KJ/Kg H<sub>2</sub>O [4].

## 4. Τύποι ξηραντήρων άνθρακα:

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν κριτήρια ταξινόμησης των τύπων των συστημάτων ξήρανσης. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος ξήρανσης επηρεάζεται από τη γεωγραφική θέση, την περιεκτικότητα σε υγρασία και την σύσταση του λιγνίτη, τη χρήση του ξηρού προϊόντος, περιορισμούς που αφορούν το επίπεδο των μέτρων ασφαλείας, καθώς και τη δυναμικότητα του συστήματος.

### 4.1. Ξηραντήρες τύπου μύλου:

Οι ξηραντήρες τύπου μύλου χρησιμοποιούνται για τον άνθρακα μόνο όταν είναι σκόπιμο να συνδυάζουν τις διαδικασίες της κονιοποίησης και της ξήρανσης. Για ικανοποιητική απόδοση της άλεσης (κονιοποίησης), πρέπει να επιτευχθεί χαμηλό επίπεδο υγρασίας. Οι ξηραντήρες τύπου μύλου χρησιμοποιούνται γενικά σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητες που λειτουργούν με κονιοποιημένο άνθρακα. Η άλεση του λιγνίτη διαφέρει ριζικά από την άλεση σκληρών και ασφαλικών ανθράκων. Η επαρκής ξήρανση λιγνίτη αποφεύγοντας την αυτανάφλεξη του κατά τη διάρκεια της άλεσης είναι το κύριο πρόβλημα όσον αφορά την κονιοποίηση του λιγνίτη. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: χρησιμοποιείται καυσαέριο σε συνδυασμό με αέρα, παρέχοντας τη θερμότητα που απαιτείται ενώ παράλληλα μειώνεται η συγκέντρωση οξυγόνου στο μύλο σε ασφαλή επίπεδα.

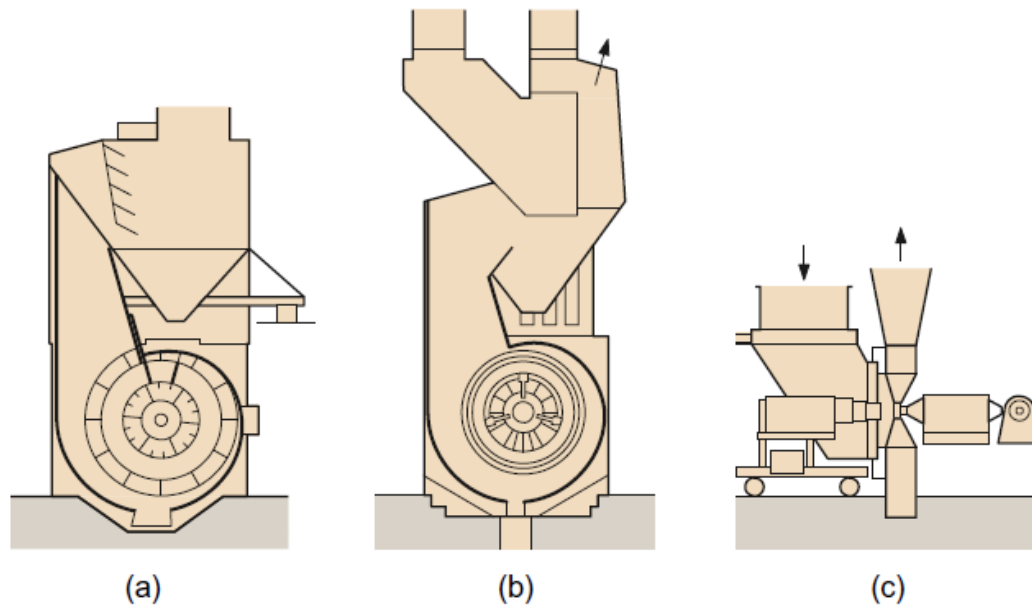
Λόγω της μαλακής υφής του λιγνίτη, συνήθως χρησιμοποιούνται κρουστικοί μύλοι για την κονιοποίηση του λιγνίτη και την επίτευξη του επιθυμητού μεγέθους κόκκου και της επιθυμητής περιεκτικότητας σε υγρασία, ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική καύση του καυσίμου. Ο κρουστικός μύλος συνθλίβει, τεμαχίζει, ή κονιοροποιεί το λιγνίτη κατά την πρόσκρουση. Η λεπτότητα του κονιοποιημένου άνθρακα συνήθως αξιολογείται βάσει των υπολειμμάτων στο κόσκινο του 1 mm. Οι συνήθεις τιμές για κονιοποιημένο λιγνίτη είναι αρκετά χαμηλότερες από 10% (συνήθως μεταξύ 3% και 6%), ανάλογα με την ποιότητα του άνθρακα, το σύστημα καύσης και το μέγεθος του λέβητα.

Το πλήθος των μύλων που λειτουργούν για την τροφοδοσία μιας μονάδας εξαρτάται από την ονομαστική θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου. Επίσης η παροχή του μύλου προσαρμόζεται στην ποιότητα του λιγνίτη μέσω ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής του μύλου και της παροχής του αερίου μεταφοράς. Οι μύλοι διατάσσονται συμμετρικά γύρω από την εστία και τροφοδοτούν ξηρό, λεπτόκοκκο λιγνίτη τις αντίστοιχες στήλες καυστήρων.

Όσον αφορά το λιγνίτη δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για το μέγεθος σωματιδίων του κονιοποιημένου καυσίμου για τον περιορισμό των πρωτογενών εκπομπών οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ). Ωστόσο, μικρότερο μέγεθος σωματιδίων καυσίμου περιορίζει τα φαινόμενα εναπόθεσης και επικαθίσεων [6].

#### 4.1.1. Κρουστικοί μύλοι (σπαστήρες):

Για την ξήρανση του λιγνίτη, συνήθως χρησιμοποιούνται κρουστικοί μύλοι (σπαστήρες). Αρκετοί τύποι κρουστικών μύλων φαίνονται στην Εικόνα 4-1.



Εικόνα 4-1: (a) Μύλος με διαχωριστή, (b) Μύλος με διαχωριστή ατμού, (c) Μύλος με βαθμιαία κονιοποίηση [6]

Στους κρουστικούς μύλους, η ξήρανση και η άλεση συντελούνται χωρίς τη χρήση ανεμιστήρα. Ο μύλος αποτελείται από αρθρωτούς περιστρεφόμενους κρουστήρες, και μερικές φορές διαχωριστή ατμού, διαβάθμιση σωματιδίων ή βαθμιαία κονιοποίηση.

Ο υγρός άνθρακας παρασύρεται από τη βαρύτητα και εισέρχεται στο μύλο μέσω του τροφοδότη και ο ζεστός αέρας ή τα καυσαέρια παρέχονται από πλευρικούς αγωγούς. Η περιστροφική κίνηση των πτερυγίων του μύλου προκαλεί την αναπήδηση των σωματιδίων άνθρακα μέχρι ένα ορισμένο ύψος από τον άξονα (μέχρι περίπου 5 m), έχοντας ως αποτέλεσμα την εντατική ξήρανση τους, καθώς και την άλεση τους οφειλόμενη στην βίαιη επαφή τους με την επιφάνεια του πτερυγίου. Οι χονδρότεροι κόκκοι ανακυκλώνονται για επιπλέον άλεση, ενώ οι λεπτότεροι κόκκοι συμπαρασύρονται, σχηματίζοντας ένα μίγμα σκόνης-αερίων και οδηγούνται απευθείας στην εστία του λέβητα.

Η κατανάλωση ενέργειας για την άλεση είναι συνήθως 15-20 kWh/t για λιθάνθρακες και 4-14 kWh/t για λιγνίτη. Η φθορά των μετάλλων της επένδυσης των πτερυγίων είναι 60-160 g/t για λιθάνθρακα, 20-80 g/t για λιγνίτη. Για άνθρακες με επίπεδα υγρασίας 10-14%, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αέρας θερμοκρασίας 300-400 °C ως μέσο θέρμανσης. Όταν η περιεχόμενη υγρασία είναι πάνω από 15-25%, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν καυσαέρια με θερμοκρασία 700-1000 °C [4].

Αυτός ο τρόπος ξήρανσης παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα από ενεργειακή άποψη: αφενός η χρήση καυσαερίων θερμοκρασίας περίπου 1000 °C για την ατμοποίηση νερού στους 100 °C συνεπάγεται υψηλές εξεργειακές απώλειες,

αφετέρου αποκλείει την ενεργειακή αξιοποίηση της ατμοποιημένης υγρασίας αφού μεταφέρεται με τον λιγνίτη και εισέρχεται στον λέβητα [3].

Ο αριθμός των μύλων σε λειτουργία εξαρτάται από την θερμογόνο ικανότητα στο ονομαστικό φορτίο. Εκτός από το πλήθος των μύλων σε λειτουργία, η παροχή όγκου του μύλου προσαρμόζεται στην ποιότητα του άνθρακα μέσω του ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής του μύλου και της παροχής του αερίου ανακυκλοφορίας. Οι μύλοι είναι συμμετρικά διατεταγμένοι γύρω από την εστία και τροφοδοτούν απευθείας την αντίστοιχη στήλη καυστήρων με ξηρό λεπτόκοκκο λιγνίτη [6].

#### 4.1.1.1. Κρουστικοί μύλοι με διαχωριστή:

Η επεξεργασία του λιγνίτη συντελείται στους μύλους χωρίς βαθμιαία άλεση. Σε αυτή τη περίπτωση μύλων, περιλαμβάνονται διαχωριστές (Εικόνα 4-1a). Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη που εμπλέκονται σε αυτούς τους διαχωριστές, οι οποίοι λειτουργούν ως στατικοί. Η ύπαρξη τους εξασφαλίζει ότι το υπόλειμμα στο κόσκινο του 1mm δεν υπερβαίνει το 3-5%. Τα σωματίδια με μέγεθος κόκκου <63μm αποτελούν το 70-90% του συνόλου.

Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιούν μια επιφάνεια εκτροπής για το διαχωρισμό των χονδρότερων σωματιδίων από το μείγμα κονιοποιημένου καυσίμου/αερίου, και στη συνέχεια τα επιστρέφει στο μύλο για περαιτέρω άλεση. Αυτοί οι διαχωριστές δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων μεγάλων λιγνιτικών μονάδων, δεδομένου ότι το ρεύμα με υψηλή συγκέντρωση ατμού (ελλείψει διαχωριστή ατμού) εγγέεται μέσα στο λέβητα μαζί με τα σωματίδια καυσίμου [6].

#### 4.1.1.2. Κρουστικοί μύλοι με διαχωριστή ατμού:

Η χρήση των διαχωριστών ατμού οδηγεί σε μια βελτιωμένη έκδοση των μύλων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (Εικόνα 4-1b). Ο διαχωριστής ατμού εκτελεί δύο καθήκοντα. Πρώτον, διαχωρίζει τους χονδρότερους κόκκους από το μείγμα κονιοποιημένου καυσίμου/αερίου και τους επιστρέφει στο μύλο για περαιτέρω επεξεργασία, και, δεύτερον, διαχωρίζει το μείγμα σε δύο ρεύματα καυσίμου ένα πλούσιο και ένα φτωχό σε ατμό. Τα δύο ρεύματα κατόπιν τροφοδοτούνται στο θάλαμο καύσης ξεχωριστά. Ο βαθμός του διαχωρισμού του ατμού μπορεί να ρυθμιστεί έως και 90% κονιοποιημένο καύσιμο με το 70% της αρχικής ποσότητας αερίου στο πλούσιο σε καύσιμο ρεύμα, και ένα 10% του κονιοποιημένου καυσίμου με το υπόλοιπο 30% του αερίου στο φτωχό σε καύσιμο ρεύμα. Το ρεύμα πλούσιο σε καύσιμο εγγέεται στο λέβητα μέσω των χαμηλότερων κυρίων καυστήρων, ενώ το υπόλοιπο άνω μέρος των καυστήρων εγγέει το φτωχό ρεύμα. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον καυστήρες ατμού πάνω από τους κύριους καυστήρες [6].



#### 4.1.1.3. Κρουστικοί μύλοι με σταδιακή άλεση:

Για ορισμένους λιγνίτες με υψηλή σκληρότητα χρησιμοποιούνται κρουστικοί μύλοι με σταδιακή κονιοποίηση/άλεση ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο μέγεθος κόκκου. Οι μύλοι έχουν σχεδιαστεί χωρίς διαχωριστές. Λόγω της έλλειψης διαχωριστών υπάρχουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις στο μέγεθος κόκκου και τα υπολείμματα στο κόσκινο του 1 mm είναι, κατά μέσο όρο το 6-9%.

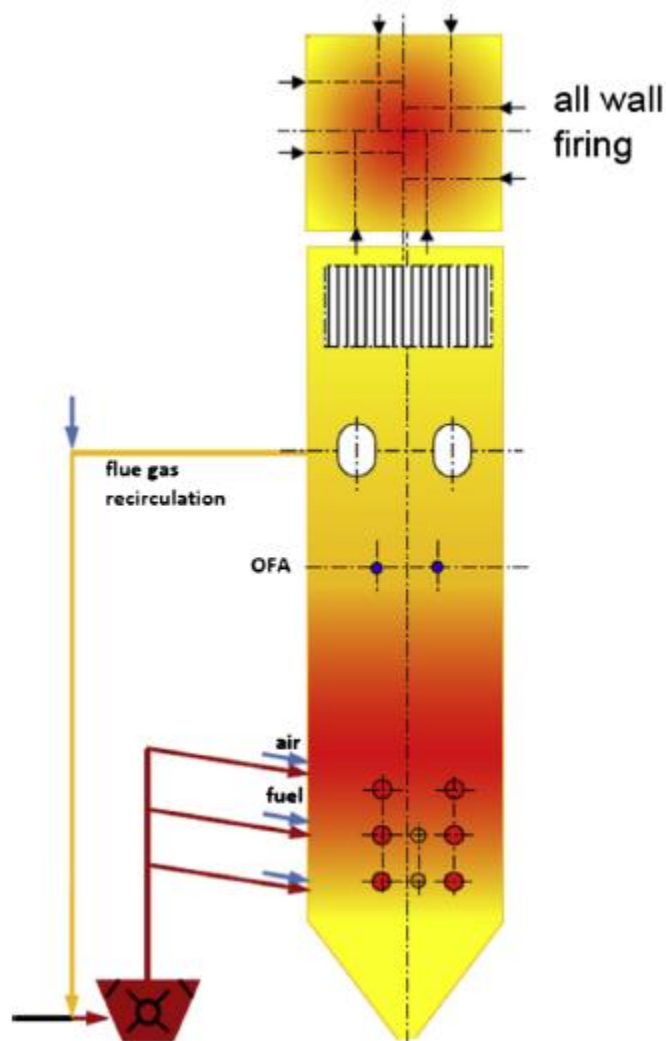
Ο σχεδιασμός του μύλου της RWE BoA 2 και 3 στον ΑΗΣ Neurath (Γερμανία) διαθέτει prebeater τριών σταδίων και ένα κρουστικό μύλο με διάμετρο 4,3 m. Η διαδικασία άλεσης δύο σταδίων εξασφαλίζει το απαιτούμενο μέγεθος κόκκου με υπόλειμμα <6-10% στο κόσκινο του 1mm το οποίο είναι ανεξάρτητο από το φορτίο ή την ποιότητα του λιγνίτη [6].

#### 4.1.2. Υπάρχουσες εφαρμογές μύλων-ξηραντήρων σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο κονιοποιημένο λιγνίτη:

Η ξήρανση σε μύλους κονιοποίησης (σπαστήρες) είναι η συνηθέστερη εφαρμογή σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ορυκτών καυσίμων. Συνήθως, η ξήρανση πραγματοποιείται με χρήση ποσότητας του θερμού καυσαερίου που εξέρχεται από την καπνοδόχο στην κορυφή της εστίας θερμοκρασίας ~1000 °C, με επανακυκλοφορία στο σύστημα άλεσης, το οποίο αποτελείται από ένα αριθμό κρουστικών μύλων (σπαστήρων). Τα θερμά καυσαέρια, μαζί με τον πρωτεύοντα αέρα και την ατμοποιημένη υγρασία, αποτελούν το αέριο-φορέα που μεταφέρει πνευματικά τον κονιοποιημένο λιγνίτη στο λέβητα.

Σε αυτό το σύστημα, το σύνολο της ατμοποιημένης υγρασίας εισέρχεται στο λέβητα μαζί με τα σωματίδια του λιγνίτη.

Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται στις περισσότερες λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Μια τυπική διάταξη μιας τέτοιας μονάδας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-2.



Εικόνα 4-2: Συμβατικός λέβητας λιγνίτη με κλειστό κύκλο κονιοποίησης - Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH (MHPSE) [4]

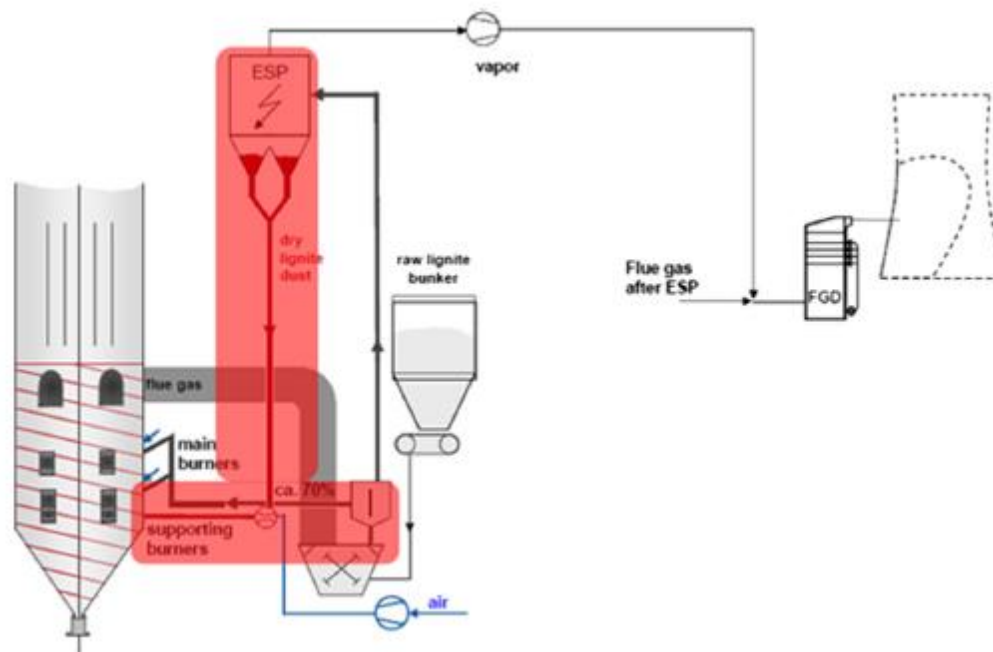
Για ορισμένους τύπους λιγνίτη με πολύ υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας και τέφρας, είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός τμήματος της υγρασίας πριν το καύσιμο εισέλθει στην εστία.

Αυτού του τύπου σύστημα έχει εγκατασταθεί στη μονάδα παραγωγής ενέργειας στη Μεγαλόπολη/Ελλάδα και στη μονάδα παραγωγής ενέργειας στο Elbistan/Τουρκία.

Σε αυτό το σύστημα, το καυσαέριο αναμιγνύεται με αέρα, το οποίο χρησιμοποιείται ως αέριο μεταφοράς. Ο λιγνίτης εισέρχεται στο μύλο και στην έξοδο του ξηραντήρα διαχωρίζεται (α) σε ένα ρεύμα πλούσιο σε καύσιμο (μεγάλη ποσότητα σωματιδίων άνθρακα) και (β) σε ένα δεύτερο πτωχό σε καύσιμο (χαμηλή ποσότητα σωματιδίων άνθρακα). Η ροή πλούσια σε καύσιμο κατευθύνεται προς τους κύριους καυστήρες, ενώ η πτωχή σε καύσιμο ροή κατευθύνεται προς τα ηλεκτροστατικά φίλτρα (ESP). Σε αυτό το σημείο, το πτωχό ρεύμα διαχωρίζεται από τα εξαιρετικά μικρά σωματίδια του και με τη σειρά του μαζί με το αέριο μεταφοράς κινείται προς την FGD. Το υπόλοιπο των σωματιδίων, ελεύθερα ατμού, κατόπιν εγχέονται στους δευτερεύοντες καυστήρες (Εικόνα 4-3).

Η ανάθεση για την ανέγερση της Μονάδας III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης έγινε το 1977 και για τη Μονάδα IV το 1990. Η ονομαστική ισχύς καθεμίας είναι 300 MW<sub>el</sub>. Οι

λέβητες κατασκευάστηκαν από την VKW, και περιλαμβάνουν έξι μύλους DGS DEUTSCHE BABCOCK ο καθένας. Η δυναμικότητα του κάθε μύλου είναι περίπου 180 t/h. (Οι τεχνολογίες των VKW και Deutsch Babcock υπάγονται στην ΜΗΡΣΕ πλέον). Μέσα στο μύλο, πραγματοποιείται η ξήρανση του λιγνίτη με θερμά αέρια (περίπου 800 °C) και η κονιοποίηση του [4].



Εικόνα 4-3: ΑΗΣ Μεγαλόπολης μονάδα IV - Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH (ΜΗΡΣΕ) [4]

#### 4.2. Ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης (FBD):

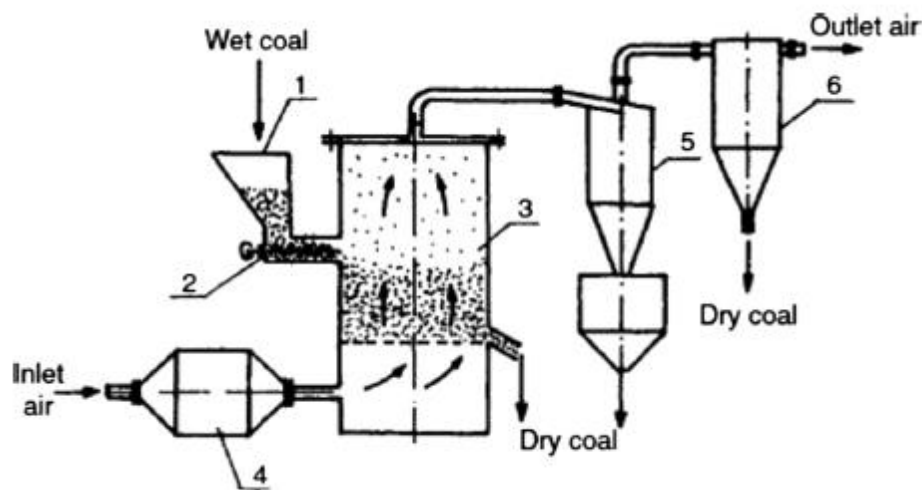
Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Dryers-FBDs) παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας και μάζας λόγω καλής ανάμιξης, συνεπώς υψηλό ρυθμό ξήρανσης χωρίς την εμφάνιση «καυτών σημείων». Επίσης έχουν υψηλή θερμική απόδοση, η οποία μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη εναλλακτών θερμότητας βυθισμένων εντός της ρευστοποιημένης περιοχής. Στα πλεονεκτήματα προστίθενται τα σχετικά μικρότερα κόστη επένδυσης και συντήρησης, καθώς και η ευκολία ελέγχου. Όμως αντιμετωπίζουν και περιορισμούς, ανάμεσα στους οποίους συγκαταλέγονται η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, οι αυξημένες απαιτήσεις διαχείρισης αερίων, η αυξημένη φθορά του ξηρού υλικού που στην περίπτωση του λιγνίτη είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη λόγω της υψηλής ευφλεξιμότητας [8].

Η ρευστοποίηση επιτυγχάνεται όταν αέριο με την κατάλληλη ταχύτητα περνά μέσα το στρώμα του υλικού. Η ταχύτητα ροής του αερίου κατά την οποία η κλίνη μετατρέπεται σε ρευστοποιημένη είναι γνωστή ως ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης [4].

#### 4.2.1. Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης Fluo-Solids:

Ένας τύπος ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης που χρησιμοποιείται συνήθως για την ξήρανση του άνθρακα είναι ο ξηραντήρας Fluo-Solids που διατίθεται από την Dorr-Oliver (Ηνωμένες Πολιτείες). Αυτός ο ξηραντήρας διαθέτει μικρή κλίνη άνθρακα (300-400 mm) με πολύ υψηλό ρυθμό ξήρανσης ανά μονάδα ελεύθερης επιφάνειας, 2000 Kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h. Η Εικόνα 4-4 δείχνει τον ξηραντήρα Fluo-Solids με τον κυλινδρικό θάλαμο σχεδιασμένο από την Dorr-Oliver.

Ο υγρός άνθρακας από το σιλό (1) τροφοδοτείται ελεγχόμενα από τον τροφοδότη (2) στο θάλαμο ξήρανσης (3). Τα καυσαέρια από τον θάλαμο καύσης (4) αναμιγνύονται με αέρα για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία (300-700 °C). Η κατανάλωση θερμότητας είναι στην περιοχή από 3100-4000 KJ/Kg H<sub>2</sub>O. Τα θερμά αέρια διέρχονται μέσω ενός κόσκινου και του στρώματος άνθρακα, προκαλώντας την ρευστοποίηση του. Τα καυσαέρια στην έξοδο, καθαρίζονται σε κυκλώνα (5) και σακόφιλτρο (6) [4].

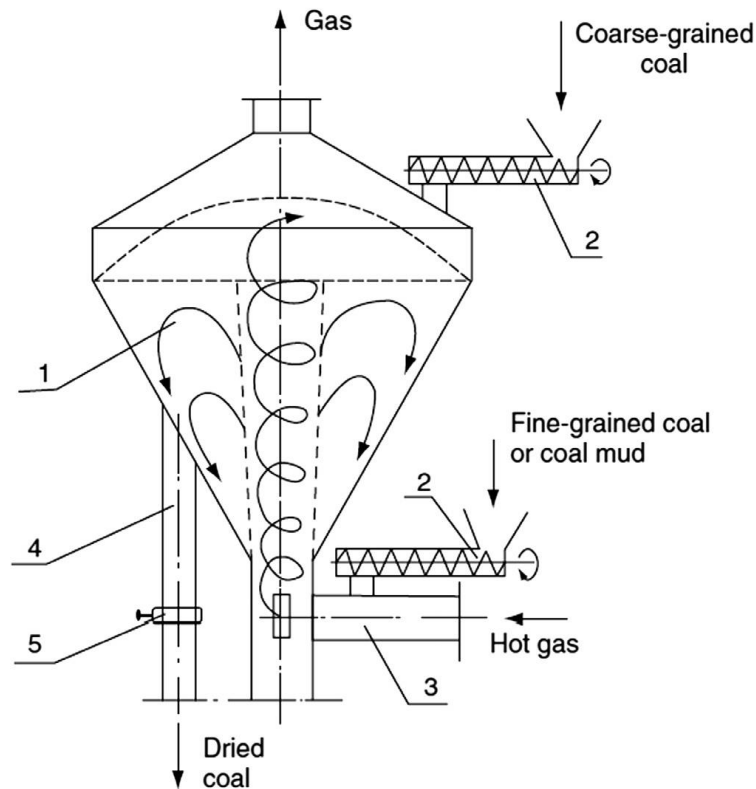


Εικόνα 4-4: Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης τύπου Fluo-Solids [4]

#### 4.2.2. Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης με fountain bed (spouted bed):

Τα τελευταία χρόνια, FBDs με κλίνη fountain έχουν γίνει δημοφιλείς για την ξήρανση του άνθρακα. Η κλίνη fountain επιτυγχάνεται με μία κωνική-κυλινδρική κατασκευή, όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 4-5.

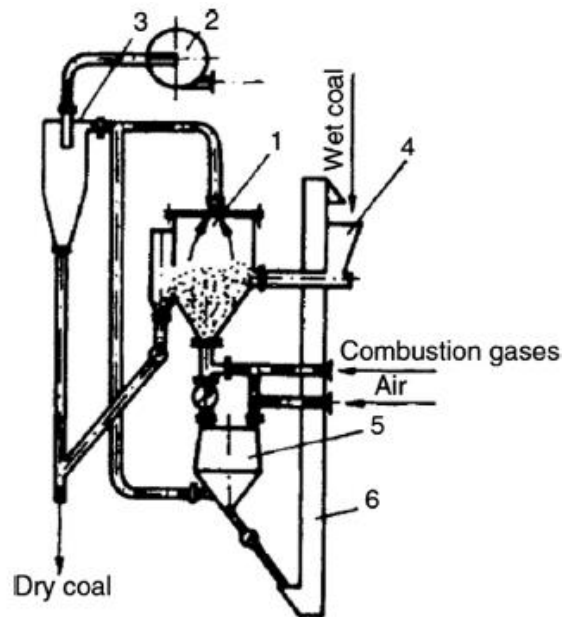
Το ρεύμα θερμού αερίου που εισέρχεται στον ξηραντήρα με σωλήνα (3) παρασύρει τα σωματίδια άνθρακα που τροφοδοτούνται από τον τροφοδοτικό κοχλία (2) και τα ανασηκώνει. Οι κόκκοι του άνθρακα πέφτουν στην άκρη και κινούνται προς τα κάτω κατά μήκος της στεφάνης.



Εικόνα 4-5: Ξηραντήρας ρευστοποιημένης fountain κλίνης [4]

Η Εικόνα 4-6 δείχνει ένα ξηραντήρα με εκτοξευόμενη κλίνη για άνθρακα, όπως σχεδιάστηκε από τους Fiodorov και Michailov. Ο υγρός άνθρακας τροφοδοτείται στον κωνικό θάλαμο ξήρανσης, και φέρεται από τη ροή των καυσαερίων. Ο χονδρόκοκκος άνθρακας πέφτει προς τα κάτω, λόγω της σταδιακής αύξησης της διατομής και την αντίστοιχη μείωση της ταχύτητας των καυσαερίων στο κωνικό θάλαμο. Οι λεπτότεροι κόκκοι παρασύρονται από το ρεύμα των αερίων και στη συνέχεια παρακρατώνται στον κυκλώνα (3). Οι ενδιάμεσοι κόκκοι επανεισέρχονται στο θάλαμο ξήρανσης (1), μετά τον οποίο περνούν μέσα από μια κάθετη σχισμή στο τοίχωμα του θαλάμου προς την έξοδο της μονάδας. Ελέγχοντας το άνοιγμα της σχισμής ελέγχεται η λειτουργία του ξηραντήρα. Τα χονδρότερα σωματίδια άνθρακα πέφτουν μέσα στον κάδο (5) από τον οποίο ανακυκλώνονται στον ξηραντήρα με έναν ανελκυστήρα (6).

Για τους ξηραντήρες με εκτοξευόμενη κλίνη, είναι πολύ σημαντικό να καθοριστεί η ταχύτητα των αερίων με την οποία η διαδικασία της εκτόξευσης αρχίζει να φθίνει. Η κρίσιμη ταχύτητα για την εκτόξευσης εξαρτάται από το ύψος της κλίνης και τις φυσικές ιδιότητες του άνθρακα και του αερίου, καθώς επίσης και από το γεωμετρικό σχήμα και τις διαστάσεις του ξηραντήρα. Για την ξήρανση άνθρακα, η θερμοκρασία του μέσου ξήρανσης (π.χ. αέρια καύσης ή αέρας) είναι συνήθως μέχρι και 200 °C, σε αντίθεση με την περίπτωση των συμβατικών FBDs, που λειτουργούν κάτω από πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες εισόδου [4].



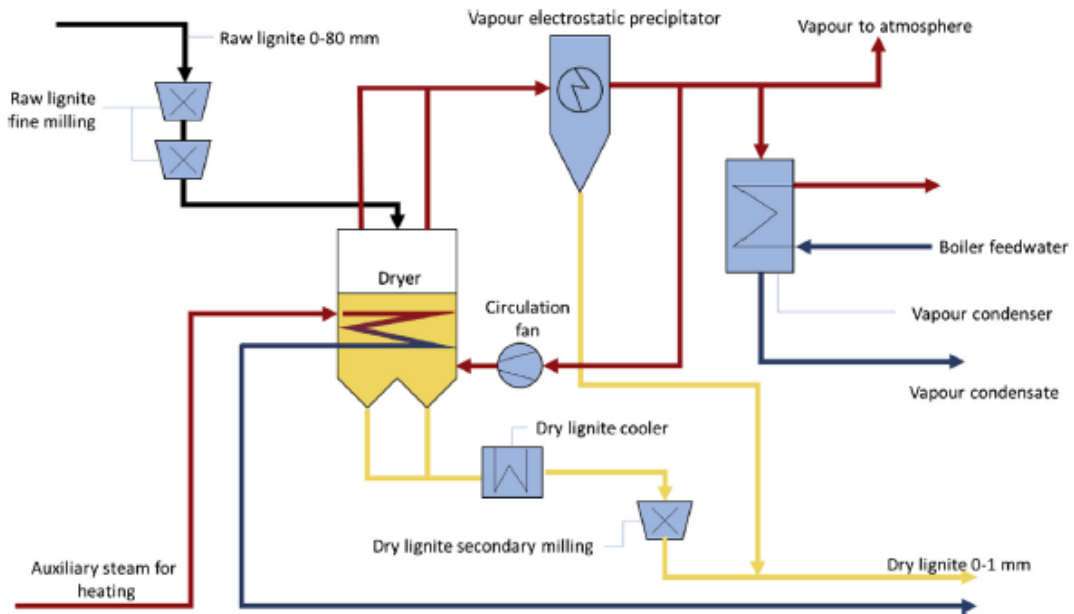
Εικόνα 4-6: Ξηραντήρας με εκτοξευόμενη (spouted) κλίνη [4]

#### 4.2.3. Ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης (WTA):

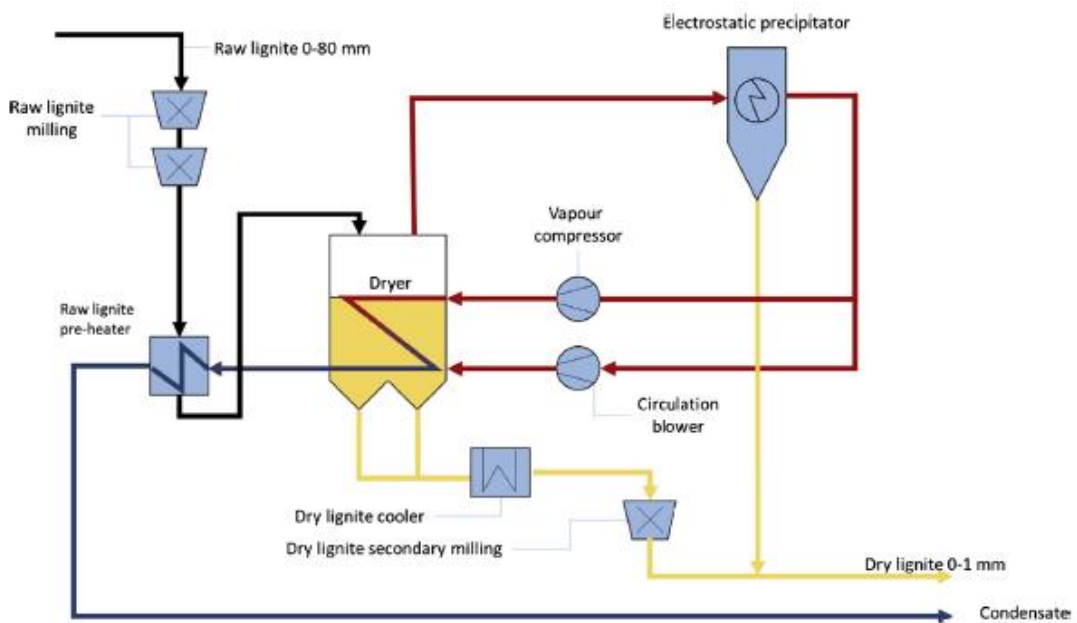
Η RWE Power στη Γερμανία έχει επίσης αναπτύξει μία τεχνολογία ξήρανσης ρευστοποιημένης κλίνης για το λιγνίτη. Η τεχνολογία της RWE ονομάζεται Wirbelschichttrocknung mit Interner Abwärmenutzung (WTA) ή Αγγλικά: Fluidized-bed drying with internal waste heat utilization, η οποία είναι αναμφισβήτητα η πιο προηγμένη τεχνική ξήρανσης με υπέρθερμο ατμό.

Στην εφαρμοζόμενη διαδικασία της WTA (Εικόνα 4-7), ο λιγνίτης πρώτα αλέθεται σε λεπτά σωματίδια σε μύλους ακριβώς πριν από έναν δύο σταδίων ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Το ξηρό καύσιμο που εξέρχεται από τη σταθερή κλίνη διαχωρίζεται από το αέριο ρεύμα και αναμιγνύεται με αδρότερα σωματίδια λιγνίτη που συλλέγονται από τον πυθμένα της κλίνης και έπειτα τροφοδοτούνται απ'ευθείας στο λέβητα. Η θερμότητα που απαιτείται για την ξήρανση του καυσίμου παρέχεται από ατμό που εισέρχεται στη μονάδα, ο οποίος συνήθως λαμβάνεται από τον ατμοστρόβιλο και η μεταφορά θερμότητας συντελείται μέσω δεσμών σωλήνων που βρίσκονται στο εσωτερικό της κλίνης.

Μια άλλη εκδοχή της διαδικασίας WTA (Εικόνα 4-8) περιλαμβάνει (α) έναν FBD που χρησιμοποιεί υπέρθερμο ατμό, (β) ένα στάδιο συμπίεσης του ατμού για την ανάκτηση της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης από τη διαδικασία, και (γ) την παροχή ενέργειας στο υλικό. Ο άνθρακας ξηραίνεται περίπου από 60% περιεκτικότητα σε υγρασία σε 12% χρησιμοποιώντας ατμό στους 110 °C στη χαμηλή πίεση των 50 mbar. Ένα μέρος του ατμού σε υψηλότερη θερμοκρασία χρησιμοποιείται για την έμμεση θέρμανση της ρευστοποιημένης κλίνης μέσα από βυθισμένες δέσμες σωλήνων [4].



Εικόνα 4-7: Διαδικασία WTA με συμπύκνωση ατμού στον ΑΗΣ Niederaussem της RWE Power [4]



Εικόνα 4-8: Η διαδικασία WTA με επανασυμπύκνωση ατμού [4]

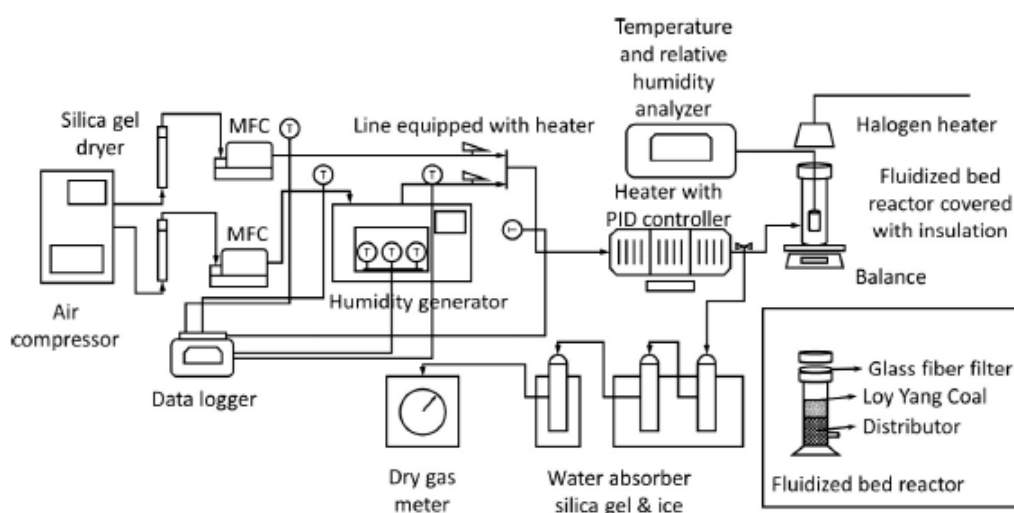
#### 4.2.4. Υπάρχουσες εγκαταστάσεις ξηραντήρων ρευστοποιημένης κλίνης:

##### 4.2.4.1. Ξήρανση λιγνίτη σε ρευστοποιημένη κλίνη με ατμό, Victoria / Australia:

Μία μονάδα ξήρανσης ρευστοποιημένης κλίνης με ατμό με δυναμική 150,000 t/έτος (ξηρού άνθρακα) λειτουργεί εδώ και αρκετά χρόνια στο Loy Yang, εφοδιάζοντας τη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής Edison Mission's Loy Yang B με κονιοποιημένο ξηρό άνθρακα που μεταφέρεται πνευματικά σε μια απόσταση άνω των 3 Km για χρήση του ως καύσιμο έναυσης και βοηθητικό. Η διαδικασία ξήρανσης που εφαρμόζεται στη μονάδα που εκμεταλλεύεται η State Electricity Commission of Victoria, Australia (SECV) χρησιμοποιεί ένα εναλλάκτη θερμότητας που τροφοδοτείται από μια εξωτερική πηγή ατμού υψηλής πίεσης για την ξήρανση λεπτόκοκκου λιγνίτη. Ένα δίκτυο σωλήνων εντός της κλίνης παρέχει την θερμότητα (Εικόνα 4-9).

Η ατμοποιούμενη υγρασία του άνθρακα χρησιμοποιείται ως αέριο ρευστοποίησης. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η περιεχόμενη υγρασία του βικτωριανού λιγνίτη μπορεί να μειωθεί από 60% σε 15%, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μπορούν να μειωθούν έως και 17%.

Παρά τα τεχνικά πλεονεκτήματα της μεθόδου, το ξηρό προϊόν είναι πάρα πολύ ακριβό ώστε να προσελκύσει άλλες αγορές για την πλεονάζουσα παραγωγή της μονάδας Loy Yang B. Η μονάδα έχει πλέον παύσει τη λειτουργία της και η Loy Yang B χρησιμοποιεί τώρα κονιοποιημένους ανθρακόπλινθους ως βοηθητικό καύσιμο [4].

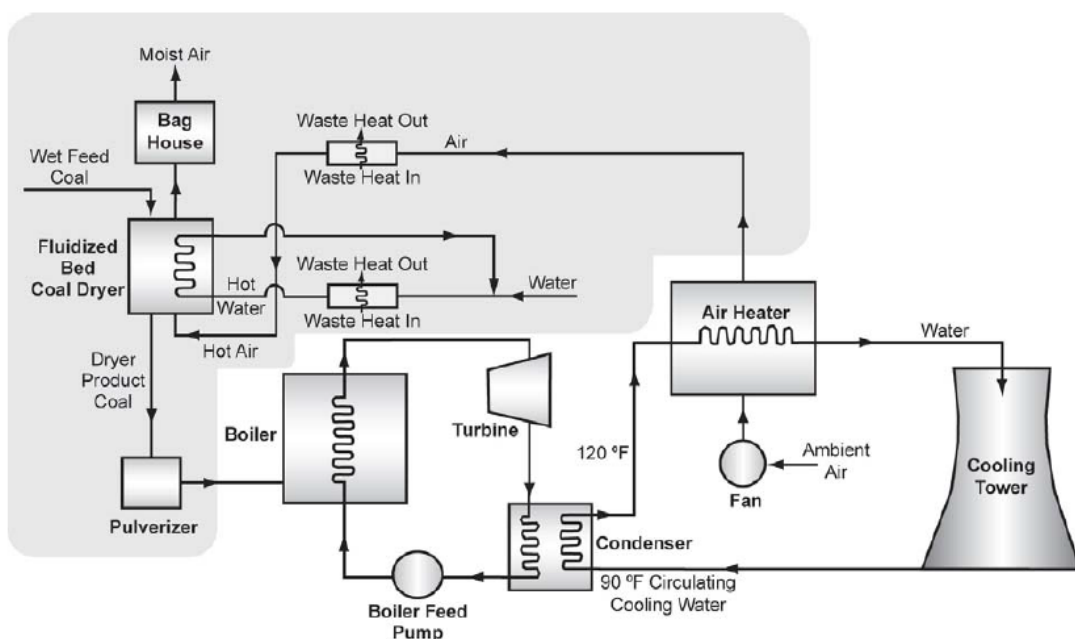


Εικόνα 4-9: Ο ξηραντήρας ρευστοποιημένης κλίνης στο Loy Yang [4]



#### 4.2.4.2. Ξήρανση σε ρευστοποιημένη κλίνη/τεχνολογία DryFining™ , Coal Creek Station / North Dakota:

Η Great River Energy έχει αναπτύξει μια τεχνολογία ξήρανσης για LRC's σε συνεργασία με το αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας (DOE) στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας του DOE, Clean Coal Power Initiative. Η τεχνολογία ονομάζεται DryFining™. Ωστόσο, η ποιότητα του λιγνίτη των ΗΠΑ δεν μπορεί να συγκριθεί με εκείνη της Γερμανίας, της Ελλάδας ή της Πολωνίας με περιεκτικότητα σε υγρασία άνω του 50%. Ο όρος "λιγνίτης" στις ΗΠΑ αναφέρεται περισσότερο στον υποασφαλτούχο άνθρακα με περιεκτικότητα σε υγρασία ~35%. Η διαδικασία DryFining™ έχει ως εξής: ζεστό νερό ψύξης από το συμπυκνωτή του ατμοστροβίλου περνά μέσω ενός θερμαντήρα αέρα όπου αέρας περιβάλλοντος θερμαίνεται προτού σταλεί στον ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Ο ξηρός άνθρακας που εξέρχεται από τη ρευστοποιημένη κλίνη κονιοποιείται και στη συνέχεια οδηγείται στο λέβητα. Ο αέρας που εξέρχεται από τη ρευστοποιημένη κλίνη φιλτράρεται προτού απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Εκτός από τη χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας της μονάδας για τη μείωση της υγρασίας του λιγνίτη, η τεχνολογία DryFining™ διαχωρίζει τα σωματίδια με κριτήριο την πυκνότητα. Αυτό σημαίνει μια σημαντική ποσότητα ενώσεων υψηλότερης πυκνότητας που περιέχουν θείο και υδράργυρο μπορούν να απομονωθούν και να επιστραφούν στο ορυχείο αντί να χρησιμοποιηθούν στο λέβητα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι περισσότερη ενέργεια μπορεί να εξαχθεί από τον άνθρακα, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι εκπομπές υδραργύρου, διοξειδίου του θείου, και NO<sub>x</sub>. Στη μονάδα Coal Creek Station, Εικόνα 4-10, η διαδικασία αύξησε την θερμογόνο ικανότητα του λιγνίτη από 14,400 σε 16,500 KJ/Kg, με αποτέλεσμα μία μείωση στην παροχή καυσίμου στους λέβητες της τάξης του 4% και αντίστοιχη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η καθαρή συνολική απόδοση αυξήθηκε κατά 2-4%. Αυτή η βελτίωση της απόδοσης οφείλεται στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων για την ατμοποίηση της υγρασίας, και των ιδιοκαταναλώσεων [8].



Εικόνα 4-10: Η μονάδα ηλεκτροπαραγωγής και η μονάδα ξήρανσης στο Coal Creek Station [8]

#### 4.2.4.3. Διαδικασία WTA, Γερμανία:

Η μονάδα WTA 1 στο Frechen χρησιμοποιεί ξηραντήρα χονδρόκοκκου λιγνίτη με ενσωματωμένη συμπίεση του ατμού και προθέρμανση του άνθρακα. Το μέγεθος σωματιδίων του άνθρακα τροφοδοσίας έχει εύρος 0-6 mm, ενώ το αντίστοιχο του ξηρού λιγνίτη έχει εύρος 0-5 mm. Η ρύπανση από επικαθίσεις του εναλλάκτη θερμότητας του ξηραντήρα που οφειλόμενων στη συνεχή λειτουργία μπορεί να αφαιρεθεί γρήγορα και αποτελεσματικά με ένα σύστημα cleaning in place (CIP). Η μονάδα WTA 1 ήταν σε λειτουργία συνολικά για 20.000 h. Το σύστημα συμπίεσης του ατμού για τη θέρμανση του ξηραντήρα, παγκοσμίως για πρώτη φορά εφαρμοζόμενο για λιγνίτη, αποδείχθηκε εξαιρετικά επιτυχές. Σε γενικές γραμμές, χρησιμοποιήθηκε αναβαθμισμένος λιγνίτης χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα, αλλά σε ειδικά πειράματα, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές ποιότητες λιγνίτη από την περιοχή του Ρήνου.

Στη μονάδα Frechen WTA 2 η ξήρανση λεπτόκοκκου λιγνίτη δοκιμάστηκε με επιτυχία για πρώτη φορά σε βιομηχανική κλίμακα. Ο άνθρακας τροφοδοσίας έχει μέγεθος σωματιδίων 0-2 mm, και ο ξηρός λιγνίτης 0-1 mm. Η εγκατάσταση ανεγέρθηκε ακριβώς δίπλα από τη μονάδα WTA 1, ώστε οι υποδομές (αναλώσιμα, προμήθεια και συστήματα διάθεσης) να είναι δυνατό να μοιραστούν. Η διαδικασία αντιστοιχεί σε μεγάλο βαθμό με εκείνη που φαίνεται στην Εικόνα 4-8. Ένα σύστημα διπλής τροφοδοσίας ήταν εγκατεστημένο στη μονάδα WTA 2 επιτρέποντας την παροχή διαφορετικών τύπων λιγνίτη: το πρώτο σύστημα τροφοδοτεί τη μονάδα με 0-6 mm μέγεθος σωματιδίων άνθρακα χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα από τη μονάδα αναβάθμισης Frechen WTA 1, το δεύτερο σύστημα τροφοδοτεί με λιγνίτη παρεχόμενο από τον εκάστοτε πελάτη (π.χ. για τις δοκιμές) με μέγεθος σωματιδίων 0-100 mm.

Η μονάδα WTA 1 στη μονάδα του Niederaussem σχεδιάστηκε επίσης ως ξηραντήρας χονδρόκοκκου λιγνίτη με ενσωματωμένη συμπίεση του ατμού, αλλά δεν διαθέτει προθερμαντήρα άνθρακα. Το μέγεθος σωματιδίων του λιγνίτη τροφοδοσίας και αυτό του ξηρού είναι το ίδιο με την περίπτωση της μονάδας Frechen WTA 1. Για να διασφαλιστεί ότι το ενεργειακό ισοζύγιο διατηρείται (απαραίτητο ελλείψει ενός προθερμαντήρα άνθρακα) μερικοί από τους εναλλάκτες θερμότητας εγκατεστημένων στον ξηραντήρα θερμαίνονται με ατμό χαμηλής πίεσης από το δίκτυο του ΑΗΣ. Η εγκατάσταση λειτούργησε σε συνδυασμό με τη μονάδα Η του ΑΗΣ στο Niederaussem μόνο για μικρό χρονικό διάστημα.

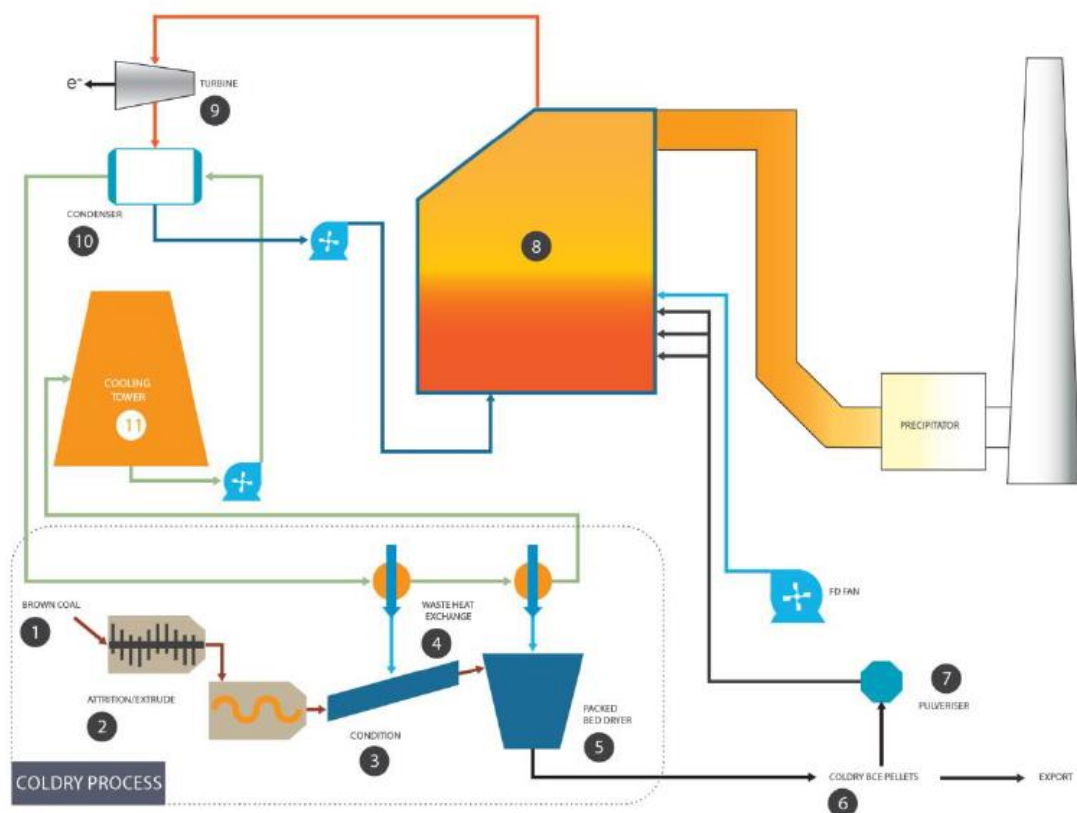
Η μονάδα WTA 2 του Niederaussem είναι ένας ξηραντήρας λεπτόκοκκου λιγνίτη με συμπυκνωτή ατμού για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού σε δύο βαθμίδες. Ο άνθρακας τροφοδοσίας έχει μέγεθος σωματιδίων 0-2 mm, ενώ ο ξηρός λιγνίτης 0-1 mm. Η μονάδα ανεγέρθηκε ακριβώς δίπλα στη μονάδα 1,000 MW-BoA του ΑΗΣ στο Niederaussem. Ο συνδυασμός της λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας και μονάδας προ-ξηράνσης ελέγχθηκε εδώ για πρώτη φορά σε εμπορική κλίμακα. Η διαδικασία φαίνεται στην Εικόνα 4-7. Η μονάδα Niederaussem WTA 2 αντιστοιχεί στο τελευταίο στάδιο εξέλιξης της τεχνολογίας. Το μέγεθος της εγκατάστασης είναι συγκρίσιμο με εκείνο των μελλοντικών εμπορικών μονάδων. Η πρωτότυπη εμπορικής κλίμακας μονάδα ξήρανσης με δυναμικότητα 210 t/h με τη χρήση της τεχνολογίας

WTA αντίστοιχη της διαδικασίας της Εικόνα 4-6, ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2009 στους βοηθητικούς χώρους της μονάδας του ΑΗΣ του Niederaussem.

Με βάση το μέχρι σήμερα στάδιο ανάπτυξης της τεχνολογίας WTA, η καθαρή αύξηση της απόδοσης του κύκλου έχει αναφερθεί να είναι της τάξης των 4 ποσοστιαίων μονάδων, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία του ακατέργαστου λιγνίτη και την τελική υγρασία του ξηρού λιγνίτη. Έχει αναφερθεί ότι η διαδικασία WTA καταναλώνει 80% λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τον περιστρεφόμενο ξηραντήρα με σωλήνες ατμού, ενώ παρουσιάζει 80% λιγότερες εκπομπές σκόνης και μειωμένες επενδύσεις κεφαλαίου [4].

#### 4.3. Τεχνολογία ξήρανσης λιγνίτη Coldry:

Η τεχνολογία Coldry αναπτύχθηκε στην Αυστραλία στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ως αποτέλεσμα των ερευνών που ξεκίνησαν στο Τμήμα Οργανικής Χημείας, του Πανεπιστημίου της Μελβούρνης, σε συνεργασία με την CRA Advanced Technical Development, και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από την Environmental Clean Technologies Ltd (ECT). Η Coldry είναι μια τεχνολογία βελτίωσης της ποιότητας του άνθρακα για τον εμπλουτισμό LRCs (ειδικότερα λιγνίτη) και υποασφαλτούχο (sub-bituminous) άνθρακα μειώνοντας την υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας καθώς και ορισμένων ρύπων [9].



Εικόνα 4-11: Η διαδικασία Coldry ενταγμένη σε ΑΗΣ [9]

Η μέθοδος (Εικόνα 4-11) βασίζεται στην απελευθέρωση της υγρασίας του άνθρακα, με την έναρξη εξώθερμης αντίδρασης, λόγω της τριβής των σωματιδίων του άνθρακα μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα είναι ένα συμπαγές προϊόν υπό τη μορφή συμπυκνωμένων σβώλων (pellets), οι οποίοι είναι ανθεκτικοί, αποθηκεύονται και μεταφέρονται εύκολα, και διαθέτουν ενεργειακό περιεχόμενο εφάμιλλο με αυτό αρκετών ειδών ανθρακίτη, ενώ προσφέρουν σημαντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με την αρχική μορφή του ακατέργαστου λιγνίτη.

Η διαδικασία της ξήρανσης με τη μέθοδο Coldry, Εικόνα 4-12, συντελείται ως εξής: ο λιγνίτης τροφοδοσίας συνθλίβεται και κοσκινίζεται σε σωματίδια διαμέτρου <8 mm. Στη συνέχεια, οι κόκκοι του άνθρακα και μίγμα νερό τροφοδοτείται μέσα σε ένα τρίφτη (attritioner) που τρίβει μεταξύ τους τις επιφάνειες των σωματιδίων. Αυτό πυροδοτεί μια εξώθερμη χημική αντίδραση που προκαλεί μια φυσική διαδικασία για την αποβολή του νερού από τον άνθρακα. Η αντίδραση επιταχύνεται όταν το πλέον πλαστικοποιημένο μίγμα αναρροφάται υπό χαμηλή πίεση και αποστέλλεται στη μονάδα θέρμανσης. Εκεί θερμαίνεται για περίπου μία ώρα σε θερμοκρασία 45 °C. Το σκληρότερο ξηρό προϊόν μορφοποιείται σε μορφή σβώλων και κατευθύνεται στον ξηραντήρα. Η τελική περιεκτικότητα υγρασίας κυμαίνεται από 10 έως 14% ανάλογα με την αρχική υγρασία, τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης και τις παραμέτρους της διεργασίας, ειδικά την θερμοκρασία λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας και του χρόνου παραμονής [13].

Μίγμα υγρού λιγνίτη και σβώλων Coldry σε ποσοστό 10 έως 30% μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους περισσότερους υφιστάμενους λέβητες λιγνίτη χωρίς τροποποιήσεις. Υπάρχει η δυνατότητα τροφοδοσίας αμιγώς με σβώλους Coldry για μια λιγνιτική μονάδα, όχι όμως χωρίς εκτεταμένη αναβάθμιση [6].

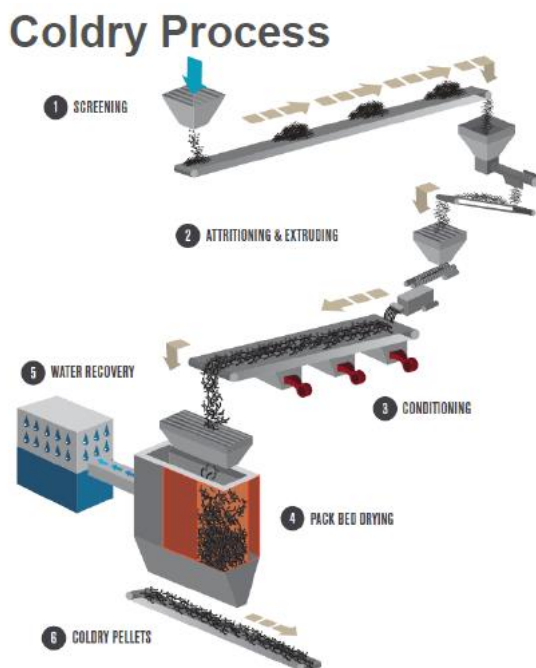
Region	Australian Lignite		Polish Lignite		Greek Lignite	
	Before Coldry	After Coldry	Before Coldry	After Coldry	Before Coldry	After Coldry
Moisture [%]	60.5	12.1	55	11.9	50	14
GwCV [Kcal/kg]	2460	5400	2370	4610	2960	4130
NwCV [Kcal/kg]	2030	5140	1940	4350	2060	3900

Πίνακας 4-1: Πειραματικές τιμές ξήρανσης με αυστραλιανό, πολωνικό και ελληνικό λιγνίτη [13]

Οι σβώλοι Coldry, που παράγονται από λιγνίτη του κοιτάσματος της Latrobe Valley είναι συνήθως 16 mm σε διάμετρο και 45 mm σε μήκος, έχουν πυκνότητα από περίπου 700 έως 750 kg/m<sup>3</sup>, περιεκτικότητα υγρασίας της τάξης του 12%, και θερμική ικανότητα 5521 kcal/kg. Διεξήχθησαν αρκετές δοκιμές με λιγνίτη από διάφορες χώρες προέλευσης για την αξιολόγηση της διαδικασίας, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-1.

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι: αυξάνει έως και 200-250% την θερμογόνο ικανότητα του λιγνίτη απελευθερώνοντας μεγάλη ποσότητα υγρασίας, το ανακτώμενο από τον άνθρακα νερό είναι έτοιμο για άμεση βιομηχανική χρήση χωρίς ιδιαίτερα δαπανηρή επεξεργασία και μπορεί να τροφοδοτήσει το σύστημα ψύξης του

ΑΗΣ, μειώνει την περιεκτικότητα του καυσίμου σε τέφρα κατ'επέκταση και την συσσώρευση της, μειώνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, μικρές απαιτήσεις θερμοκρασίας (της τάξης των 40-45 °C) και πίεσης – για την θέρμανση του αέρα ξήρανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απορριπτόμενη θερμότητα από παρακείμενο ΑΗΣ, μπορεί να συνδυαστεί με ήδη υφιστάμενους ΑΗΣ ακόμα και αυτούς που χρησιμοποιούν κονιοποιημένο καύσιμο (τα Coldry pellets μπορούν να αλεθούν σε μύλο κονιοποίησης) [9].



Εικόνα 4-12: Η διαδικασία Coldry [10]

#### 4.4. Περιστρεφόμενοι ξηραντήρες (Rotary dryers):

Οι περιστρεφόμενοι ξηραντήρες είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος συστήματος ξήρανσης. Ο βασικός σχεδιασμός αυτού του συστήματος αποτελείται από ένα μονωμένο κυλινδρικό κέλυφος (τύμπανο) που τοποθετείται σε έδρανα κύλισης και περιστρέφεται με πολύ χαμηλή ταχύτητα. Οι περιστρεφόμενοι ξηραντήρες απαντώνται με άμεση ή/και έμμεση θέρμανση, αν και τα άμεσα συστήματα είναι πιο κοινά στη βιομηχανία.

Στα άμεσα συστήματα, η μεταφορά θερμότητας παρέχεται συνήθως από ένα θερμό αέριο που διοχετεύεται μέσα στο τύμπανο από τη θύρα εισόδου του αερίου. Για την ξήρανση λιγνίτη, το μέσο ξήρανσης πρέπει να είναι ελεύθερο από οξυγόνο για την αποφυγή αυτανάφλεξης. Καυσαέρια ή θερμός αέρας είναι οι πιο κοινές επιλογές, ως μέσο ξήρανσης, και γενικά κατάλληλα για την ξήρανση λιγνίτη. Ωστόσο, υπάρχουν αναφορές για πυρκαγιές και εκρήξεις από την επαφή του οξυγόνου με ζεστό άνθρακα ιδιαίτερα κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα τέτοιων συστημάτων. Για την αποφυγή ατυχημάτων, πρέπει να εξασφαλίζεται η επαρκής ψύξη του άνθρακα πριν εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα

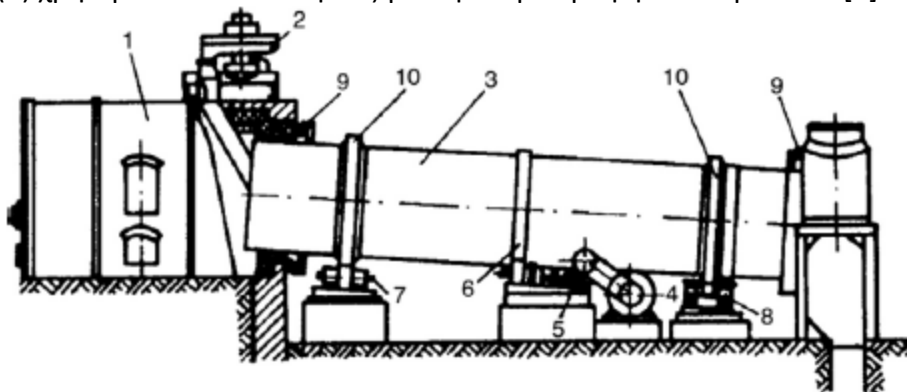
Τα θερμά αέρια ρέουν κατά την κατεύθυνση της ροής του άνθρακα (παράλληλη ροή), ή κατά την αντίθετη κατεύθυνση (αντίθετης ροής). Αν και η ροή αντίθετου ρεύματος προσφέρει μεγαλύτερη θερμική απόδοση, η παράλληλη ροή αποτρέπει την υπερθέρμανση του ξηρού λιγνίτη κοντά στην έξοδο από το τύμπανο [5].

#### 4.4.1. Άμεσου τύπου περιστρεφόμενοι ξηραντήρες (Direct rotary dryers):

##### 4.4.1.1. Άμεσου τύπου περιστρεφόμενοι ξηραντήρες με διατάξεις ανύψωσης:

Οι περιστρεφόμενοι ξηραντήρες που έχουν σχεδιαστεί για συνεχή τρόπο επεξεργασίας έχουν συνήθως ελαφρά κλίση (2-5°), ώστε ενώ το τύμπανο περιστρέφεται, ο άνθρακας που εισέρχεται από το άνω άκρο να εξέρχεται από το κάτω άκρο του. Σε αυτό το σύστημα, τα σωματίδια υφίστανται επαναλαμβανόμενη ανύψωση και καταίονηση από τους περιφερειακά τοποθετημένους ανυψωτές και τη δύναμη της βαρύτητας. Η περιοδική ανύψωση και καταίονηση του υλικού δημιουργεί ένα παραπέτασμα σωματιδίων μέσω του οποίου ρέει το αέριο θέρμανσης. Η διάταξη αυτή οδηγεί σε υψηλότερη απόδοση, αυξημένο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και μείωση χρόνου επεξεργασίας σε σύγκριση με σταθερά συστήματα. Με αυτό τον τρόπο, το υλικό θερμαίνεται και ξηραίνεται καθώς προχωρεί μέσω του ξηραντήρα [5].

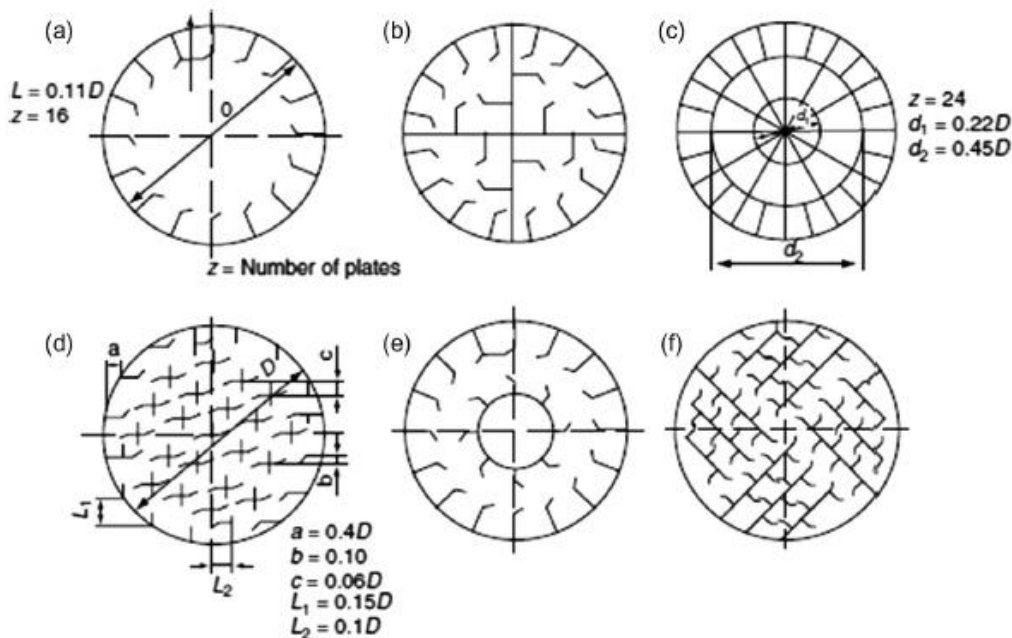
Η διάταξη ενός τυπικού περιστρεφόμενου ξηραντήρα παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-13. Το κύριο εξάρτημα αυτού του ξηραντήρα είναι το τύμπανο από χάλυβα (3) επενδυμένο εσωτερικά με πυρίμαχο υλικό και εδράζεται σε έδρανα κύλισης (7) μέσω των περισφίξεων (στεφάνες, 10) που βρίσκονται στο τύμπανο. Ένας οδοντωτός τροχός (5) χρησιμοποιείται συνήθως για την περιστροφή του τυμπάνου [4].



Εικόνα 4-13: Σκαρίφημα περιστροφικού ξηραντήρα [4]

Οι ανυψωτικές διατάξεις είναι ένα από τα βασικά εξαρτήματα στους περιστρεφόμενους ξηραντήρες. Εκτός από την ενίσχυση της ανάμειξης των σωματιδίων, οι ανυψωτές εμποδίζουν επίσης την προσκόλληση των σωματιδίων στα τοιχώματα του τυμπάνου και τον σχηματισμό «νεκρών ζωνών» που θα έχουν ως αποτέλεσμα την πτώση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας. Η ροή των σωματιδίων και η καταίονηση τους εξαρτώνται από το προφίλ των ανυψωτικών διατάξεων, τα χαρακτηριστικά του άνθρακα, και την ταχύτητα περιστροφής. Η καταίονηση των σωματιδίων παράγει σκόνη η οποία ενέχει κίνδυνο πυρκαγιάς, εάν είναι υπερβολική.

Επιθυμητό προφίλ της ανυψωτικής διάταξης είναι εκείνο που ελαχιστοποιεί την φθορά των σωματιδίων, λόγω της τριβής μεταξύ τους, με ήπια αλλά αποτελεσματική ανάμιξη. Ο σχεδιασμός ανυψωτικών διατάξεων περιστρεφόμενων ξηραντήρων έχει μελετηθεί εκτενώς, προφίλ διατάξεων ανυψωτών παρουσιάζονται στην Εικόνα 4-14 [5].



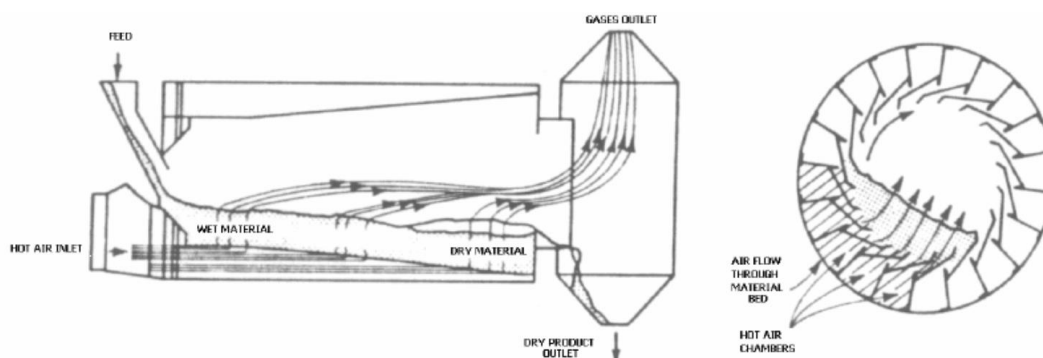
Εικόνα 4-14: Προφίλ διατάξεων ανύψωσης-ανάδευσης περιστροφικών ξηραντήρων [4]

#### 4.4.1.2. Άμεσου τύπου περιστρεφόμενοι ξηραντήρες με αερισμό:

Στους συμβατικούς περιστρεφόμενους ξηραντήρες, η μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής και η μεταφορά μάζας μεταξύ του αερίου ξήρανσης και του υγρού υλικού συντελείται κυρίως κατά τη διάρκεια της καταιόνησης των σωματιδίων δεδομένου ότι η κυλιόμενη κλίνη (νεκρή ζώνη) συμβάλλει μόνο με περίπου 5%. Χωρίς διατάξεις ανύψωσης-ανάδευσης οι περιστρεφόμενοι ξηραντήρες είναι ιδιαίτερα αναποτελεσματικά συστήματα ξήρανσης. Υπάρχουν, ωστόσο, δύο τύποι περιστρεφόμενων ξηραντήρων που λειτουργούν χωρίς την αρχή της ανύψωσης και καταιόνησης, αλλά προσφέρουν υψηλή απόδοση. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αερισμό, ως βασικό χαρακτηριστικό για τη λειτουργία τους.

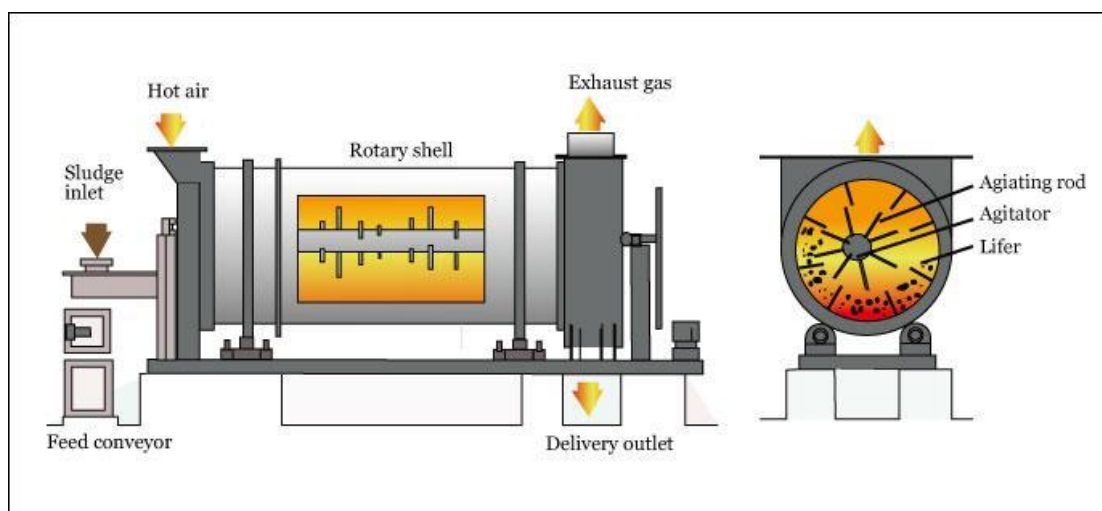
Ένα περιστρεφόμενος ξηραντήρας που βασίζεται στον αερισμό είναι ο ξηραντήρας Roto-Louvre, Εικόνα 4-15, που αξιοποιείται κυρίως στην επεξεργασία τροφίμων, χημικών ουσιών, και ανόργανων αλάτων. Θερμός αέρας ή καυσαέριο διοχετεύεται στην περιστρεφόμενη κλίνη υγρού υλικού μέσω της κωνικής αρμολόγησης επικαλυπτόμενων πλακών. Ο ξηραντήρας έχει εφαρμοστεί για λιγνίτη και είναι σε θέση να εξασφαλίζει σχετικά υψηλούς ρυθμούς ξήρανσης, λόγω της στενής επαφής αερίου-σωματιδίων εντός της περιοχής της κλίνης. Για ξήρανση άνθρακα, θερμοκρασία εισόδου αερίου 480 °C και θερμοκρασία εξόδου 80 °C παράγει ξηρό άνθρακα με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία περίπου 50 °C και μείωση της υγρασίας από 18% σε 4%. Με την ταχύτητα του αερίου ξήρανσης μέσω της κλίνης σωματιδίων μεταξύ 0.5-1.5 m/s, η δημιουργία σκόνης είναι πολύ μικρή. Σε αντίθεση με την ανύψωση και καταιόνηση στους συμβατικούς περιστρεφόμενους ξηραντήρες, η

περιστρεφόμενη κλίνη σωματιδίων παρέχει πολύ ήπια ανάδευση, μειώνοντας σημαντικά την τριβή των σωματιδίων. Ο ξηραντήρας Roto-Louvre είναι μικρότερος από ένα συμβατικό περιστρεφόμενο ξηραντήρα με την ίδια δυναμικότητα λόγω της υψηλής ταχύτητας ξήρανσης. Μειονεκτήματα είναι το μεγαλύτερο κόστος του ξηραντήρα λόγω της πολύπλοκης εσωτερικής δομής του, η κατώτερη θερμική απόδοση, και η δυσκολία για μεγαλύτερα μεγέθη συστημάτων.



Εικόνα 4-15: Ο ξηραντήρας Roto-Louvre

Ο ξηραντήρας Yamato, Εικόνα 4-16, είναι ένας άλλος περιστρεφόμενος ξηραντήρας που βασίζεται στον αερισμό. Σε αντίθεση με τον ξηραντήρα Roto-Louvre στον οποίο το αέριο ξήρανσης διοχετεύεται στην περιστρεφόμενη κλίνη από κάτω προς τα πάνω, στον ξηραντήρα Yamato το αέριο παρέχεται από ένα κεντρικό αγωγό που είναι τοποθετημένος παράλληλα προς τον άξονα του τυμπάνου και καταλήγει σε ακρόφυσια, από τα οποία εγχέεται στη μέση της κλίνης. Έχει αναφερθεί ότι ο ξηραντήρας Yamato διασφαλίζει περισσότερο στενή επαφή αερίου-σωματιδίων με αποτέλεσμα υψηλό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας και ξήρανσης χωρίς ιδιαίτερη φθορά των σωματιδίων, λόγω τριβής. Ένας ξηραντήρας Yamato έχει κατά 50% μικρότερο μέγεθος έναντι ενός αντίστοιχου συμβατικού περιστρεφόμενου ξηραντήρα. Τα πλεονεκτήματα του είναι παρόμοια με εκείνα του ξηραντήρα Roto-Louvre. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο ξηραντήρας Yamato είναι λιγότερο περίπλοκος ως προς την κατασκευή και τη λειτουργία σε σύγκριση με τον Roto-Louvre [5].



Εικόνα 4-16: Ο ξηραντήρας Yamato



#### 4.4.2. Περιστρεφόμενοι-σωληνωτοί (έμμεσου τύπου) ξηραντήρες (Rotary-tube dryers):

Η έμμεση ξήρανση μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Συνηθέστερα, ένα έμμεσου τύπου περιστρεφόμενο σύστημα ξήρανσης αποτελείται από ένα κέλυφος μέσω του οποίου ρέει ατμός ή κάποιο άλλο μέσο θέρμανσης. Ανά πάσα στιγμή, ένα πολύ μικρό κλάσμα σωματιδίων εκτίθεται στο θερμαινόμενο τοίχωμα, με αποτέλεσμα χαμηλό ρυθμό μετάδοσης θερμότητας και χαμηλής απόδοσης ξήρανση. Ένας τρόπος για τη βελτίωση ενός ξηραντήρα τέτοιου τύπου είναι η αύξηση της ενεργής επιφάνειας του θερμαινόμενου τοιχώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας σειράς σωλήνων, μέσω των οποίων ρέει ατμός, εντός του περιστρεφόμενου κελύφους. Το υγρό υλικό ανυψώνεται και κατακρημνίζεται εντός του περιστροφικού κελύφους, θερμαινόμενο μέσω ακτινοβολίας και επαφής με τις εξωτερικές επιφάνειες των σωλήνων ατμού.

Έχει αναφερθεί μια άλλη εκδοχή περιστρεφόμενου συστήματος ξήρανσης με εσωτερικούς αγωγούς οι οποίοι μεταφέρουν άνθρακα αντί ατμού. Το υγρό υλικό τροφοδοτείται στους κεκλιμένους σωλήνες υπό την επίδραση της βαρύτητας, και κατανέμεται μεταξύ των σωλήνων καθώς το κέλυφος περιστρέφεται. Οι σωλήνες έχουν διάμετρο τουλάχιστον 150mm και φέρουν ελικοειδή σύρματα τα οποία λειτουργούν ως αναδευτήρες, ρυθμίζοντας τη ροή του άνθρακα που ξηραίνεται και εξασφαλίζοντας τον αναγκαίο χρόνο παραμονής. Ένα τέτοιο σύστημα ξήρανσης (coal-in-tube dryer) έχει σχεδιαστεί για τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία σωματιδίων άνθρακα, μεγέθους 3mm, από 20% σε 4% με διατήρηση της θερμοκρασίας του κελύφους άνω των 120 °C και ρυθμίζοντας την ταχύτητα περιστροφής του κελύφους. Αυτό το σύστημα εκτιμάται ότι παράγει λιγότερη σκόνη αφού η καταιόνηση δεν είναι τόσο έντονη. Η Kawasaki Heavy Industries έχει κατασκευάσει αρκετούς τέτοιου τύπου ξηραντήρες με ρυθμό ατμοποίησης από 6.7t/h έως 13.1t/h, και δυναμικότητα από 95t/h έως 420t/h [5].

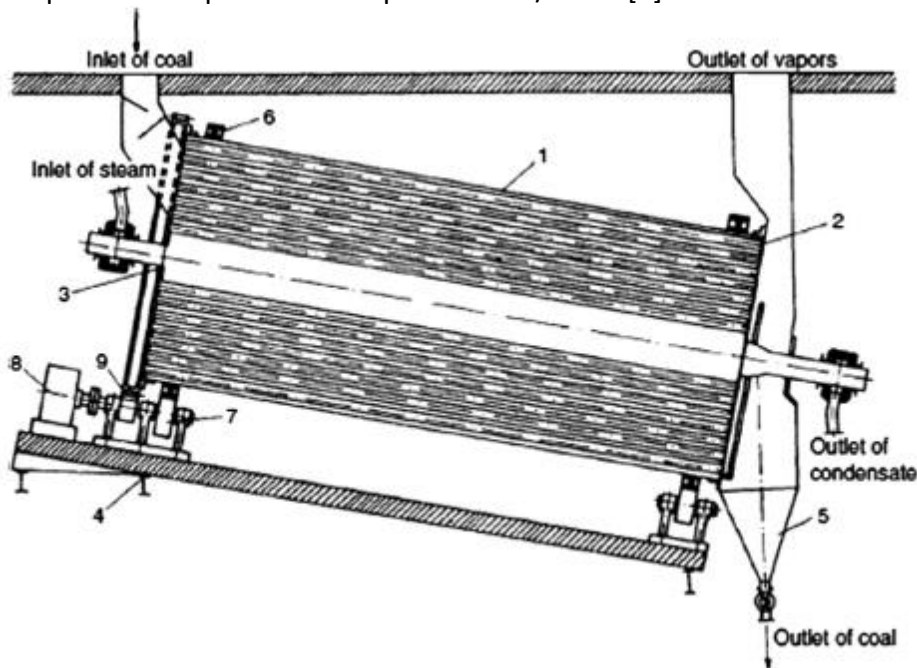
Οι περιστρεφόμενοι-σωληνωτοί ξηραντήρες χρησιμοποιούνται ευρέως για την ξήρανση του άνθρακα σε μονάδες παρασκευής μπρικετών λιγνίτη (lignite briquetting). Χρησιμοποιούνται επίσης για την ξήρανση σκληρού άνθρακα. Αυτοί οι ξηραντήρες είναι έμμεσου τύπου, θερμαινόμενοι με ατμό σε εύρος πιέσεων από 0.15 έως 0.55 MPa.

Η διάταξη αυτού του τύπου ξηραντήρα φαίνεται στην Εικόνα 4-17. Αποτελείται από ένα επικλινές τύμπανο (1), στου οποίου τα διάτρητα τοιχώματα προσδένονται οι σωλήνες χωρίς συγκόλληση (2). Το τύμπανο εδράζεται σε ειδικά δαχτυλίδια (6) και κυλίνδρους (7), και κινείται με ισχύ που μεταδίδεται (8) μέσω ενός οδοντωτού τροχού (9). Ο ατμός εισέρχεται στο τύμπανο μέσω του πείρου (3). Ο υγρός άνθρακας τροφοδοτείται εντός των σωλήνων.

Ως συνέπεια της κλίσης και περιστροφής, ο άνθρακας μετατοπίζεται σταδιακά στους σωλήνες από την είσοδο προς την έξοδο. Ο μετατόπιση του άνθρακα ελέγχεται από ελικοειδής οδηγούς εγκατεστημένους στους σωλήνες. Οι οδηγοί μεταβλητού βήματος εμποδίζουν την ταχεία μετατόπιση του άνθρακα μεταξύ των σωλήνων.

Ο ξηρός άνθρακας συλλέγεται στο κάτω μέρος του θαλάμου (5). Το συμπύκνωμα ατμού αποστραγγίζεται μέσω ενός πείρου τοποθετημένου στο κατώτερο σημείο του τυμπάνου.

Σε αυτόν τον τύπο ξηραντήρα, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή από τον ατμό στον άνθρακα είναι περίπου  $25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$  [4].

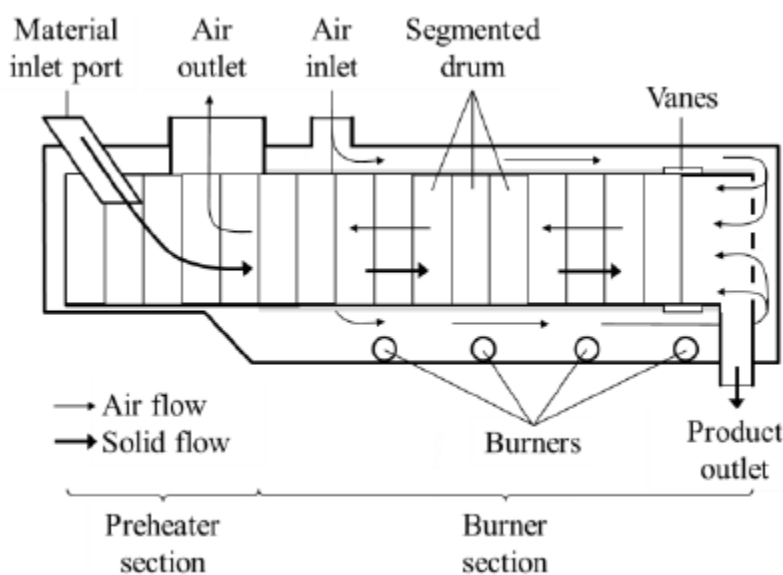


Εικόνα 4-17: Περιστρεφόμενος-σωληνωτός ξηραντήρας [4]

#### 4.4.3. Άμεσα-έμμεσα περιστρεφόμενα συστήματα ξήρανσης:

Έχουν αναφερθεί περιστρεφόμενα συστήματα ξήρανσης όπου η μετάδοση θερμότητας συντελείται τόσο άμεσα όσο και έμμεσα.

Μια τέτοια αναφορά, Εικόνα 4-18, περιγράφει ένα κυλινδρικό περιστρεφόμενο τύμπανο που περικλείεται από μια εστία που μοιάζει κοιλότητα με ενσωματωμένους καυστήρες. Δύο τμήματα συνθέτουν το τύμπανο: το τμήμα θέρμανσης (που βρίσκεται ανάντι, κοντά στην είσοδο του υγρού υλικού) κατασκευασμένο από αλουμίνιο και καταλαμβάνει περίπου το ένα τρίτο του μήκους της εστίας, και το τμήμα των καυστήρων (που βρίσκεται κατάντι, κοντά στην έξοδο του ξηρού προϊόντος) κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα και καταλαμβάνει το υπόλοιπο μήκος της εστίας. Αυτό το σύστημα ξήρανσης είναι διαφορετικό από άλλα περιστρεφόμενα συστήματα ξήρανσης σε δύο βασικά ζητήματα: Πρώτον, η θέρμανση του υγρού υλικού επιτυγχάνεται τόσο άμεσα όσο και έμμεσα, η έμμεση θέρμανση επιτυγχάνεται με τη χρήση θερμών καυσαερίων για τη θέρμανση της εξωτερικής επιφάνειας του τυμπάνου, ενώ η άμεση θέρμανση επιτυγχάνεται με την διοχέτευση του ίδιου αερίου στο εσωτερικό του τυμπάνου αντίθετα από τη ροή του υγρού υλικού. Δεύτερον, πολλαπλά πτερύγια από ανοξείδωτο χάλυβα τοποθετημένα στην εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου προσανατολισμένα έτσι ώστε τα πτερύγια στο τμήμα του προ-θερμαντήρα (τύμπανο αλουμινίου) να αναδεύουν τον περιβάλλοντα αέρα, ενώ τα πτερύγια στο τμήμα των καυστήρων (κέλυφος από ανοξείδωτο χάλυβα) να κατευθύνουν τον αέρα εντός του δοχείου. Αυτή η διάταξη διευκολύνει όχι μόνο την εξωτερική θέρμανση του τυμπάνου, αλλά επίσης παράγει ρεύμα θερμού αερίου που έχει ως αποτέλεσμα την άμεση θέρμανση του υλικού [7].



Εικόνα 4-18: Άμεσο-έμμεσο σύστημα ξήρανσης [5]

#### 4.4.4. Υπάρχουσες εφαρμογές περιστρεφόμενων ξηραντήρων:

##### 4.4.4.1. Ξήρανση με περιστρεφόμενο-σωληνωτό ξηραντήρα για παρασκευή μπρικετών λιγνίτη (lignite briquetting), Victoria/Australia:

Στην Αυστραλία, ο έμμεσος τύπος ξήρανσης έχει χρησιμοποιηθεί για πολλές δεκαετίες για την παρασκευή μπρικετών λιγνίτη. Στη διαδικασία αυτή, χαμηλής πίεσης ατμός συμπυκνώνεται στο εξωτερικό των σωλήνων μεταφοράς λιγνίτη για την παροχή θερμότητας στη διαδικασία, όσο μεγαλύτερο μέρος του νερού απομακρύνεται σε υγρή μορφή, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση. Μετά τη μείωση της υγρασίας στην ονομαστική τιμή του 15%, ο ξηρός λιγνίτης συμπιέζεται σε συμπαγείς μπρικέτες χρησιμοποιώντας πρέσες μορφοποίησης.

Μεγάλης κλίμακας παρασκευή μπρικετών από βικτοριανό λιγνίτη άρχισε στην περιοχή Yallourn το 1924 χρησιμοποιώντας γερμανική τεχνολογία. Το πρωτότυπο εργοστάσιο έκλεισε το 1970, αλλά η μονάδα Morwell, η οποία ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1959 και συνεχίζει μέχρι σήμερα, με ονομαστική δυνατότητα παραγωγής μπρικετών 1.2 Mt/έτος και 170 MW ηλεκτρικής ενέργειας, είναι μια από τις μεγαλύτερες μονάδες συμπαραγωγής στο νότιο ημισφαίριο. Μια παρόμοια μονάδα παρασκευής μπρικετών με αυτή του Morwell λειτουργεί με ινδικό λιγνίτη στο Neyveli, νότια του Μαντράς.

Η παραγωγή μπρικετών στη Βικτώρια κορυφώθηκε σε 1.9 Mt/έτος το 1966 πριν από την εισαγωγή του φυσικού αερίου. Η παραγωγή τώρα σταθεροποιήθηκε γύρω στους 400-500 Kt/έτος, κυρίως για βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές

θερμότητας, παραγωγή κάρβουνου και περιστασιακά εξαγωγές λόγω της υψηλής ποιότητας του προϊόντος.

Κατά τη διαδικασία, ο λιγνίτης συνθλίβεται μέχρι μέγεθος σωματιδίων 8 mm, ξηραίνεται σε περιστρεφόμενους ξηραντήρες με σωλήνες ατμού από 66% έως περίπου 15% υγρασία. Ο ξηρός άνθρακας στη συνέχεια ψύχεται και μορφοποιείται σε μπρικέτες χωρίς συνδετικό υλικό, χρησιμοποιώντας μια Exter πρέσσα διέλασης 1200 Kg/cm<sup>2</sup> για να σχηματιστεί σκληρός συμπαγής πλίνθος με ενεργειακό περιεχόμενο (21 MJ/Kg Net wet basis) συγκρινόμενο με πολλούς υψηλότερης ποιότητας (ενεργειακής αξίας) λιθάνθρακες. Ωστόσο, ως αποτέλεσμα των αλλαγών στην ποιότητα του άνθρακα Yallourn με την ανάπτυξη του Eastfield, και του ανταγωνισμού μεταξύ των ιδιωτικοποιημένων ορυχείων, το 75% του άνθρακα για την παρασκευή μπρικετών προέρχεται από το Loy Yang , με τα Yallourn Eastfield να παρέχουν το υπόλοιπο [4].

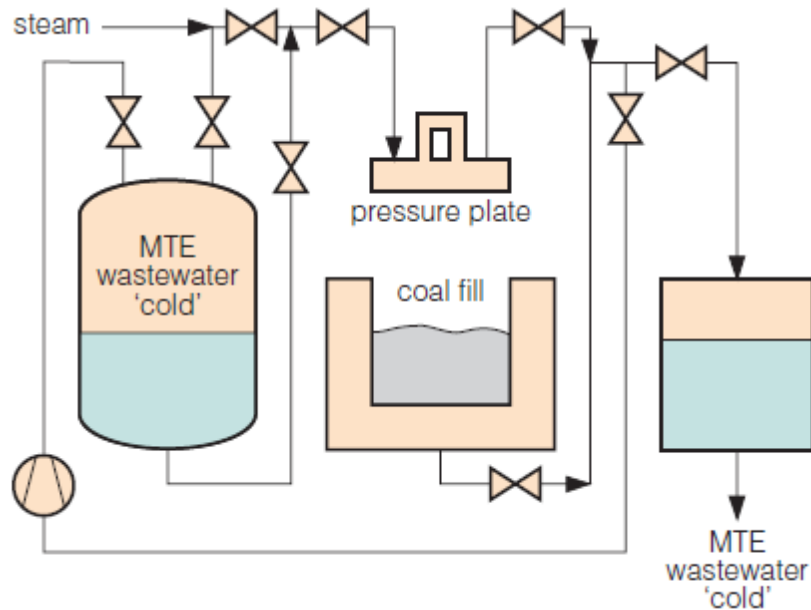
#### 4.4.4.2. Περιστρεφόμενος ξηραντήρας με υπέρθερμο ατμό Victoria/Australia:

Άλλο πρόσφατο παράδειγμα ξήρανσης όπου χρησιμοποιείται υπέρθερμος ατμός σε περιστροφική διαδικασία ξήρανσης αναπτύχθηκε από την Keith Engineering για την ξήρανση βικτωριανού λιγνίτη, ο οποίος έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία 50-70%. Έχει αναφερθεί ότι η υγρασία μειώθηκε σε ένα χαμηλό επίπεδο (11% w.b.) ξεκινώντας περί το 61%. Η παροχή τροφοδοσίας του λιγνίτη ήταν 23-46 Kg/h και η θερμοκρασία του ατμού ήταν 180-230 °C με ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου 3-6 rpm. Υπέρθερμος ατμός χρησιμοποιήθηκε για ξήρανση Ινδονησιακού άνθρακα με σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, πλούσιος σε θείο. Θερμοκρασία ατμού 300 °C διαπιστώθηκε επαρκής για την αφαίρεση της υγρασίας σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Ωστόσο, αυτοί οι τύποι ξηραντήρων είναι κατάλληλοι κυρίως για πολύ μεγάλου μεγέθους μονάδες. Το κόστος επένδυσης είναι πολύ υψηλό, αν και παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και ασφαλή λειτουργία [4].

#### 4.5. Mechanical thermal expression (MTE):

Η τεχνολογία MTE (Mechanical-thermal expression) αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και συνδυάζει τη χρήση της πίεσης και της θερμοκρασίας για την αποτελεσματική αφαίρεση της περιεκτικότητας σε υγρασία του λιγνίτη. Σημαντικά χαμηλότερες πιέσεις (<12 MPa) και θερμοκρασίες (<200 °C) απαιτούνται. Η αύξηση της θερμοκρασίας μαλακώνει τον άνθρακα, προκειμένου να μειωθεί η απαιτούμενη μηχανική πίεση για την απομάκρυνση της υγρασίας. Κατά τη διαδικασία MTE, ο ακατέργαστος λιγνίτης θερμαίνεται πρώτα στους 150-200 °C σε κορεσμένες συνθήκες και πίεση (0.5-2 MPa), προκειμένου να αποφευχθεί η εξάτμιση. Μια μηχανική πίεση περίπου 6 MPa εφαρμόζεται στη συνέχεια για να «στύψει» το λιγνίτη από την υγρασία του. Ο σχεδιασμός της διαδικασίας MTE φαίνεται στην Εικόνα 4-19.



Εικόνα 4-19: Η διαδικασία MTE [6]

Εκδοχές της διαδικασίας MTE αναπτύχθηκαν τόσο στην Γερμανία όσο και την Αυστραλία. Στη Γερμανία, η RWE, σε συνεργασία με άλλες εταιρείες είχε αναλάβει την ανάπτυξη της τεχνολογίας MTE. Πραγματοποιήθηκαν επιτυχείς δοκιμές σε εργαστηριακή και πιλοτική κλίμακα. Περαιτέρω βήμα ανάπτυξης προς την εμπορική εφαρμογή της διαδικασίας περιλάμβανε τη μετατροπή της ασυνεχούς πιλοτικής πρέσας σε ημι-συνεχείς πλήρως αυτόματες λειτουργίες, με παραγωγή περίπου 1,6 t/h ξηρού λιγνίτη. Κατά τις δοκιμές της τεχνολογίας MTE, διάφορες πτυχές της τεχνολογίας εξετάστηκαν συμπεριλαμβανομένων (α) την ημι-συνεχή τροφοδοσία της πρέσας MTE με άνθρακα, (β) την επεξεργασία του ακατέργαστου λιγνίτη, και (γ) τη μετέπειτα κατεργασία του ξηρού λιγνίτη. Η σχέση κόστους-απόδοσης και της ενεργειακής απόδοσης ξήρανσης του λιγνίτη με τη χρήση της διαδικασίας MTE έγινε εμφανής μέσα από τις διάφορες φάσεις του έργου. Μετά την ολοκλήρωση της εξέλιξης αυτής, μία 25 t/h μονάδα παρουσίασης της MTE κατασκευάστηκε στον ΑΗΣ Niederaussem της RWE και παραδόθηκε στο τέλος του 2001. Στις αρχές του 2002 η RWE ανέλαβε τη μονάδα, αλλά το έργο στη συνέχεια διακόπηκε. Η RWE επέλεξε τη διαδικασία WTA για περαιτέρω ανάπτυξη.

Στην Αυστραλία, το Cooperative Research Centre for Clean Power from Lignite (CRC Lignite) εργάστηκε για την ανάπτυξη της διαδικασίας MTE κατάλληλη για βικτωριανούς λιγνίτες. Το σχέδιο ανάπτυξης περιλάμβανε την κατασκευή πιλοτικής μονάδας 20 t/h κατά την περίοδο 2005-2006. Η διαδικασία MTE της CRC χρησιμοποίησε μια διαφορετική διαμόρφωση όσον αφορά ορισμένα χαρακτηριστικά τελείως διαφορετικά από εκείνα της γερμανικής προσέγγισης. Σε αυτή της CRC, ο άνθρακας τροφοδοτείται ως πολτός, ο οποίος προθερμαίνεται χρησιμοποιώντας ενέργεια η οποία παρέχεται από το θερμό προϊόν άνθρακα και το επίσης θερμό νερό που αφαιρείται. Ο προ-θερμασμένος πολτός θερμαίνεται έπειτα υπό πίεση σε ένα θάλαμο θέρμανσης στην απαιτούμενη θερμοκρασία επεξεργασίας με κορεσμένο ατμό. Ο θερμός πολτός από το θάλαμο θέρμανσης έπειτα εισέρχεται στον κύλινδρο συμπίεσης υπό βαρύτητα. Η αφυδάτωση συντελείται τόσο μέσω των αξονικών όσο

και των περιφερειακών επιφανειών του κυλίνδρου. Η περιφερειακή επιφάνεια του φίλτρου-κυλίνδρου, χαρακτηριστικό της διαδικασίας της CRC, φάνηκε να είναι πιο αποτελεσματική στην αφυδάτωση από τις αξονικές επιφάνειες. Αυτή η βελτίωση σημαίνει ότι η αφυδάτωση στη διαδικασία της CRC δεν εξαρτάται τόσο από την κατανομή του μεγέθους σωματιδίων, όπως στη γερμανική εκδοχή.

Η CRC Lignite, στην επιτυχημένη δοκιμή της διαδικασίας MTE της CRC για την ξήρανση του λιγνίτη, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να παρέχει μία χαμηλού κόστους, ενεργειακά αποδοτική διεργασία για μερική ξήρανση (μέχρι περίπου 30% υγρασία) σε μεγάλη κλίμακα που απαιτείται για την τροφοδοσία μιας μονάδας. Η CRC Lignite βρήκε την τεχνολογία MTE λιγότερο δαπανηρή από την HTD-Hydrothermal Dewatering ή την WTA και ικανή να απομακρύνει περισσότερο από το 70% της υγρασίας από το λιγνίτη από τη Βικτώρια και τη Νότια Αυστραλία, με αποτέλεσμα την τεράστια εξοικονόμηση εκπομπών CO<sub>2</sub> για μια μονάδα παραγωγής ενέργειας.

Το υγρό νερό που απομακρύνεται από τον άνθρακα με τις διαδικασίες HTD και MTE φέρει τόσο οργανική όσο και ανόργανη ύλη. Οι μεγάλοι όγκοι του όξινου, αλμυρού και πλούσιου σε οργανικές ενώσεις νερού που «παράγεται» παρουσιάζουν μείζον πρόβλημα όσον αφορά τις δυσκολίες επεξεργασίας των λυμάτων και το κόστος για τη διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση του. Η συνολική βιωσιμότητα των διεργασιών θα εξαρτηθεί από τη διαθεσιμότητα ή όχι μιας απλής και ενεργειακά αποδοτικής στρατηγικής για την αποκατάσταση του νερού [6].

#### 4.6. Ξήρανση με μικροκύματα:

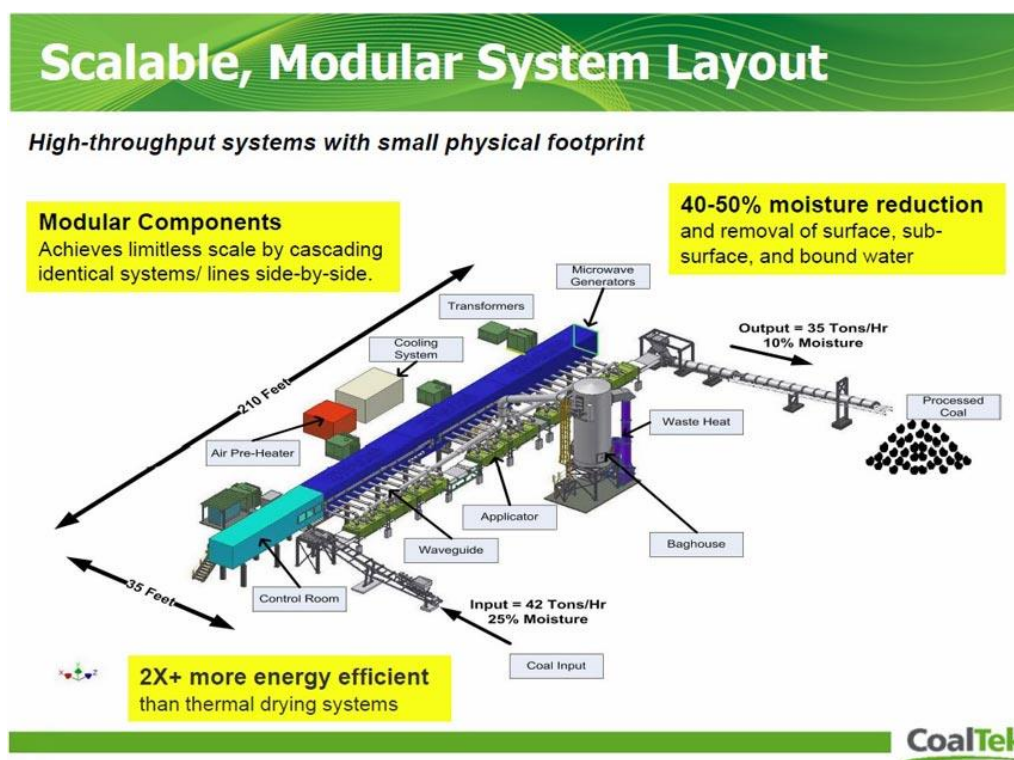
Οι συμβατικές μέθοδοι ξήρανσης επιστρατεύουν θέρμανση στην επιφάνεια του υλικού και είναι εν γένει χρονοβόρες διαδικασίες εφόσον ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από την επιφάνεια στον πυρήνα του υλικού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: οι συνθήκες της διαδικασίας, το μέγεθος των σωματιδίων και οι ιδιότητες του υλικού. Κατά τη θέρμανση με μικροκύματα η ενέργεια μεταφέρεται στην υγρασία στο εσωτερικό του υλικού χωρίς να χρειάζεται η θέρμανση του ίδιου του υλικού, συνεπώς ο χρόνος ξήρανσης είναι μικρός. Βασικό μειονέκτημα όμως είναι η χρήση ανώτερης μορφής ενέργειας (ηλεκτρισμός) που συνεπάγεται σημαντικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας [7].

Η ξήρανση με μικροκύματα μπορεί να αξιοποιηθεί ως τελικό στάδιο μίας συνολικότερης διαδικασίας ξήρανσης η οποία εμπλέκει για παράδειγμα ένα ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Μία τέτοια διαδικασία έχει νόημα επειδή παρόλο που η ξήρανση σε ρευστοποιημένη κλίνη εξασφαλίζει πολύ καλή ανάμειξη και ομοιόμορφη έκθεση του υλικού στο μέσο ξήρανσης (αέρα ή ατμό) παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία η μετακίνηση της υγρασίας από το εσωτερικό των σωματιδίων στην επιφάνεια τους, από όπου μπορεί να παραληφθεί και να απομακρυνθεί. Η ξήρανση με μικροκύματα χαρακτηρίζεται από μικρή χρονική διάρκεια, αλλά και από χαμηλότερη ποιότητα ξηρού προϊόντος λόγω της ανομοιόμορφης έκθεσης και κατανομής της υγρασίας.

Η ξήρανση σε ρευστοποιημένη κλίση υποβοηθούμενη από μικροκύματα είναι εφικτό να ξεπεράσει τον παραπάνω περιορισμό, παρέχοντας ταχεία και ομοιόμορφη ξήρανση με υψηλή ενεργειακή απόδοση [5].

#### 4.6.1. CoalTek:

Η τεχνολογία CoalTek αναπτύχθηκε από μια εταιρεία με βάση την Georgia/USA, την CoalTek Inc., είναι μία διαδικασία, βασιζόμενη στα μικροκύματα, η οποία αφαιρεί υγρασία, τέφρα, θείο και υδράργυρο από χαμηλής θερμικής αξίας άνθρακα και τον μετατρέπει σε καθαρότερο καύσιμο με το ενεργειακό περιεχόμενο να αυξάνεται μέχρι και 50%. Αυτή η χαμηλής θερμοκρασίας διεργασία είναι κατάλληλη για άνθρακα που χρησιμοποιείται τόσο για στην παραγωγή ενέργειας όσο και στη μεταλλουργία, και είναι ικανή για την απομάκρυνση της υγρασίας του, η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι δυνατόν να μειωθεί έως και κατά 50%, χωρίς να θίγονται οι βασικές ιδιότητες του. Η κατασκευάστρια εταιρεία ισχυρίζεται ότι όλα τα υποπροϊόντα της CoalTek δεσμεύονται, φιλτράρονται και διαχωρίζονται, ικανοποιώντας τα περιβαλλοντικά πρότυπα.



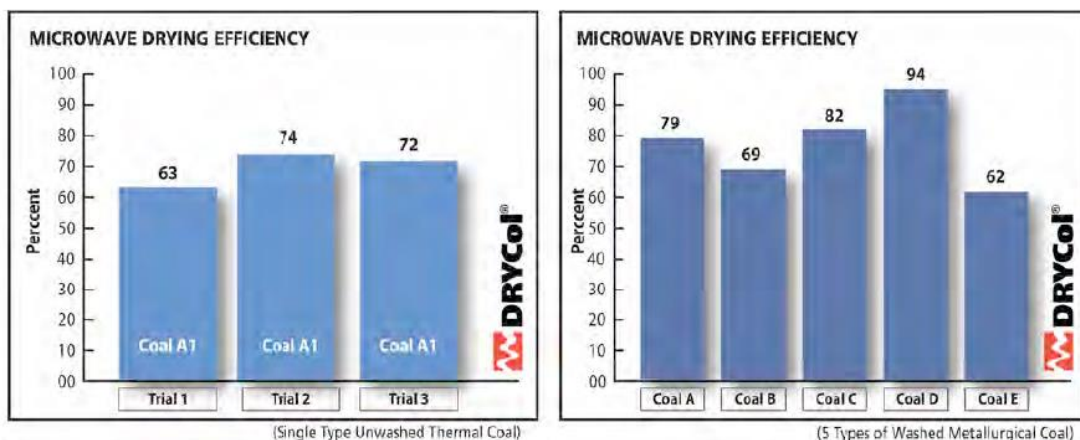
Εικόνα 4-20: Η μονάδα της Coaltek [12]

Η CoalTek Inc. δεν έχει αποκαλύψει την τεχνολογία της με αποτέλεσμα λεπτομέρειες της διαδικασίας να είναι ακόμη άγνωστες. Η CoalTek Inc. εγκατέστησε την πρώτη εμπορική εγκατάσταση επεξεργασίας, Εικόνα 4-20, στο Calvert City/Kentucky/USA το 2006 και η αρχική δυναμικότητα της μονάδας, των 120 Kt/έτος θα διευρυνθεί στο μέλλον. Σχεδιάζεται επίσης η κατασκευή επιπλέον μονάδων της τεχνολογίας CoalTek στην Κίνα και τις ΗΠΑ [6].

#### 4.6.2. Drycol:

Μία διαδικασία ξήρανσης άνθρακα που αναπτύσσεται από την DBAGlobal Australia Pty, Ltd., με την εμπορική ονομασία Drycol χρησιμοποιεί ελεγχόμενη εφαρμογή ακτινοβολίας μικροκυμάτων, για την ξήρανση άνθρακα (Εικόνα 4-22). Αρχικά ο άνθρακας διαχωρίζεται σε λεπτόκοκκο και σε μία ή περισσότερες τάξεις μεγέθους. Ο λεπτόκοκκος άνθρακας φορτώνεται σε ένα μεταφορέα και μεταφέρεται μέσα στο θάλαμο θέρμανσης με μικροκύματα. Ο λεπτόκοκκος άνθρακας ξηραίνεται επαρκώς έτσι ώστε όταν συνδυάζεται με ανώτερης ποιότητας άνθρακες, η συνολική περιεκτικότητα σε υγρασία να είναι μέσα σε ένα ικανοποιητικό εύρος. Με την ογκομετρική και ομοιόμορφη θέρμανση του άνθρακα ο θάλαμος μικροκυμάτων ατμοποιεί την υγρασία, ενώ η θερμοκρασία του ξηρού προϊόντος δεν ξεπερνάει τους 90 °C. Με αυτόν τον τρόπο το ξηρό προϊόν δεν καίγεται, ούτε οξειδώνεται, ενώ διατηρεί τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την καύση καθώς και τις θερμικές του ιδιότητες.

Οι οικιακοί φούρνοι μικροκυμάτων λειτουργούν σε συχνότητα 2,450 MHz, ενώ οι γεννήτριες μικροκυμάτων που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία Drycol λειτουργούν στα 915 MHz. Το βάθος διείσδυσης τους είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό των οικιακών συσκευών. Επίσης παρουσιάζουν μεγαλύτερο συνολικό βαθμό απόδοσης, δηλαδή μικρότερο κόστος λειτουργίας. Συγκριτικά μία γεννήτρια των 100 KW στα 915 MHz κοστίζει περίπου 50% λιγότερο από επτά των 15 KW στα 2,450 MHz. Οι γεννήτριες 915 MHz μπορούν να αποδίδουν πάνω από 100 KW από ένα και μοναδικό magnetron, και παρ' όλη την ενεργειακή απώλεια περίπου του 15% λόγω της παραγωγής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από ηλεκτρική, η εναπομένουσα ενέργεια μετατρέπεται σε ειδική ενέργεια και λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης της απομακρυνόμενης υγρασίας σε ποσοστό 95%, κατά τη διαδικασία Drycol. Η υγρασία που αφαιρείται είναι η ελεύθερη υγρασία του άνθρακα, έτσι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος ξήρανσης συνήθως υπερβαίνει το 80%. Η Εικόνα 4-21 απεικονίζει τους ολικούς βαθμούς απόδοσης της διαδικασίας ξήρανσης για διάφορους άνθρακες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας και την μεταλλουργία.

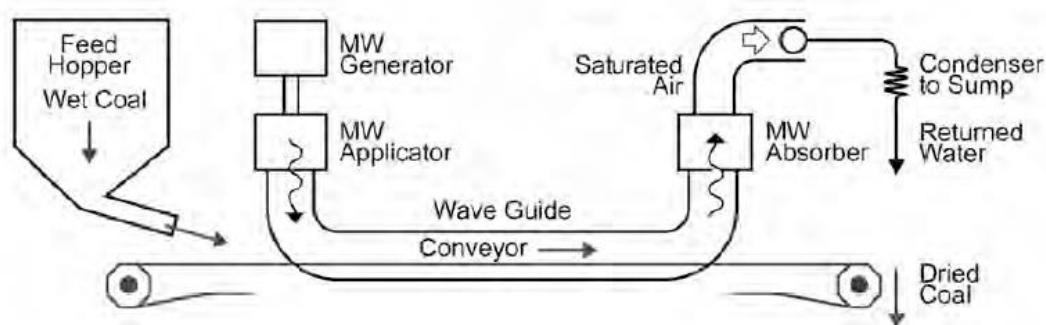


Εικόνα 4-21: [11]



Σε σχέση με τις συμβατικές διαδικασίες ξήρανσης, τα μικροκύματα είναι μια τεχνολογία που δεν απαιτεί την επαφή του μέσου θέρμανσης με το υλικό προς ξήρανση, οπότε ο άνθρακας δεν χρειάζεται επεξεργασία (άλεση, κονιοποίηση) πριν την είσοδο του στον ξηραντήρα. Επιπλέον οι δοκιμές έδειξαν ότι η ξήρανση με μικροκύματα οδηγεί σε μείωση των προσμίξεων όπως το θείο, το κάλιο, και ο φώσφορος. Τα μικροκύματα υπερέχουν επίσης στην αποτελεσματική απομάκρυνση τόσο της υγροσκοπικής όσο και της επιφανειακής (ελεύθερης) υγρασίας, χωρίς υπερθέρμανση του άνθρακα. Τέλος, επειδή έχει απομακρυνθεί η επιφανειακή και μεγάλο μέρος της υγροσκοπικής υγρασίας, το ξηρό προϊόν είναι πιο δύσκολο να ενυδατωθεί εκ νέου.

Μία πιλοτική μονάδα 15 t/h λειτούργησε για έξι μήνες για την ξήρανση άνθρακα με αρχική περιεκτικότητα υγρασίας 28% και τελική 12%. Μία μεγαλύτερη εμπορική μονάδα 50 t/h είχε προγραμματιστεί να τεθεί σε λειτουργία στα τέλη του 2007 [11].



Εικόνα 4-22: Η διαδικασία DRYCOL [11]

#### 4.7. Νέοι ξηραντήρες που λειτουργούν με ροή αέρα υψηλής ταχύτητας για άλεση/ξήρανση:

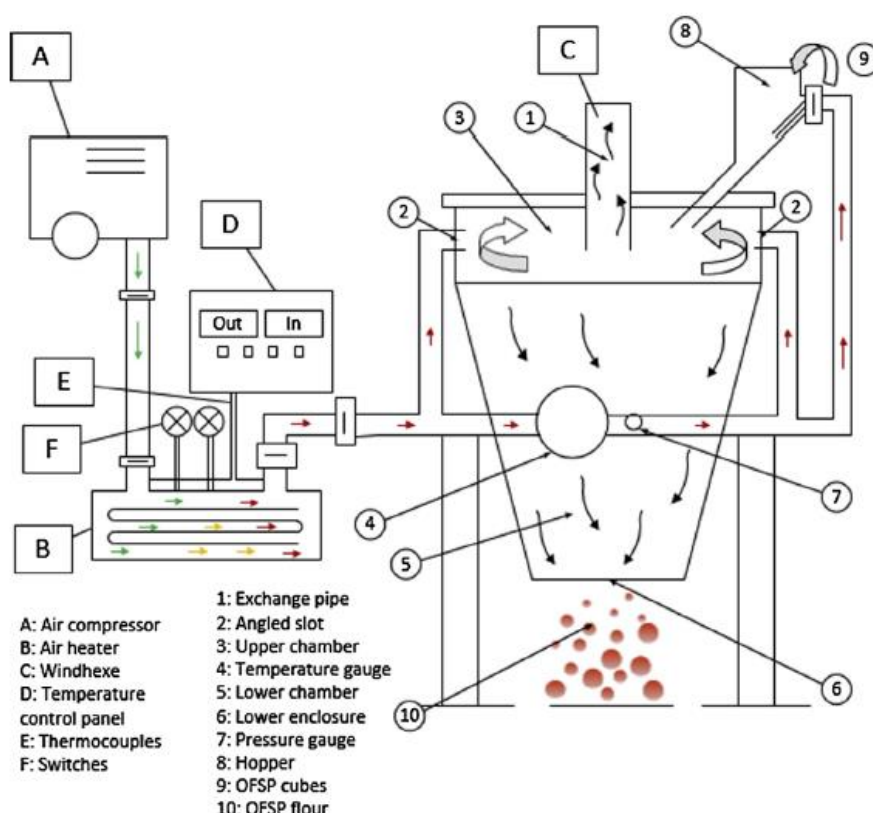
Αυτό το είδος τεχνολογιών ξήρανσης χρησιμοποιεί υψηλή ταχύτητα και πίεση αέρα για την συντριβή των σωματιδίων άνθρακα ώστε να απελευθερωθεί η ενδοσκοπική υγρασία του. Η ηχητική ταχύτητα της ροής αέρα είναι τόσο καταστροφική ώστε ο άνθρακας μετατρέπεται σε πολύ λεπτή σκόνη με αμελητέα υγρασία [6].

##### 4.7.1. Τεχνολογία Windhexe:

Η τεχνολογία Windhexe αναπτύχθηκε από μια αμερικανική εταιρεία, την Vortex Dehydration Technology LLC (VDT), χρησιμοποιείται στην βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων. Η τεχνολογία Windhexe φέρεται να είναι σε θέση να αλέθει και να ξηραίνει άνθρακα ταυτόχρονα. Η ξήρανση διεξάγεται με ατμοποίηση αλλά και μέσω μηχανικού διαχωρισμού της υγρασίας. Ο περιδινούμενος αέρας αφυδατώνει το υλικό χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό μηχανικής και θερμικής ενέργειας και είναι επομένως πιο αποτελεσματική από οποιοδήποτε αμιγώς θερμική διαδικασία

ξήρανσης (Εικόνα 4-23). Η διάταξη Windhexe περιγράφεται σε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ ως κυκλώνας με τις εφαπτομενικές ταχύτητες εισόδου ίσες ή πολύ κοντά στην ταχύτητα του ήχου. Συμπιεσμένος, προ-θερμασμένος αέρας χρησιμοποιείται για την επίτευξη υψηλής ταχύτητας. Με βάση τον κατασκευαστή η απαιτούμενη ενέργεια για την απομάκρυνση του νερού από τον άνθρακα είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη μιας θερμικής διαδικασίας ξήρανσης με ατμοποίηση. Οι λεπτομέρειες για την ακριβή λειτουργία αυτής της διαδικασίας δεν είναι δημόσια διαθέσιμες.

Σύμφωνα με την VDT, έχουν διεξαχθεί πάνω από 800 δοκιμές με διάφορα υλικά, μερικές από τις οποίες αφορούσαν την παραγωγή ενέργειας, ιδίως με καύση άνθρακα. Η τεχνολογία Windhexe έχει ελεγχθεί από την International Power στη μονάδα Hazelwood για την ξήρανση αυστραλιανού λιγνίτη [6].



Εικόνα 4-23: Η διάταξη Windhexe [4]

#### 4.7.2. Μύλος DevourX:

Η λειτουργία του μύλου DevourX βασίζεται στην περιδίνηση, ο οποίος αναπτύσσεται από την DevourX Plc/Μαλαισία. Με χρήση αερακουστικής επιτυγχάνεται ταυτόχρονη άλεση και ξήρανση του άνθρακα. Η αερακουστική είναι η επιστήμη της παραγωγής ηχητικού θορύβου από αεροδυναμικές δυνάμεις οι οποίες αλληλοεπιδρούν με στερεές επιφάνειες. Η πίεση φτάνει περίπου τα 1034 MPa, μέσω συνδυασμού της ταχύτητας του αέρα και ήχου. Τα σωματίδια επιταχύνονται από 0 στα 100km/h διανύοντας απόσταση 1m. Η συχνότητα

συντονισμού του συστήματος είναι κρίσιμη παράμετρος επειδή οι συχνότητες του ήχου θρυμματίζουν τα σωματίδια, συμπαρασύροντας το ένα το άλλο καθώς τα σωματίδια συγκρούονται. Με το θρυμματισμό των σωματιδίων το νερό διαχωρίζεται από το σωματίδιο του άνθρακα μετατρέποντας τον χονδροειδή υγρό λιγνίτη σε μια ρευστή λεπτή σκόνη που μεταφέρεται μέσω του αέρα εντός της εστίας.

Η DevourX ισχυρίζεται ότι το σύστημα μπορεί να έχει υψηλή απόδοση που οδηγεί στη μείωση του κόστους επεξεργασίας και την κατανάλωση ενέργειας, και απαιτεί ένα πολύ μικρότερο χώρο για την εγκατάσταση, ενώ λιγότερη συντήρηση απαιτείται κατά τη λειτουργία με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση από την άποψη της αρχικής επένδυσης και του λειτουργικού κόστους. Έχει επίσης το πλεονέκτημα, έναντι των συμβατικών συστημάτων ξήρανσης, της απομάκρυνσης της υγρασίας που περιέχεται εντός των σωματιδίων, καθώς σπάει την δομή τους. Η ξήρανση επιτυγχάνεται χωρίς τη χρήση θερμότητας. Ωστόσο, η απόδοση της διαδικασίας μπορεί να αυξηθεί με προ-θέρμανση του αέρα ξήρανσης από απορριπτόμενη θερμότητας από μονάδα παραγωγής ενέργειας [6].

#### 4.7.3. Σύστημα LamiFlo™:

Το σύστημα LamiFlo™ έχει αναπτυχθεί από την LF Pumping (Europe) Ltd./Βρετανία, αποτελεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια για την ξήρανση, τη μεταφορά και την ταξινόμηση πάνω από 80 διαφορετικών υλικών, συμπεριλαμβανομένου ανθρακίτη, ασφαλικών ανθράκων και λιγνίτη. Το σύστημα αποτελείται από τρία επί παραγγελία εξαρτήματα που συνδέονται με στεγανοποιημένες σωληνώσεις βαμμένου χάλυβα: συμπιεστή αέρα, θάλαμο εκτόνωσης Anudro™ και τον κυκλώνα Euroclydon™. Ένας περιστρεφόμενος τροφοδοτικός κοχλίας του Αρχιμήδη τροφοδοτεί υγρή πρώτη ύλη στον θάλαμο εκτόνωσης Anudro™, όπου το στερεό αναμειγνύεται με πεπιεσμένο αέρα που παρέχεται από το συμπιεστή.

Το μίγμα στη συνέχεια μεταφέρεται κατά μήκος του σωλήνα με υψηλή ταχύτητα έως και 3000 m/min σε ένα σφραγισμένο κυκλώνα Euroclydon™, όπου τα συσσωματώματα διαχωρίζονται από το κορεσμένο ρεύμα αέρα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ο αέρας περιβάλλει τα υγρά στερεά και απομακρύνει την επιφανειακή υγρασία μέσω εξάτμισης. Ο σωλήνας, συνήθως μήκους 6m, μπορεί να ποικίλλει σε μήκος για να ταιριάζει με το διαθέσιμο χώρο. Ο χρόνος παραμονής του υλικού από την είσοδο του έως την έξοδο ως ξηρό είναι έως 3s. Η απομάκρυνση της επιφανειακής υγρασίας μπορεί να φθάσει μέχρι και 10% ανά πέρασμα μέσα από το σύστημα. Η ξήρανση συντελείται με μεγάλη παροχή αέρα χαμηλής πίεσης, χωρίς τη χρήση θερμότητας.

Το σύστημα ξήρανσης LamiFlo™ σε χαμηλή πίεση απομακρύνει την ελεύθερη επιφανειακή υγρασία. Με αύξηση της πίεσης λειτουργίας του συστήματος, η οποία οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του ρεύματος αέρα μπορεί να μειωθεί και η ενδοσκοπική υγρασία. Μεγαλύτερη μείωση της υγρασίας μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση του μεγέθους σωματιδίων, ώστε να αυξηθεί η αναλογία επιφάνειας προς όγκο του υλικού και να ενισχυθεί η απόδοση της ξήρανσης. Το σύστημα LamiFlo™ φέρεται απλό στο σχεδιασμό του, αξιόπιστο στη λειτουργία του και εύκολο στη

συντήρηση. Εάν η επιφανειακή υγρασία ενός άνθρακα πρέπει να μειωθεί από 40% σε 15%, το εκτιμώμενο λειτουργικό κόστος είναι 0.58 \$/t με παραγωγή 250 t/h ή 0.63 \$/t με παραγωγή 500 t/h με δεδομένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας 0.10 \$/kWh [6].

#### 4.8. Υδροθερμική αφυδάτωση (Hydrothermal dewatering):

Σε αυτές τις διαδικασίες ο άνθρακας θερμαίνεται υπό πίεση για την επίτευξη θερμοκρασιών στην περιοχή 250 – 310 °C. Υπό αυτές τις συνθήκες, η δομή του άνθρακα καταρρέει και συρρικνώνεται, ενώ το νερό απελευθερώνεται ως υγρό.

##### 4.8.1. K-Fuel®:

Η K-Fuel® είναι μια κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τεχνολογία για την ξήρανση και τον εμπλουτισμό ανθράκων χαμηλής θερμικής αξίας (Irc's), αναπτύχθηκε από την Evergreen Energy Inc., μια αμερικανική εταιρεία με έδρα το Κολοράντο. Η διαδικασία K-Fuel® περιλαμβάνει την θέρμανση και συμπίεση των ανθράκων χαμηλής θερμικής αξίας, αφαιρώντας την περιεχόμενη υγρασία μετατρέποντας το έτσι σε ένα υψηλότερης ενεργειακής αξίας καύσιμο. Ένας χαμηλής θερμικής αξίας άνθρακας τροφοδοτείται στον επεξεργαστή K-Fuel®. Υψηλή θερμοκρασία (204 - 260°C) και πίεση (2.07 έως 3.04 MPa) επικρατούν στον επεξεργαστή για την σύνθλιψη του άνθρακα και υπό αυτές τις συνθήκες, η φυσική και η χημική δομή του μεταβάλλεται. Ένα επιπλέον όφελος της μεθόδου K-Fuel® είναι ότι μπορεί επίσης να απομακρύνει σημαντική ποσότητα υδραργύρου (έως και 80%) καθώς και άλλες προσμίξεις του άνθρακα και ως εκ τούτου μειώνονται οι συνολικές εκπομπές SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, και υδραργύρου των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα.

Μια εμπορική μονάδα K-Fuel® δυναμικότητας 750.000 t/γ κατασκευάστηκε στο Gillette/Wyoming/USA και δοκιμάζεται όσον αφορά τη λειτουργία του από τον Δεκέμβριο του 2005. Με βάση τα δεδομένα λειτουργίας που λήφθηκαν από τη μονάδα, η διαδικασία K-Fuel® επανασχεδιάστηκε το 2008 από την Bechtel Power Corporation. Ο αναβαθμισμένος σχεδιασμός της διαδικασίας K-Fuel® παρουσιάζει σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την ίδια τη διαδικασία, τα οικονομικά μεγέθη και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αποτελεί τώρα την πρότυπη μονάδα της Evergreen για την ανάπτυξη επιχειρηματικών δραστηριοτήτων στις ΗΠΑ και στο εξωτερικό.

Η διαδικασία K-Fuel® είναι ικανή να μειώσει την περιεκτικότητα σε υγρασία των Irc's κατά περισσότερο από 50%. Προϊόντα K-Fuel® από διαφορετική πρώτη ύλη κάρηκαν δοκιμαστικά σε διάφορες μονάδες παραγωγής ενέργειας των ΗΠΑ και τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την βελτιωμένη απόδοση της καύσης και τις μειωμένες εκπομπές ρύπων.

#### 4.8.2. Continuous Hydrothermal Dewatering (CHTD):

Η διαδικασία της συνεχούς υδροθερμικής αφυδάτωσης (CHTD) αναπτύχθηκε από μια αυστραλιανή εταιρεία, την Exergen, και έχει επιτυχώς παρουσιαστεί σε πιλοτική κλίμακα σε αυστραλιανούς άνθρακες αλλά και άλλων χωρών. Η τεχνολογία CHTD βασίζεται κατακόρυφο κλειστό κύκλο που χρησιμοποιεί πίεση λόγω βαρυτικής δύναμης και μια μικρή ποσότητα ενέργειας για να μετασχηματίσει τη μοριακή δομή του λιγνίτη για την απομάκρυνση έως και 80% της περιεκτικότητας του σε υγρασία. Η χρήση της πίεσης οφειλόμενης σε βαρυτικές δυνάμεις και ο σχεδιασμός για τον υψηλό βαθμό ανάκτησης θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη πάνω από 60% μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία για το βικτοριανό λιγνίτη, με χρήση λιγότερου από το 2% της ενέργειας του άνθρακα.

Η αποτελεσματική ανάκτηση θερμότητας και πίεσης που παρέχεται στην διαδικασία επιτυγχάνει την αποκαρβοξυλίωση του λιγνίτη. Λόγω του σχεδιασμού της διάταξης είναι εφικτή η ανάκτηση θερμότητας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%. Στον πολτοποιημένο λιγνίτη εφαρμόζεται πίεση και θερμοκρασία 10 MPa και 300 °C για διάστημα λίγων λεπτών. Η μοριακή δομή του μεταβάλλεται σε αυτές τις συνθήκες και οι πόροι στο εσωτερικό των σωματιδίων καταρρέουν με αποτέλεσμα να μην μπορούν να κρατήσουν πολύ υγρασία. Ο λιγνίτης από υδρόφιλο (προσελκύοντας το νερό) αλλάζει σε υδρόφοβο (αδιαβροχοποίηση έναντι του νερού), επιτρέποντας την ευκολότερη απομάκρυνση του νερού. Ο χημικός μετασχηματισμός του λιγνίτη μειώνει την ικανότητά του να μεταφέρει υγρασία, καθιστώντας επίσης λιγότερο πιθανό να απορροφήσει ατμοσφαιρική υγρασία καθώς το ισοζύγιο της περιεκτικότητας του σε υγρασία του μειώνεται. Η υγρασία αφαιρείται από τον λιγνίτη σε υγρή κατάσταση, παράγοντας άνθρακα με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Επιπλέον, η διαδικασία CHTD συμβάλλει επίσης στην αφαίρεση ορισμένων προσμείξεων από τον λιγνίτη, με αποτέλεσμα άνθρακα με βελτιωμένα χαρακτηριστικά καύσης. Για παράδειγμα, διαλυτές ανόργανες ουσίες διαχωρίζονται από το κάρβουνο με το νερό. Μέχρι και το 60% του νατρίου αφαιρείται, μειώνοντας το κόστος συντήρησης της μονάδας που συνδέεται με τις επικαθίσεις στο λέβητα. Συστατικά της τέφρας με μεγάλη πυκνότητα (όπως ο χαλαζίας) μπορούν να απομακρυνθούν από τον πολτοποιημένο άνθρακα, οδηγώντας σε μειωμένη φθορά του εξοπλισμού της μονάδας. Ως πρόσθετο όφελος, το νερό που εξάγεται από το κάρβουνο μπορεί καλύψει έως και 40% την αναγκαία αναπλήρωση νερού για την ψύξη του σταθμού. Η Exergen ισχυρίζεται ότι η διαδικασία CHTD είναι απλή, συνεχής και μπορεί να αναπτυχθεί εύκολα σε μεγάλη κλίμακα με ρυθμό τροφοδοσίας χιλιάδων τόνων ανά ώρα.

Έχοντας αποδείξει την αποδοτικότητα της διαδικασίας CHTD στην πιλοτική μονάδα δυναμικότητας 4 t/h, η Exergen στοχεύει στην κατασκευή μεγαλύτερης μονάδας με δυναμικότητα έως 50 t/h και έπειτα μια μονάδα δυναμικότητας 4000 t/h δίπλα στο νέο 30 Mt/y λιγνιτωρυχείο στην Latrobe Valley (LV)/Αυστραλία για την αναβάθμιση του λιγνίτη για εξαγωγές [6].

#### 4.8.3. Hot Water Drying (HWD):

Η διαδικασία HWD, αναπτύχθηκε από ερευνητές του Energy and Environmental Research Center (EERC) του Πανεπιστημίου της Βόρειας Ντακότα, χρησιμοποιεί υψηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση για την ξήρανση άνθρακα. Η διαδικασία HWD υποβάλλει τον υγρό άνθρακα σε θερμοκρασίες που ξεκινούν από 240 °C κάτω από την αντίστοιχη πίεση κορεσμένου ατμού για λιγότερο από 10 min. Το CO<sub>2</sub>, το οποίο απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της αποκαρβοξυλίωσης, έχει ως συνέπεια την διόγκωση των μικροπόρων και την απομάκρυνση της υγρασίας από τον άνθρακα. Μη πτητικές πίσσες/έλαια, τα οποία είναι υδρόφοβα, παραμένουν στην επιφάνεια του άνθρακα στο υδατικό περιβάλλον υπό πίεση, παράγοντας μια ομοιόμορφη επίστρωση που σφραγίζει τους μικροπόρους, προλαμβάνοντας την επαν-εισρόφηση υγρασίας. Επειδή η επένδυση διατηρεί τις περισσότερες από τις πτητικές ουσίες του χαμηλής θερμικής αξίας άνθρακα, μπορεί να εξασφαλιστεί υψηλή θερμογόνος ικανότητα και άριστη απόδοση καύσης. Οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι τα κατιόντα αλκαλίων, μια σημαντική πηγή ρυπάνσεως του λέβητα, που συνδέονται με τις καρβοξυλομάδες, απελευθερώνονται στην υδαρή φάση της διαδικασίας και απομακρύνονται κατά τη διάρκεια του τελικού μηχανικού σταδίου αφυδάτωσης.

Η τεχνική βιωσιμότητα της HWD έχει αποδειχτεί σε μια 7.5 t/d πιλοτική μονάδα στο EERC σε δοκιμές με IgC's από όλον τον κόσμο. Το κόστος της διαδικασίας ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα και την προέλευση του άνθρακα [6].

#### 4.8.4. The Catalytic Hydrothermal Reactor Technology (Cat-HTR):

Μια αυστραλιανή εταιρεία, η Ignite Energy Resources Pty Ltd (IER), αναπτύσσει την τεχνολογία καταλυτικού υδροθερμικού αντιδραστήρα που είναι σχεδιασμένος για τη μετατροπή λιγνίτη χαμηλής θερμικής αξίας και βιομάζας σε μη-συμβατικό αργό πετρέλαιο και διάφορα αναβαθμισμένα προϊόντα άνθρακα. Η τεχνολογία Cat-HTR χρησιμοποιεί νερό σε ή κοντά σε υπερκρίσιμες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, σε συνδυασμό με τα συστήματα καταλύτη για τον επιλεκτικό από-πολυμερισμό και από-οξυγόνωση του λιγνίτη και τη μετατροπή του σε διάφορα καύσιμα υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας και υψηλού βαθμού καθαρότητας προϊόντα άνθρακα. Η εταιρεία δεν έχει ανακοινώσει περισσότερες συγκεκριμένες πληροφορίες, ως εκ τούτου, λεπτομέρειες όσον αφορά την τεχνολογία παραμένουν άγνωστες.

Μια πιλοτική μονάδα Cat-HTR με δυναμικότητα 4000 t/y έχει τεθεί σε λειτουργία από τα μέσα του 2008. Με βάση τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής, η IER ισχυρίζεται ότι η τεχνολογία Cat-HTR έχει την ικανότητα να μετατρέπει 1.3 τόνους ακατέργαστου λιγνίτη (υποθέτοντας αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία 50%) σε έως και ένα βαρέλι συνθετικού αργού πετρελαίου και έως 0,34 τόνους υψηλής ποιότητας κονιοποιημένου άνθρακα.

Το 2010, η IER υπέγραψε σύμβαση με την TRUenergy, μια εταιρεία με έδρα την Victoria/Australia, θυγατρική της China Light & Power, για την κατασκευή μιας μονάδας Cat-HTR στο χώρο της TRUenergy στην περιοχή Yallourn για την παροχή αναβαθμισμένων καυσίμων στην υπάρχουσα λιγνιτική μονάδα της TRUenergy [6].

#### 4.9. Αναδυόμενες τεχνολογίες:

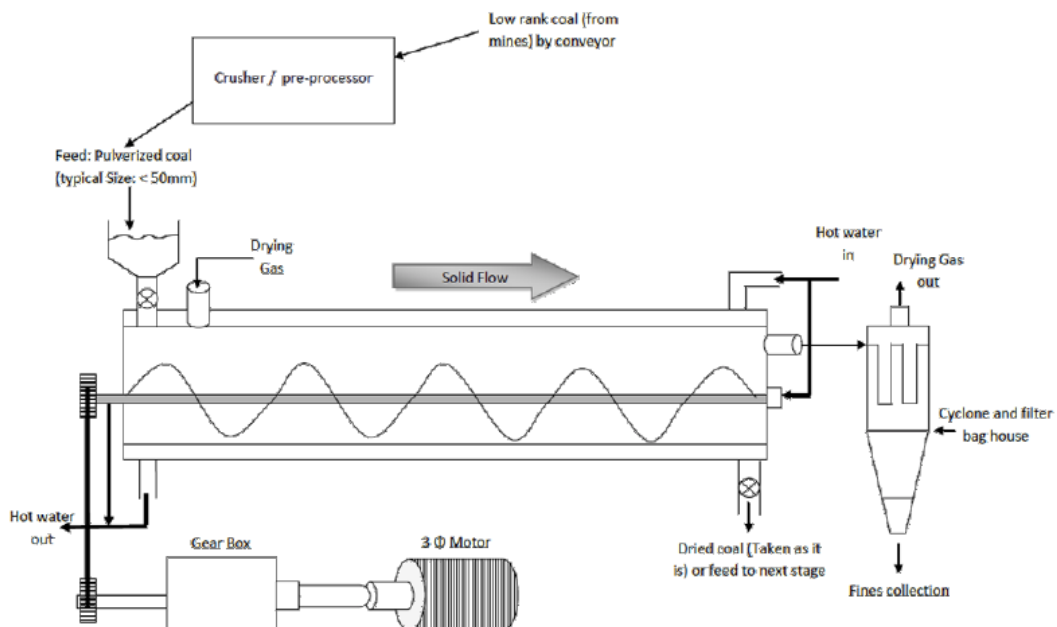
##### 4.9.1. Screw conveyor dryer (SCD):

Ο ξηραντήρας SCD, Εικόνα 4-24, αποτελείται από ένα επενδυμένο μεταφορέα στον οποίο το υλικό θερμαίνεται και ξηραίνεται κατά τη μεταφορά του. Το μέσο θέρμανσης, συνήθως ζεστό νερό, ατμός, ή άλλο ρευστό, ρέει διαμέσου των πτερυγίων και της ατράκτου προσφέροντας μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής για τη μεταφορά θερμότητας.

Μεταξύ των πλεονεκτημάτων του SCD είναι (α) η έμμεση θέρμανση, (β) το μικρό μέγεθος σε σύγκριση με άλλα συστήματα (γ) η υψηλή θερμική απόδοση. Αυτός ο τύπος ξηραντήρα εξασφαλίζει πολύ υψηλό βαθμό μεταφοράς θερμότητας ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με άλλους ξηραντήρες.

Η πιθανότητα πυρκαγιάς, μειώνεται όταν ο SCD χρησιμοποιεί έμμεση θέρμανση. Με χρήση υπέρθερμου ατμού, αζώτου ή κενού για την υγρασία, το σύστημα μπορεί να καταστήσει τη διαδικασία της ξήρανσης 100% ασφαλή.

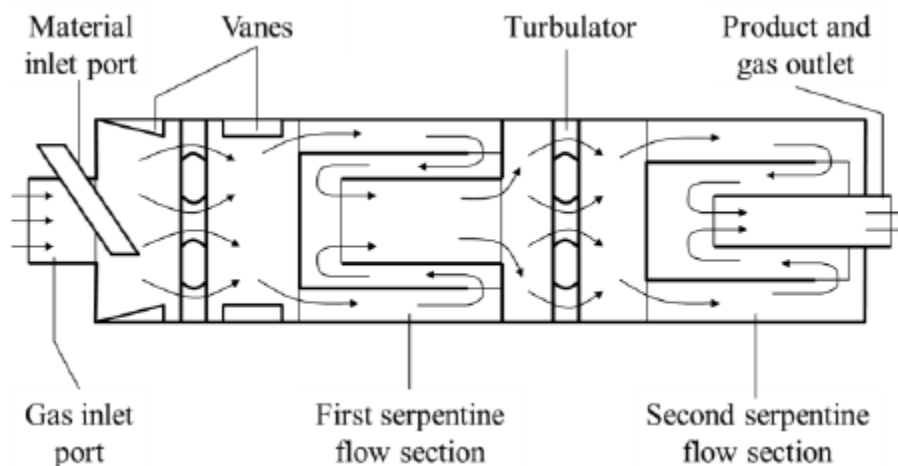
Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εγκατάστασης μονάδας SCD σε ένα σύστημα πολλαπλών βαθμίδων ξήρανσης. Υψηλότερη απόδοση μπορεί να επιτευχθεί όταν η εγκατάσταση βελτιστοποιηθεί μέσω είτε ενός διβάθμιου συστήματος SCD ή έναν SCD και κάποιο άλλο τύπο ξηραντήρα στη συνέχεια, όπως ένα δονούμενο ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης [1].



Εικόνα 4-24: Διάταξη SCD για ξήρανση λιγνίτη [1]

#### 4.9.2. Ξηραντήρες προσπίπτοντος ρεύματος (Impinging stream drying):

Οι ξηραντήρες προσπίπτοντος ρεύματος (ISDs), Εικόνα 4-25, είναι νέες εναλλακτικές λύσεις έναντι των πνευματικών ξηραντήρων για σωματίδια υλικών με πολύ υψηλά φορτία ξήρανσης. Παρ' όλα αυτά, οι μελέτες των ISD δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί ή περιορίζονται σε πολύ λίγες εφαρμογές. Σε αυτού του είδους τους ξηραντήρες η μεγάλη ένταση σύγκρουση αντίθετων ρευμάτων δημιουργεί μια ζώνη που προσφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας, μάζας και ορμής. Ο αέρας ξήρανσης και το υγρό στερεό εισέρχονται ταυτόχρονα από τη θύρα εισόδου του αέρα και την θύρα εισόδου του υλικού, αντίστοιχα. Πτερύγια στην ανάντι περιοχή του περιστρεφόμενου δοχείου διευκολύνουν την ανάμιξη του αέρα και των σωματιδίων προετοιμάζοντας την πνευματική μεταφορά των σωματιδίων διαμέσων του δοχείου. Καθώς το μίγμα αέρα-σωματιδίων ακολουθεί τη ροή του ρεύματος, συναντά δύο τμήματα ξήρανσης, που το καθένα αποτελείται από έναν ανάντι στροβιλιστή και ένα κατάντι τμήμα οφιοειδούς ροής. Η ανάμιξη του μίγματος αέρα-σωματιδίων εντείνεται κατά το πέρασμα του από το τμήμα του στροβιλιστή, αυξάνοντας τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Το τμήμα οφιοειδούς ροής αυξάνει το χρόνο παραμονής των σωματιδίων, διατηρώντας παράλληλα το μέγεθος του ξηραντήρα σχετικά μικρό. Ως εκ τούτου, είναι εφικτή η ταχεία απομάκρυνση της επιφανειακής υγρασίας. Άλλα πλεονεκτήματα των ISDs είναι το μικρότερο μέγεθος και η υψηλή αντοχή λόγω απουσίας κινούμενων μερών, συγκρινόμενοι με άλλα συστήματα. Ωστόσο, ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος είναι καθοριστικός, ειδικότερα: η διάταξη τροφοδοσίας και ο σχεδιασμός των στροβιλιστών επηρεάζουν την τιμή του ογκομετρικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και αυτός με τη σειρά του, το ρυθμό ατμοποίησης της υγρασίας. Πρόσφατες δοκιμές σε πειραματικές διατάξεις επιβεβαίωσαν τα παραπάνω. Όμως εντοπίζονται περιορισμοί: οι διατάξεις που έχουν κατοχυρωθεί ως ευρεσιτεχνίες αφορούν υλικά μικρής πυκνότητας ή που είναι σε μορφή λεπτής σκόνης, για μεγαλύτερα και βαρύτερα στερεά, η απαίτηση υψηλής πτώσης πίεσης αυξάνει το λειτουργικό κόστος. Επιπλέον, τα ρεύματα αερίου υψηλής ταχύτητας συνήθως οδηγούν σε υπερβολική φθορά των σωματιδίων, το οποίο είναι κάθε άλλο από επιθυμητό κατά την ξήρανση λιγνίτη [1,4,5].



Εικόνα 4-25: Ξηραντήρας προσπίπτοντος ρεύματος [5]



#### 4.9.3. Καινοτόμοι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης (Novel fluidized bed dryer):

Οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης παραδοσιακά χρησιμοποιούνται για την ξήρανση άνθρακα με χρήση διάφορων μέσων θέρμανσης, όπως αέρα, καυσαέριο, και υπέρθερμο ατμό. Υπήρξαν πολλές προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης των FBDs για άνθρακα, με την εφαρμογή είτε έμμεσης θέρμανσης στην κλίνη με το στερεό και/ή τη χρήση ατμού υψηλής πίεσης ως μέσο θέρμανσης (περίπτωση ξήρανσης με υπέρθερμο ατμό). Ωστόσο, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων είναι σημαντική παράμετρος, αποφασιστική για την ποιότητα της ρευστοποίησης και τελικά καθορίζει την απόδοση της ρευστοποιημένης κλίνης. Η ρευστοποίηση είναι σημαντική κατά τη διάρκεια της ξήρανσης άνθρακα επειδή τα σωματίδια μπορεί να έχουν πολύ ακανόνιστο σχήμα, το οποίο οδηγεί σε δημιουργία διόδων και κρούσεις με την κλίνη. Η ποιότητα της ρευστοποίησης μπορεί να βελτιωθεί είτε με μηχανικές δονήσεις, με ανάδευση, ή με παλλόμενη ροή του αερίου ρευστοποίησης. Οι δονούμενες κλίνες έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για διαφορετικές εφαρμογές και πρόσφατα οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης με ανάδευση έχουν αναδειχθεί ως καλύτερη επιλογή, διότι παρέχουν καλύτερη απόδοση λόγω της έμμεσης θέρμανσης της κλίνης. Στην περίπτωση των ρευστοποιημένων κλινών με παλλόμενη ροή του αερίου ρευστοποίησης, η ταχύτητα του αερίου πάλλεται με το χρόνο σε τακτικά ή άτακτα διαστήματα. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η παλλόμενη ροή ρευστοποίησης μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα ρευστοποίησης διότι εξαλείφει το πρόβλημα της δημιουργίας διόδων και κρούσεων του στερεού με την κλίνη.

Επίσης έχει αναφερθεί ότι οι ρευστοποιημένες κλίνες με παλλόμενη ροή εξασφαλίζουν μικρότερο μέγεθος φυσαλίδων και καλύτερη επαφή αερίου-σωματιδίου, λόγω της καλύτερης ανάμιξης [1].

#### 4.9.4. Ξηραντήρες υπέρθερμου ατμού:

Οι ξηραντήρες υπέρθερμου ατμού χρησιμοποιούν υπέρθερμο ατμό ως μέσο ξήρανσης, το οποίο τροφοδοτείται απευθείας στον ξηραντήρα και όχι μέσω σωλήνων ή άλλων εναλλακτών θερμότητας, καθιστώντας τους συστήματα άμεσης ξήρανσης. Ο ατμός ατμοποιεί την υγρασία του υλικού χωρίς συμπύκνωση, καθώς παραμένει πάνω από το σημείο κορεσμού, μεταφέροντας μόνο αισθητή θερμότητα.

Μια μεγαλύτερη ποσότητα ατμού σε χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση εξέρχεται από τον ξηραντήρα συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές που εισέρχεται σε αυτό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κλειστός κύκλος υπέρθερμου ατμού στο ξηραντήρα, εφόσον ο ατμός χαμηλής πίεσης από το ξηραντήρα επανακυκλοφορεί αφού αναθερμανθεί. Η θερμότητα της περίσσειας ατμού μπορεί να ανακτηθεί σε μεγάλο βαθμό και να χρησιμοποιηθεί σε άλλες διεργασίες.

Αν και η ιδέα της ξήρανσης με τη χρήση υπέρθερμου ατμού διατυπώθηκε περισσότερο από έναν αιώνα πριν, πρόσφατα σημειώθηκε αυξημένο ενδιαφέρον για ξήρανση με υπέρθερμο ατμό (SSD). Η SSD εμφανίζει πολλαπλά οφέλη, στα οποία συγκαταλέγονται, (α) η μείωση του κινδύνου αυτανάφλεξης, (β) η αύξηση του

ρυθμού ξήρανσης, (γ) η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η βελτίωση της ευθραυστότητας του υλικού. Ο Πίνακας 4-2 παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα αλλά και τους περιορισμούς των συστημάτων ξήρανσης με υπέρθερμο ατμό [1].

Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Εύκολη ανάκτηση ενέργειας υψηλής θερμοκρασίας μέσω συμπύκνωσης ατμού. Έτσι μειώνεται το λειτουργικό κόστος λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας</li> <li>-Οι ρυπαντές εμφανίζονται κυρίως στο συμπύκνωμα όπου και είναι εύκολο να απομακρυνθούν, έτσι δεν χρειάζεται ακριβός εξοπλισμός όπως: μετάκαυση, λουτρά ή φίλτρα. Μειώνεται το κόστος εγκατάστασης</li> <li>-Υψηλοί ρυθμοί ξήρανσης λόγω της υψηλής θερμοχωρητικότητας του ατμού και των υψηλών θερμοκρασιών ξήρανσης. Ο μειωμένος χρόνος παραμονής επιτρέπει μικρότερο μέγεθος εγκατάστασης, μειώνοντας το κόστος κατασκευής</li> <li>-Διαλύτες και πτητικά εύκολα ανακτώνται από το συμπύκνωμα με διαχωρισμό ή διύλιση</li> <li>-Οι κίνδυνοι έκρηξης και πυρκαγιάς εξαλείφονται λόγω της απουσίας αέρα, επιτρέποντας την αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης εάν χρειάζεται</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ανάγκη για απολύτως στεγανό σύστημα για την αποφυγή των διαρροών του ατμού υψηλής πίεσης και την εισχώρηση αέρα. Αυξάνει το αρχικό κόστος</li> <li>-Ανάγκη για ανοξείδωτα εξαρτήματα για την αποφυγή διάβρωσης καθώς η συμπύκνωση στην έναρξη και στο «σβήσιμο» δεν μπορεί να αποφευχθεί. Αυξάνει το αρχικό κόστος</li> <li>-Υψηλότερες θερμοκρασίες λιγνίτη συνδυασμένες με ξήρανση θερμού αέρα. Πολύ υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητη τήξη, σβόλιασμα και κολλώδη περιοχές</li> <li>-Συμπύκνωση του εισερχόμενου υλικού προκαλεί άμεση θέρμανση αλλά και προσωρινή υγροποίηση</li> <li>-Απαιτείται καθαρισμός των εναλλακτών θερμότητας λόγω επικαθίσεων κατά τη συμπύκνωση του ατμού</li> </ul>

**Πίνακας 4-1: Πλεονεκτήματα και περιορισμοί ξηραντήρων υπέρθερμου ατμού**

Οι SSD απαιτούν λιγότερη ενέργεια από ό,τι οι ξηραντήρες θερμού αερίου, διότι δεν χρειάζεται να παρέχουν στην υγρασία του άνθρακα λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης. Επειδή ο κίνδυνος πυρκαγιάς συνδέεται με την αυτανάφλεξη του άνθρακα, αυτός ο κίνδυνος εξαλείφεται εντελώς στην περίπτωση των SSD, ενώ η επιθυμητή τελική περιεκτικότητα υγρασίας μπορεί επίσης να επιτευχθεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με τη χρήση ατμού υψηλότερης θερμοκρασίας.

Γενικά, οποιοσδήποτε ξηραντήρας συναγωγής μπορεί να μετατραπεί σε SSD. Επομένως, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί υπέρθερμος ατμός σε συνδυασμό με πνευματικούς ξηραντήρες, ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης, ξηραντήρες ψεκασμού (spray dryers), ξηραντήρες προσπίπτοντος ρεύματος, και περιστρεφόμενους ξηραντήρες [4].

#### 4.10. Συμπεράσματα-Συνοπτική σύγκριση:

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι δεν υφίσταται κάποιο σύστημα ξήρανσης το οποίο παρουσιάζει βέλτιστη λειτουργία και δεν επηρεάζεται από άλλες παραμέτρους.

Τέτοιες παράμετροι είναι ο σκοπός της ξήρανσης, δηλαδή για ποια χρήση προορίζεται το προϊόν της ξήρανσης (μεταφορά, αποθήκευση ή καύση), την σύσταση του ακατέργαστου λιγνίτη καθώς και τη μορφή στην οποία βρίσκεται (εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας), καθώς και την επιθυμητή μορφή του ξηρού προϊόντος (εξαρτάται από την χρήση για την οποία προορίζεται). Καθοριστική παράμετρος για την επιλογή του καταλληλότερου/αποδοτικότερου συστήματος ξήρανσης είναι το διαθέσιμο ή παραγόμενο μέσο θέρμανσης/ξήρανσης και τα χαρακτηριστικά του. Επίσης, η ανάγκη ή όχι για ανάκτηση θερμότητας μπορεί να αποτελεί παράμετρο επιλογής.

Ο Πίνακας 4-2 παρουσιάζει βασικά πλεονεκτήματα και περιορισμούς για τα συστήματα ξήρανσης που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες παραγράφους.

Τύπος ξηραντήρα	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Περιστροφικός ξηραντήρας	Ξήρανση με διάσπαση, εσωτερική θέρμανση με θερμαντικά στοιχεία, μέσο ξήρανσης καυσαέρια χαμηλά σε O <sub>2</sub> για εξάλειψη κινδύνου πυρκαγιάς	Αυξημένες ανάγκες συντήρησης
Περιστροφικός ξηραντήρας με αυλούς	Έμμεση θέρμανση, χωρίς κίνδυνο πυρκαγιάς, ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης	Εντάσεως κεφαλαίου
FBD	Εντατική ξήρανση λόγω καλής ανάμιξης	Σημαντική πτώση πίεσης, φθορά
Spouted BD	Υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας και μάζας	Μέγεθος μονάδας και σωματιδίων
Screw conveyor dryers	Δυνατότητα έμμεσης θέρμανσης (μειωμένος κίνδυνος πυρκαγιάς), μικρό μέγεθος, υψηλή απόδοση	Φθορά κινούμενων μερών – αυξημένες ανάγκες συντήρησης
Ξήρανση με μικροκύματα	Μεγάλοι ρυθμοί ξήρανσης, μείωση προσμίξεων-ρυπαντών	Επικίνδυνα σημεία λόγω της ύπαρξης προσμίξεων, κίνδυνος πυρκαγιάς λόγω διηλεκτρικών απωλειών, υψηλό κόστος για μεγάλες παροχές
Impinging steam dryers	Άμεση θέρμανση, ικανοποιητικός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας και μάζας, μικρό μέγεθος, απουσία κινούμενων μερών	Περιορισμοί όσον αφορά τη διαχείριση μεγάλων παροχών και τις ταχύτητες που χρησιμοποιούνται
Ξηραντήρες υπέρθερμου ατμού	Υψηλή θερμική απόδοση, μηδενικός κίνδυνος πυρκαγιάς ή έκρηξης, ενεργειακά αποδοτικοί	Κατάλληλοι για συνεχή λειτουργία με μεγάλες παροχές, απαραίτητη η ανάκτηση θερμότητας

Πίνακας 4-2: Συνοπτική σύγκριση τύπων ξηραντήρων [4]

## 5. Υπολογιστικό μέρος:

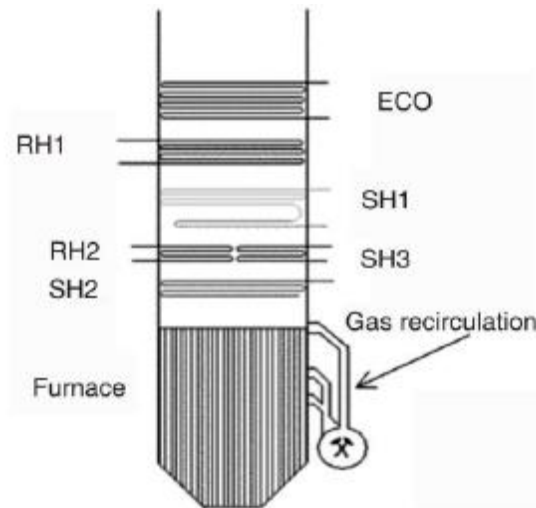
Γίνεται αντιληπτό ότι η κάθε τεχνολογία ξήρανσης παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα όπως και αδυναμίες. Επίσης όπως είναι λογικό η απόδοση καθώς και το λειτουργικό κόστος κάθε τεχνολογίας εξαρτάται από την ποιότητα-σύσταση του λιγνίτη, ενώ βασικό ρόλο στην όλη διαδικασία διαδραματίζει η ίδια η μονάδα η οποία θα τροφοδοτείται από την μονάδα προ-ξήρανσης (θερμοκρασίες και πιέσεις λειτουργίας, χαρακτηριστικά συστήματος ψύξης, σύστημα καύσης κ.λπ.). Στη συνέχεια μοντελοποιούνται τεχνολογίες για τις οποίες επαρκούν τα διαθέσιμα στοιχεία λειτουργίας και προορίζονται για προ-ξήρανση λιγνίτη με σκοπό την καύση του σε ατμοηλεκτρική μονάδα χωρίς να απαιτείται υπερβολικά μεγάλο εύρος μετατροπών στην κύρια μονάδα. Επίσης κάποιες τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελούν παραλλαγές άλλων, και οι παράμετροι λειτουργίας τους που μεταβάλλονται δεν λαμβάνονται υπ' όψη στην ακολουθούμενη μέθοδο. Για παράδειγμα, οι παραλλαγές ρευστοποιημένης κλίνης που βελτιώνουν την ποιότητα ρευστοποίησης.

Μοντελοποιώντας τις τεχνολογίες προ-ξήρανσης ενσωματωμένες σε υφιστάμενη μονάδα (ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, Μονάδα V) εγκατεστημένης ισχύος 339 MW<sub>e</sub> γίνεται προσπάθεια να ποσοτικοποιηθούν τα εκάστοτε πλεονεκτήματα, ώστε να επιτραπεί πιο άμεσα η σύγκριση τους. Οι τεχνολογίες αυτές είναι: η υφιστάμενη τεχνολογία ξήρανσης με ανακυκλοφορία καυσαερίου και ξήρανση-κονιοποίηση σε μύλους-σπαστήρες η οποία λαμβάνεται ως περίπτωση αναφοράς, η τεχνολογία WTA, η ΜΤΕ, η Coldry, ο περιστρεφόμενος ξηραντήρας, και η τεχνολογία Drycol.

Ο θερμικός κύκλος της μονάδας του ΑΗΣ μαζί με τη μονάδα προ-ξήρανσης στη συνέχεια προσομοιώνεται με τη χρήση εμπορικού λογισμικού [14].

### 5.1. Περιγραφή της εγκατάστασης:

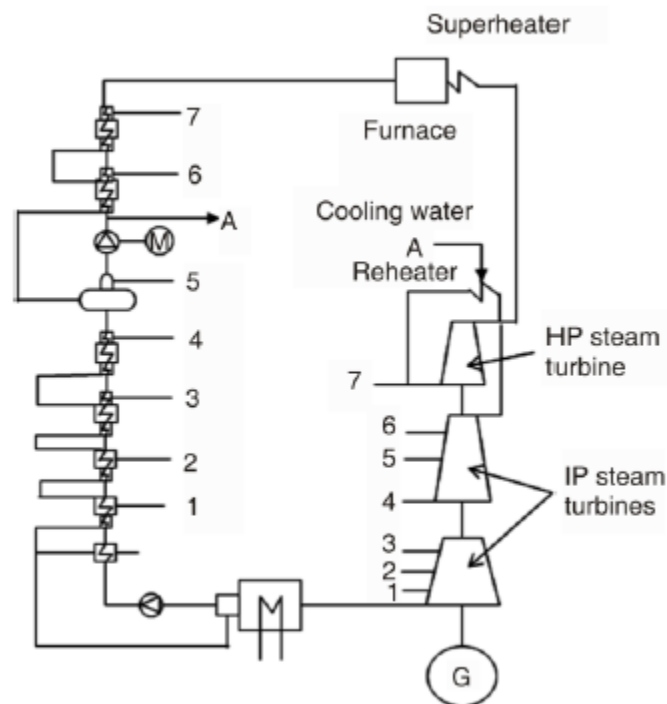
Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι μία μονάδα με λέβητα που αποτελείται από την εστία όπου το κονιοποιημένο καύσιμο καίγεται και το τροφοδοτικό νερό ατμοποιείται, και έξι ακόμη εναλλάκτες θερμότητας καυσαερίου-νερού/ατμού, σχηματίζοντας τις επιφάνειες συναλλαγής του οικονομητήρα (ECO), του υπερθερμαντήρα (SH) και του αναθερμαντήρα (RH). Ο υπερθερμαντήρας αποτελείται από τρία μέρη, ενώ ο αναθερμαντήρας από δύο και ο οικονομητήρας από ένα [14]. Το στήσιμο της εγκατάστασης και η σειρά των επιφανειών συναλλαγής των εναλλακτών θερμότητας μετά την εστία, ακολουθώντας τη ροή των καυσαερίων είναι όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5-1:



**Εικόνα 5-1: Οι επιφάνειες συναλλαγής του λέβητα της μονάδας V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου [14]**

Τα τελευταία μέρη του υπερθερμαντήρα και του αναθερμαντήρα (SH3 και RH2) είναι μαζί στην ίδια θερμοκρασιακή περιοχή (ίδιο ύψος). Υπάρχει επίσης ανακυκλοφορία θερμών καυσαερίων για την ξήρανση του ακατέργαστου λιγνίτη.

Η μονάδα περιλαμβάνει επίσης τρεις ατμοστρόβιλους (έναν υψηλής [HP] και 2 ενδιάμεσης πίεσης [IP]) και 7 προθερμαντήρες του τροφοδοτικού νερού. Δύο ρεύματα νερού κατάντι των προθερμαντήρων χρησιμοποιούνται ως νερό ψεκασμού ψύξης μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του υπερθερμαντήρα και άλλο ένα για τον αναθερμαντήρα. Όσον αφορά τη ροή του εργαζόμενου μέσου ως προς το καυσαέριο, ο SH2 και το ζεύγος RH2-SH3 είναι ενναλλάκτες ομορροής ενώ όλοι οι υπόλοιποι είναι αντιρροής. Ο πλήρης κύκλος του νερού/ατμού με όλες τις βοηθητικές μονάδες φαίνεται στην Εικόνα 5-2.



**Εικόνα 5-2: Ο κύκλος νερού-ατμού [14]**

Το καύσιμο που χρησιμοποιείται ως περίπτωση αναφοράς είναι λιγνίτης με 54% περιεκτικότητα σε υγρασία. Ένα ορισμένο ποσοστό του καυσίμου ξηραίνεται έως ένα σημείο ανάλογα την τεχνολογία ξήρανσης και ένα μέρος, της τάξης του 30%, της θερμικής ισχύος υποκαθίσταται από ξηρό λιγνίτη.

Το μίγμα υγρού και ξηρού λιγνίτη θεωρείται ως ισοδύναμο καύσιμο, διότι το πρόγραμμα IPSEpro δεν δίνει την δυνατότητα ύπαρξης περισσότερων του ενός ρευμάτων καυσίμου.

## 5.2. Διαδικασία μοντελοποίησης:

### 5.2.1. Υπολογισμός του καυσίμου:

Η μοντελοποίηση πραγματοποιείται με βάση το εξής σενάριο: το 30% της συνολικής θερμικής ισχύος που προσδίδεται στο λέβητα προέρχεται από καύση ξηρού λιγνίτη. Εφόσον, δηλαδή, η συνολική θερμική ισχύς του καυσίμου:  $\dot{m}_{B1} * Hu = \dot{Q}_B \rightarrow 167.5 \text{ kg/s} * 5471.8659 \text{ KJ/kg} = 916537.5423 \text{ KW}_{th}$  τότε το 30 % αυτής:  $0.3 * \dot{m}_{B1} * Hu = 274961.2627 \text{ KW}_{th}$  θα προέρχεται από καύση ξηρού καυσίμου. Η απαιτούμενη παροχή ξηρού καυσίμου [ $\dot{m}_{B,d}$ ] για την ενεργειακή κάλυψη του 30 % της θερμικής ισχύος του καυσίμου υπολογίζεται αντίστοιχα:  $\dot{m}_{B,d} = \frac{0.3 * \dot{m}_B * Hu}{Hu_d}$ .

Επίσης πρέπει να υπολογιστεί η παροχή καυσίμου αναφοράς που αντικαθίσταται με ξηρό λιγνίτη:  $\dot{m}_{B,avoid} = 0.3 * \dot{m}_B$ .

Οι τιμές της κατώτερης θερμογόνου ικανότητας μπορούν να υπολογιστούν είτε από τον τύπο  $Hu = 34834 * c + 93868 * h + 10132 * s + 5945 * n - 10802 * O_2 - 2449 * w \text{ [KJ/kg]}$  (σελ.118 [16]) όπου c, h, s, n, O<sub>2</sub>, w είναι η περιεκτικότητα (kg/kg) του καυσίμου σε C, H<sub>2</sub>, S, N, O<sub>2</sub>, και υγρασία, είτε από το ίδιο το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση (IPSE PRO). Οι τιμές που δίνουν η εξίσωση και το πρόγραμμα παρουσιάζουν μια διαφορά όχι μεγαλύτερη από 10 KJ/kg. Σε όλους τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι τιμές που δίνονται από το λογισμικό μοντελοποίησης.

Εφόσον υπολογίστηκε η παροχή του ξηρού καυσίμου καθώς και η παροχή του καυσίμου που αντικαθίσταται, μπορεί να βρεθεί η συνολική παροχή του μικτού καυσίμου, η οποία σε κάθε περίπτωση θα είναι μικρότερη της αρχικής. Επίσης υπολογίζεται ο λόγος, έστω β, της αρχικής παροχής καυσίμου προς την συνολική παροχή μικτού καυσίμου [ $\dot{m}_B / \dot{m}'_B$ ], ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της σύστασης του μικτού καυσίμου:  $c' = \frac{(100-\beta) * c_{ref} + \beta * c_d}{100}$ , όπου c<sub>d</sub> η περιεκτικότητα του ξηρού καυσίμου:  $c_d = \frac{100-w_d}{100-w_{ref}} * c_{ref}$ , ώστε να δοθεί στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια υπολογίζονται η παροχή μικτού καυσίμου  $\dot{m}'_{B1} = (\dot{m}_{B,ref} - \dot{m}_{B,avoid} + \dot{m}_{B,d}) * 3600 \text{ [kg/h]}$  Η περιεκτικότητα του ξηρού καυσίμου για κάθε τεχνολογία ξήρανσης περιέχεται στον Πίνακα 5-1, ενώ ο Πίνακας 5-2 συγκεντρώνει την σύσταση, κατώτερη θερμογόνο ικανότητα (Hu) και παροχή μάζας μικτού καυσίμου για κάθε

τεχνολογία προ-ξήρασης που μοντελοποιείται. Για αυτό τον τρόπο υπολογισμού είναι απαραίτητη η περιεκτικότητα σε υγρασία του τελικού προϊόντος της ξήρασης και η οποία λαμβάνεται για την εκάστοτε τεχνολογία από την αντίστοιχη βιβλιογραφία. Όπως είναι φανερό σε όλες τις σχέσεις οι περιεκτικότητες είναι επί τις εκατό. Τέλος σημειώνεται ότι ο βαθμός απόδοσης της εστίας είναι σταθερός σε κάθε περίπτωση και ίσος με 98 %.

Fuel ultimate analysis %	Reference fuel	WTA	COLDRY	Tubular dryer	MTE	DRYCOL
C	18.000	34.435	33.652	34.435	30.522	34.701
H	1.450	2.774	2.711	2.774	2.459	2.795
N	0.500	0.957	0.935	0.957	0.848	0.964
O	8.500	16.261	15.891	16.261	14.413	16.387
S	0.440	0.842	0.823	0.842	0.746	0.848
Ash	14.600	27.930	27.296	27.930	24.757	28.146
Water	<b>54.000</b>	<b>12.000</b>	<b>14.000</b>	<b>12.000</b>	<b>22.000</b>	<b>11.320</b>
CO <sub>2</sub>	2.510	4.802	4.693	4.802	4.256	4.839
Sum	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Hu [KJ/kg] IPSEPRO	5471.866	12698.127	12354.010	12698.127	10977.581	12815.113
Hu [KJ/kg] CALC	5464.882	12690.600	12346.518	12690.600	10970.191	12807.588

Πίνακας 5-1: Σύνθεση ξηρού προϊόντος κάθε τεχνολογίας ξήρασης

Ισοδύναμο καύσιμο στις περιπτώσεις θερμικής υποκατάστασης						
Fuel ultimate analysis %	Reference fuel	WTA	COLDRY	Tubular dryer	MTE	DRYCOL
C	18.000	20.562	20.497	20.562	20.204	20.583
H	1.450	1.656	1.651	1.656	1.628	1.658
N	0.500	0.571	0.569	0.571	0.561	0.572
O	8.500	9.710	9.679	9.710	9.541	9.720
S	0.440	0.503	0.501	0.503	0.494	0.503
Ash	14.600	16.678	16.625	16.678	16.388	16.695
Water	<b>54.000</b>	<b>47.453</b>	<b>47.618</b>	<b>47.453</b>	<b>48.367</b>	<b>47.398</b>
CO <sub>2</sub>	2.510	2.867	2.858	2.867	2.817	2.870
Sum	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Hu [KJ/kg] IPSEPRO	5471.866	6598.370	6569.843	6598.370	6440.994	6607.771
Hu [KJ/kg] CALC	5464.882	6591.298	6562.774	6591.298	6433.939	6600.703
$\dot{m}_{B1}$ [kg/s]	167.500	138.904	139.507	138.904	142.298	138.706
$\dot{m}_{B1}$ [kg/h]	603000.000	500053.269	502224.634	500053.269	512271.096	499341.653

Πίνακας 5-2: Σύνθεση μικτού καυσίμου σε κάθε περίπτωση για 30 % ενεργειακή υποκατάσταση

### 5.2.2. Υπολογισμός αέρα καύσης:

Κάθε τεχνολογία προ-ξήρανσης εξετάζεται υπό δύο διαφορετικά σενάρια που αφορούν την παροχή μάζας αέρα καύσης: την περίπτωση που λαμβάνεται σταθερός λόγος αέρα καύσης ( $\lambda=1.2$ ) και την περίπτωση όπου διατηρείται σταθερή η παροχή μάζας ( $\dot{m}_L = 448.60 \text{ kg/s}$ ) και μεταβάλλεται ο λόγος αέρα.

#### 5.2.2.1. Περίπτωση σταθερού λόγου αέρα:

Η απαιτούμενη παροχή αέρα καύσης [ $\dot{m}_L$ ] υπολογίζεται με χρήση των παρακάτω σχέσεων (σελ.89-91 [16]):

$$\mu_{LOT} = (11.480 * c + 34.194 * h + 4.300 * s - 4.308 * O_2)/100 \text{ [kg/kg]}$$

$\mu_L = (\mu_{LOT} * X_{H_2O}) * \lambda \text{ [kg/kg]}$  όπου  $\lambda=1.2$  λόγος περίσσειας αέρα καύσης σταθερός και  $X_{H_2O} = 0.01 \text{ [w/w]}$  η υγρασία του αέρα.

$$\text{Τελικά, } \dot{m}_L = \mu_L * \dot{m}_{B1} \text{ [kg/h].}$$

#### 5.2.2.2. Περίπτωση σταθερής παροχής μάζας αέρα καύσης:

Σε αυτήν την περίπτωση η τιμή της παροχής μάζας αέρα διατηρείται σταθερή και το λογισμικό υπολογίζει τον εκάστοτε λόγο περίσσειας αέρα στην εστία, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις.

Ο Πίνακας 5-3 συγκεντρώνει τις συνθήκες και τις παροχές μάζας αέρα καύσης για κάθε περίπτωση και κάθε σύστημα ξήρανσης.

Η θερμοκρασία εισόδου του αέρα καύσης στον θάλαμο καύσης μειώνεται καθώς μειώνεται η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από το λέβητα, επηρεάζοντας την προ-θέρμανση του αέρα στο LUVO.



<b>Συνθήκες αέρα</b>		
Θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_a$ [°C]		10
Κατά μάζα περιεκτικότητα αέρα σε οξυγόνο $O_2$ [kg/kg]		0.2321
Κατά μάζα περιεκτικότητα αέρα σε υγρασία $X_w$ [kg/kg ξ.α.]		0.01
<b>Περίπτωση σταθερού λόγου αέρα καύσης</b>		
Λόγος αέρα καύσης, $\lambda$		1.2008
Παροχή μάζας αέρα καύσης [kg/s] σε κάθε τεχνολογία προ-ξήρανσης	Περίπτωση αναφοράς	448.600
	WTA	424.958
	COLDRY	425.456
	Tubular dryer	424.958
	MTE	427.839
	DRYCOL	424.790
<b>Περίπτωση σταθερής παροχής αέρα</b>		
Συνολική παροχή μάζας αέρα [kg/s]		448.600
Παροχή μάζας αέρα που προστίθεται στο ρεύμα ανακυκλοφορίας (πρωτεύων αέρας) [kg/s]		77.500
Λόγος αέρα καύσης σε κάθε περίπτωση τεχνολογία προ-ξήρανσης	Περίπτωση αναφοράς	1.2008
	WTA	1.2668
	COLDRY	1.2653
	Tubular dryer	1.2668
	MTE	1.2585
	DRYCOL	1.2672

Πίνακας 5-3: Συνθήκες αέρα

### 5.2.3. Παράμετροι εργαζόμενου μέσου (νερό/ατμός):

Παράμετροι μοντελοποίησης είναι επίσης οι συνθήκες του εργαζόμενου μέσου (νερό/ατμός). Στις περιπτώσεις καύσης μικτού καυσίμου η παροχή μάζας του νερού ψύξης ρυθμίζεται ώστε να περιοριστεί η θερμοκρασία εξόδου του υπέρθερμου ατμού κάτω από το όριο, το οποίο είναι οι 540 °C για τον υπερθερμαντήρα (SH3) και τον αναθερμαντήρα (RH2) και 520 °C για το ενδιάμεσο τμήμα του υπερθερμαντήρα (SH2). Η παροχή μάζας (249.87 kg/s), και η πίεση εισόδου (233.3 bar) του τροφοδοτικού νερού στον οικονομητήρα (ECO) επίσης διατηρούνται σταθερές σε κάθε περίπτωση, καθώς και οι συνθήκες εισόδου (θερμοκρασία και πίεση) του ατμού του αναθερμαντήρα (RH1), Πίνακας 5-4.

Σταθερές συνθήκες νερού-ατμού	
Πίεση εισόδου στον Α/Π [bar]	233.3
Θερμοκρασία εισόδου στην αναθέρμανση [° C]	287.7
Πίεση εισόδου στην αναθέρμανση [bar]	34.2
Παροχή μάζας στον ECO, ΕΣΤΙΑ & SH1 [kg/s]	249.87
Θερμοκρασία εξόδου υπέρθερμου ατμού (στην έξοδο του SH3) [° C]	540
Θερμοκρασία ενδιάμεσης υπερθέρμανσης (στην έξοδο του SH2) [° C]	520
Θερμοκρασία εξόδου ανάθερμου ατμού (στην έξοδο του RH2) [° C]	540

Πίνακας 5-4: Σταθερές συνθήκες νερού-ατμού

Οι παροχές μάζας ατμού των απομαστεύσεων από τους ατμοστρόβιλους IP (1-7) θεωρούνται σταθερές εκτός από τις περιπτώσεις που τροφοδοτείται η ξήρανση.

Με βάση τα δεδομένα της εγκατάστασης στην περίπτωση αναφοράς υπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας για κάθε εναλλάκτη. Οι συγκεκριμένοι συντελεστές λαμβάνονται ως σταθεροί για όλες τις περιπτώσεις καύσης μικτού καυσίμου. Σε αυτό το μοντέλο, η παροχή μάζας του τροφοδοτικού νερού τροφοδοσίας που εισέρχεται στο λέβητα (είσοδος του οικονομητήρα) θεωρείται επίσης σταθερή, ενώ η παροχή μάζας του νερού ψύξης ρυθμίζεται ανάλογα με τις ανάγκες, προκειμένου η θερμοκρασία των υπερθερμαντήρων και του αναθερμαντήρα να διατηρηθεί κάτω από το ίδιο ανώτατο όριο σε κάθε περίπτωση (540 °C) και συνεπώς η παροχή του τροφοδοτικού νερού μέσω της αντλίας ρυθμίζεται επίσης. Η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο λέβητα είναι επίσης διαφορετική σε κάθε περίπτωση και καθορίζεται από τους προηγούμενους προθερμαντήρες.

#### 5.2.4. Υπολογισμοί ξήρανσης:

Χρησιμοποιώντας τη σχέση (σελ.190,[16])  $N = \frac{1-w_{ref}}{1-w_d}$  kg νερού/kg καυσίμου αναφοράς και γνωρίζοντας την ποσότητα ξηρού καυσίμου που απομένει κατόπιν της ξήρανσης  $[\dot{m}_{B,d}] = (1 - N) * \dot{m}_{B,ar}$  υπολογίζουμε την παροχή καυσίμου αναφοράς που απαιτείται για την απαιτούμενη παροχή ξηρού προϊόντος  $[\dot{m}_{B,ar}]$ . Επιλύοντας την  $\dot{m}_w = N * \dot{m}_{B,ar}$  παίρνουμε την παροχή του νερού που αφαιρείται από το λιγνίτη.

Η ηλεκτρική ιδιοκατανάλωση κάθε διαδικασίας λαμβάνεται από τη βιβλιογραφία είτε ως ειδική κατανάλωση είτε υπολογίζοντας την ισχύ βοηθητικών συστημάτων που περιλαμβάνονται στο σύστημα ξήρανσης.

Για το σύστημα ξήρανσης WTA εκτιμάται ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 15-20 kWh/dry t [4].

Για το σύστημα ξήρανσης Coldry υπολογίζεται ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 44.45-66.67 kWh/dry t [19].

Για το σύστημα περιστρεφόμενου ξηραντήρα εκτιμάται 8-14 kWh/dry t [4]. Στις περιπτώσεις των WTA, Coldry και περιστρεφόμενου ξηραντήρα λαμβάνονται οι μέσες τιμές, 17, 55.56 και 11 kWh/dry t αντίστοιχα.

Αναφορικά με το σύστημα ξήρανσης MTE δεν βρέθηκαν αναφορές για την κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος.

Τέλος, για το σύστημα ξήρανσης Drycol υπολογίζεται ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 122.756 kWh/dry t.

Η ιδιοκατανάλωση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = \text{specific electrical consumption} \left[ \frac{KWh}{dry t} \right] * \dot{m}_{B,d} \left[ \frac{t}{h} \right]$$

Συνθήκες ξήρανσης		
WTA	Ποσότητα νερού ανά kg καυσίμου, N	0.477
	Παροχή μάζας καυσίμου προς ξήρανση [kg/s]	41.424
	Παροχή μάζας απομακρυνόμενης υγρασίας από το λιγνίτη [kg/s]	19.771
	Κατανάλωση θερμότητας [KW <sub>th</sub> ]	53795.90
	Ιδιοκατανάλωση ξήρανσης [KW <sub>e</sub> ]	1325
COLDRY	Ποσότητα νερού ανά kg καυσίμου, N	0.465
	Παροχή μάζας καυσίμου προς ξήρανση [kg/s]	41.611
	Παροχή μάζας απομακρυνόμενης υγρασίας από το λιγνίτη [kg/s]	19.354
	Κατανάλωση θερμότητας* [KW <sub>th</sub> ]	21637.95
	Ιδιοκατανάλωση ξήρανσης [KW <sub>e</sub> ]	4451.7
Tubular Dryer	Ποσότητα νερού ανά kg καυσίμου, N	0.477
	Παροχή μάζας καυσίμου προς ξήρανση [kg/s]	41.424
	Παροχή μάζας απομακρυνόμενης υγρασίας από το λιγνίτη [kg/s]	19.771
	Κατανάλωση θερμότητας [KW <sub>th</sub> ]	54170.06
	Ιδιοκατανάλωση ξήρανσης [KW <sub>e</sub> ]	857
MTE	Ποσότητα νερού ανά kg καυσίμου, N	0.410
	Παροχή μάζας καυσίμου προς ξήρανση [kg/s]	42.472
	Παροχή μάζας απομακρυνόμενης υγρασίας από το λιγνίτη [kg/s]	17.424
	Κατανάλωση θερμότητας [KW <sub>th</sub> ]	9921.09
	Ιδιοκατανάλωση ξήρανσης [KW <sub>e</sub> ]	N/A
DRYCOL	Ποσότητα νερού ανά kg καυσίμου, N	0.481
	Παροχή μάζας καυσίμου προς ξήρανση [kg/s]	41.363
	Παροχή μάζας απομακρυνόμενης υγρασίας από το λιγνίτη [kg/s]	19.907
	Κατανάλωση θερμότητας [KW <sub>th</sub> ]	0
	Ιδιοκατανάλωση ξήρανσης [KW <sub>e</sub> ]	9481.9

Πίνακας 5-4: Συνθήκες ξήρανσης

\* Το σύστημα ξήρανσης Coldry χρησιμοποιεί απορριπτόμενη θερμότητα του ΑΗΣ για τις θερμικές ανάγκες της ξήρανσης.

### 5.2.5. Λοιποί υπολογισμοί:

Συνολικός βαθμός απόδοσης:  $\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{m}_B * H_u}$  % , όπου  $P_{el}$  [ $MW_{el}$ ] η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς.

Βαθμός απόδοσης λέβητα:  $\eta_B = \frac{\dot{Q}_{\omega\phi}}{\dot{m}_B * H_u}$  % .

Ωφέλιμη θερμική ισχύς:  $\dot{Q}_{\omega\phi} = \dot{m}_G * (h_{G_{max}} - h_{G_{BOILER}}^{OUT}) [MW]$  , όπου  $\dot{m}_G$  η κύρια παροχή μάζας καυσαερίων προς εναλλάκτες,  $h_{G_{max}}$  [ $\frac{KJ}{kg}$ ] η αδιαβατική ενθαλπία καύσης αλλιώς η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του θαλάμου καύσης, και  $h_{G_{BOILER}}^{OUT}$  [ $\frac{KJ}{kg}$ ] η ενθαλπία των καυσαερίων στην έξοδο του λέβητα.

Ειδικές εκπομπές CO<sub>2</sub>:  $\varepsilon_{CO_2} = \frac{\dot{m}_B * \mu_{CO_2} * 3.6}{P_{el}} [\frac{t_{CO_2}}{MWh_{el}}]$  , όπου  $\mu_{CO_2}$  [ $\frac{kg_{CO_2}}{kg_{fuel}}$ ] το παραγόμενο CO<sub>2</sub> ανά kg καυσίμου.

Ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub>:  $\frac{\dot{m}_B * \mu_{CO_2} * 7500h * 3600}{1000} [\frac{Kt_{CO_2}}{a}]$  , λαμβάνεται ότι η μονάδα V λειτουργεί κατά τις 7500 ώρες του έτους.

Κόστος ηλεκτροπαραγωγής:  $COE = \frac{1}{\eta_{el}} * e_f + \varepsilon_{CO_2} * e_{CO_2} + a [\frac{\text{€}}{MWh}]$  , όπου  $e_f = 2.5 \text{ €/GJ}_{th}$  το κόστος καυσίμου,  $e_{CO_2} = 5.5 \text{ €/t}_{CO_2}$  τα δικαιώματα εκπομπών CO<sub>2</sub> , και  $a = 2.0 \text{ €/MWh}_{el}$  τα λοιπά κόστη (κυρίως λειτουργικό κόστος) [17].

Κόστος καυσίμου ανά  $MWh_{el}$ :  $\frac{\dot{m}_B [\frac{t}{h}] * e_f [\frac{\text{€}}{GJ_{th}}] * H_u [\frac{GJ_{th}}{t}]}{P_{el} [MWh_{el}]} = \frac{3.6}{\eta_{el}} * e_f$  , οπότε η παραπάνω σχέση που δίνει το κόστος ηλεκτροπαραγωγής γίνεται:  $COE = \frac{3.6}{\eta_{el}} * e_f + \varepsilon_{CO_2} * e_{CO_2} + a [\frac{\text{€}}{MWh}]$ .

Τιμή συστήματος:  $SP = 50.44, 58.67, 64.87 \text{ €/MWh}_{el}$  οι τιμές συστήματος νύκτας, πρωινού και απογεύματος [17], λαμβάνεται μέση τιμή συστήματος  $\overline{SP} = 57.99 \text{ €/MWh}_{el}$ .

Κέρδος:  $P = (SP - COE) * E_{el} \text{ €}$  , όπου  $E_{el}$  [ $MWh_{el}$ ] η απόδοση του ΑΗΣ στο δίκτυο [17].

### 5.3. Μοντελοποίηση συστημάτων ξήρανσης:

Τα υπό διερεύνηση συστήματα ξήρανσης ιδιαίτερα εκείνα που βασίζονται σε θερμικές μεθόδους απομάκρυνσης της περιεχόμενης υγρασίας του λιγνίτη μοντελοποιήθηκαν χωριστά ως αυτόνομες μονάδες ξήρανσης για πιστότερη απόδοση (πιο κοντά στην πραγματικότητα) της λειτουργίας τους καθώς στα σχήματα μοντελοποιούνται ως απλοί εναλλάκτες θερμότητας, οπότε είναι αναμενόμενες οι διαφορές στις παροχές του μέσου θέρμανσης, οι οποίες απορρέουν από τις μεγαλύτερες θερμικές απαιτήσεις των συστημάτων ξήρανσης.

Στα μοντέλα εισάγονται οι συνθήκες του υγρού καυσίμου (σύσταση, θερμοκρασία), οι συνθήκες εισόδου και εξόδου (πίεση και θερμοκρασία) του μέσου θέρμανσης, η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία του ξηρού λιγνίτη για την εκάστοτε τεχνολογία και οι συνθήκες απομάκρυνσης της υγρασίας του λιγνίτη. Η απαιτούμενη παροχή του μέσου ξήρανσης υπολογίζεται από το λογισμικό.

Οι ιδιοκαταναλώσεις που προκύπτουν καθώς και οι επιπλέον θερμικές απαιτήσεις λαμβάνονται υπόψη στους τελικούς υπολογισμούς: ηλεκτροπαραγωγή, βαθμός απόδοσης κ.λπ.

#### 5.3.1. Περίπτωση αναφοράς:

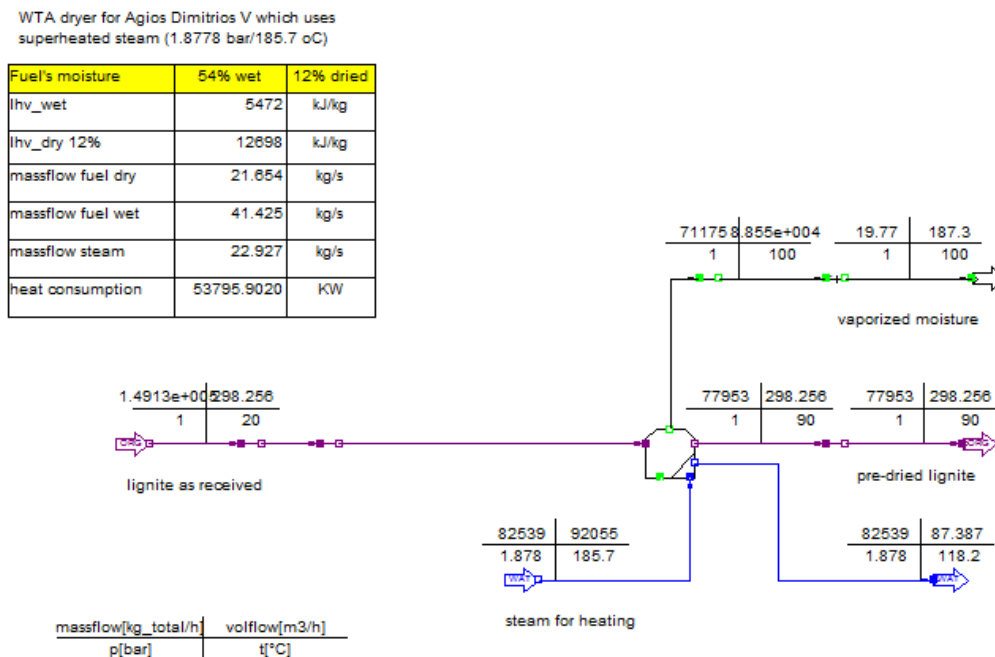
Η περίπτωση αναφοράς, Σχήμα 1, δηλαδή η υφιστάμενη τεχνολογία της μονάδας αποτελείται από μύλους-σπαστήρες εντός των οποίων ο ακατέργαστος λιγνίτης ξηραίνεται (περιεκτικότητα σε υγρασία πριν την εστία: περίπου 22 %) και κονιοποιείται ταυτόχρονα για το σκοπό αυτό εκτός από την περιστροφική κίνηση του μύλου και την βίαιη πρόσκρουση του λιγνίτη στα πτερύγια του, θερμά καυσαέρια (-956 °C) από την εστία καθώς και μεγάλο μέρος από τον αέρα καύσης ( $\theta=268.2$  °C) ατμοποιούν την υγρασία του λιγνίτη και με πνευματική μεταφορά οδηγείται εντός της εστίας μέσω των καυστήρων.

#### 5.3.2. Τεχνολογία WTA:

Η τεχνολογία WTA, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι μία διαδικασία ξήρανσης λιγνίτη σε ξηραντήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Ο ξηραντήρας μοντελοποιείται ως ένας εναλλάκτης θερμότητας αντιρροής που θερμαίνεται με υπέρθερμο ατμό (1.8778 bar/185.7 °C) από την απομάστευση 3 του ατμοστροβίλου μέσης πίεσης, και ατμοποιεί την υγρασία του λιγνίτη που παρίσταται ως παροχή νερού σε συνθήκες περιβάλλοντος. Το θερμό ρεύμα εξέρχεται από τον εναλλάκτη σε κατάσταση κορεσμένου νερού (1.8778 bar/118.23 °C) και χρησιμοποιείται στους προθερμαντές τροφοδοτικού νερού. Η ατμοποιημένη υγρασία εξέρχεται από τον εναλλάκτη και τροφοδοτείται στους προθερμαντές τροφοδοτικού νερού 2 και 1, όπου και συμπυκνώνεται αποδίδοντας αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα. Στην έξοδο αναμιγνύεται με το κορεσμένο νερό από τους προηγούμενους προθερμαντές.

Για τη διατήρηση του ισοζυγίου παροχών, εξέρχεται από το σύστημα ως υπόψυκτο νερό (0.262 bar/47.775 °C). Στην Εικόνα 5-3 παρουσιάζεται ο ξηραντήρας WTA ως αυτόνομη μονάδα.

Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με την μονάδα προ-ξήρανσης WTA απεικονίζεται στα Σχήματα 2 και 3. Εμφανίζεται μια διαφορά της τάξης των 240 KW<sub>th</sub> όσον αφορά την κατανάλωση θερμότητας για την ξήρανση, και μία της τάξης του 0.10 kg/s για την παροχή του ατμού θέρμανσης μεταξύ του μοντέλου της Εικόνας 5-3 και αυτών των Σχημάτων 2 και 3. Οφείλεται στην μοντελοποίηση που ανάγει τον ξηραντήρα σε απλό εναλλάκτη θερμότητας μέσω συναγωγής δύο ομογενών ρευμάτων του ίδιου υλικού και κατ' επέκταση ίδιων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων.



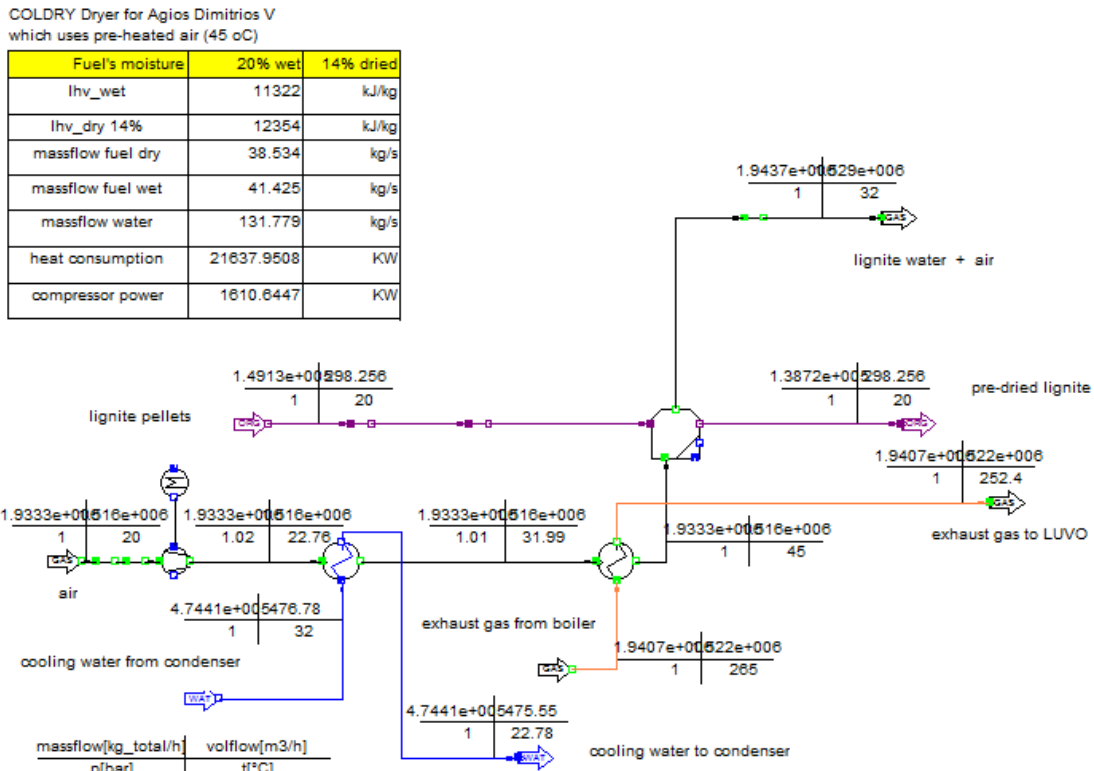
Εικόνα 5-3: Η μονάδα WTA

### 5.3.3. Η τεχνολογία Coldry:

Η τεχνολογία προ-ξήρανσης Coldry απομακρύνει την υγρασία του λιγνίτη με θερμική και μηχανική επεξεργασία, επομένως δεν είναι δυνατόν να μοντελοποιηθεί ικανοποιητικά από ένα λογισμικό όπως το IPSEPRO. Έγινε προσπάθεια να αποδοθεί το θερμικό μέρος της διαδικασίας ώστε να υπολογιστούν οι απαιτούμενες παροχές αέρα για την απομάκρυνση της επιφανειακής κυρίως υγρασίας από τα pellets λιγνίτη, άρα και η απαιτούμενη ηλεκτρική κατανάλωση από ανεμιστήρες.

Ο ξηραντήρας Coldry κατά την ECT Ltd, η οποία κατέχει τα δικαιώματα εκμετάλλευσης, θερμαίνεται από την απορριπτόμενη θερμότητα του συμπυκνωτή της μονάδας στην περίπτωση όμως της μονάδας V το νερό ψύξης παίρνει θερμοκρασίες από 22 έως 32 °C, οπότε η θερμότητα που απαιτείται ώστε η

Θερμοκρασία του αέρα, που απομακρύνει την υγρασία του λιγνίτη, να φτάσει περίπου τους 45 °C προέρχεται από τα θερμά καυσαέρια του ατμοπαραγωγού πριν αυτά αξιοποιηθούν για την θέρμανση του αέρα καύσης στο LUVO. Η ECT ltd προβλέπει τη δυνατότητα αξιοποίησης του μέσου θέρμανσης (αέρας θερμοκρασίας ~45 °C και υδρατμός) για προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, σε αυτή τη περίπτωση δεν είναι εφικτό κάτι τέτοιο. Τα Σχήματα 4 και 5 αποτυπώνουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της μονάδας υπό την επίδραση της προ-ξηρανσης λιγνίτη έως τελικής περιεχόμενης υγρασίας 14 % με την τεχνολογία Coldry.



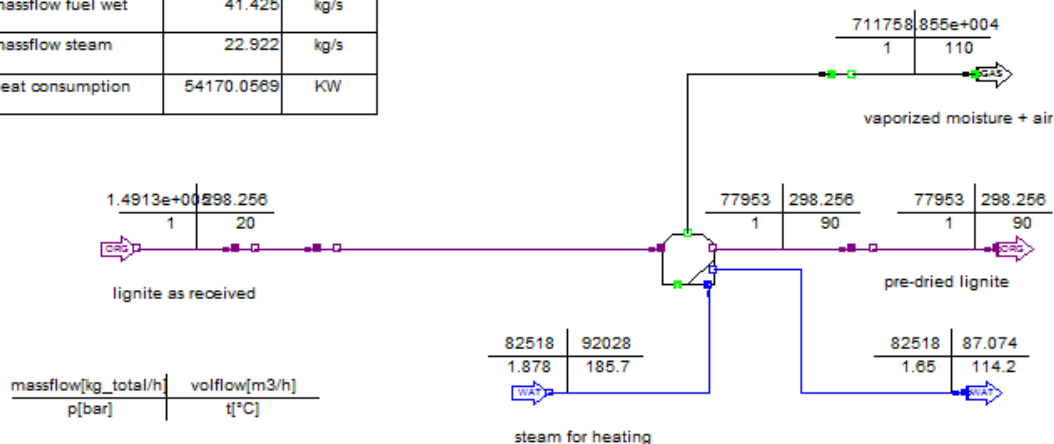
Εικόνα 5-4: Η τεχνολογία Coldry

#### 5.3.4. Περιστερόμενος ξηραντήρας αυλών (tubular dryer):

Ο περιστρέφόμενος ξηραντήρας αυλών, Εικόνα 5-5, μοντελοποιείται επίσης ως ένας απλός εναλλάκτης θερμότητας παράλληλης ροής ο οποίος θερμαίνεται με υπέρθερμο ατμό (1.8778 bar/185.7 °C) από την απομάστευση 3 του ατμοστροβίλου μέσης πίεσης, ο οποίος αποδίδει αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα, ατμοποιώντας την υγρασία του λιγνίτη που και εδώ παρίσταται ως ρεύμα νερού. Το θερμό ρεύμα εξέρχεται σε κατάσταση υπόψυκτου νερού (1.65 bar/114.2 °C) και τροφοδοτεί τους προθερμαντές τροφοδοτικού νερού 1 και 2. Η ατμοποιημένη υγρασία του λιγνίτη απομακρύνεται αναμεμιγμένη με αέρα σε θερμοκρασία 110 °C. Ο λιγνίτης ξηραίνεται μέχρι τελικής περιεκτικότητας σε υγρασία 12 %.

Tubular dryer for Agios Dimitrios V which uses superheated steam (1.8778 bar/185.7 °C)

Fuel's moisture	54% wet	12% dried
lhv_wet	5472	kJ/kg
lhv_dry 12%	12698	kJ/kg
massflow fuel dry	21.654	kg/s
massflow fuel wet	41.425	kg/s
massflow steam	22.922	kg/s
heat consumption	54170.0569	KW



Εικόνα 5-5: Περιστρεφόμενος ξηραντήρας αυλών

Όπως και στην περίπτωση της WTA υπάρχει απόκλιση της παροχής του μέσου θέρμανσης της τάξης του 0.14 kg/s, καθώς και μία απόκλιση της θερμικής κατανάλωσης της ξήρανσης της τάξης των 213 KW μεταξύ του μοντέλου του ξηραντήρα της Εικόνας 5-5 και του μοντέλου της μονάδας V, Σχήματα 6, 7. Επίσης οφείλεται στο ότι η μονάδα ξήρανσης μοντελοποιείται ως εναλλάκτης θερμότητας που επιτρέπει την συναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο ομογενών ρευμάτων του ίδιου υλικού οπότε και με ίδιες φυσικές, χημικές ιδιότητες.

### 5.3.5. MTE:

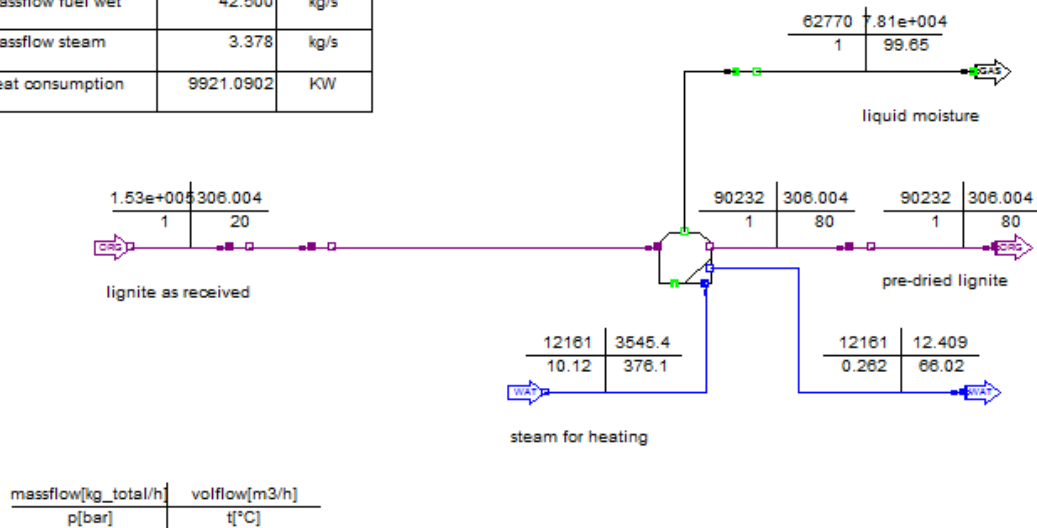
Η τεχνολογία MTE (Mechanical Thermal Extraction), όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο απομακρύνει την υγρασία του λιγνίτη συνδυάζοντας την θέρμανση του και την άσκηση μηχανικής πίεσης σε πρέσα. Η διαδικασία απομακρύνει την υγρασία σε υγρή μορφή, συνεπώς η συνολική θερμική ισχύς που καταναλώνει η διαδικασία ξήρανσης αναμένεται να είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες ατμοποίησης της υγρασίας. Πράγματι, στην Εικόνα 5-7 όπου απεικονίζεται το μοντέλο της διαδικασίας MTE όσον αφορά το θερμικό της μέρος, χρησιμοποιείται υπέρθερμος ατμός με χαρακτηριστικά 10.12 bar/376.07 °C από την απομάστευση 5 του ατμοστροβίλου μέσης πίεσης με παροχή μόλις 3.378 kg/s. Ως εκ τούτου η θερμική κατανάλωση ανέρχεται σε 9921.1 KW. Ο λιγνίτης εφόσον έχει αυξήσει τη θερμοκρασία του χρειάζεται λιγότερη μηχανική πίεση για την μείωση της περιεκτικότητας του σε υγρασία μέχρι το επιθυμητό επίπεδο, 22 % w/w. Η υγρασία απομακρύνεται σε υγρή μορφή (1 bar/99.65 °C), ενώ ο ατμός θέρμανσης εξέρχεται



του ξηραντήρα σε κατάσταση κορεσμένου νερού (0.262 bar/66.02 °C) και ενώνεται με το ρεύμα νερού των προθερμαντήρων στο πρώτο στάδιο προθέρμανσης (μέσω ανάμιξης) του τροφοδοτικού νερού αμέσως μετά τον συμπυκνωτή.

MTE dryer for Agios Dimitrios V which uses superheated steam (10.12 bar/376.07 °C)

Fuel's moisture	54% wet	22% dry
lhv_wet	5472	kJ/kg
lhv_dry 22%	10978	kJ/kg
massflow fuel dry	25.064	kg/s
massflow fuel wet	42.500	kg/s
massflow steam	3.378	kg/s
heat consumption	9921.0902	KW



Εικόνα 5-6: Η μονάδα MTE

Στα Σχήματα 8 και 9 αποτυπώνεται συνολικά η επίδραση της προ-ξηρανσης με την τεχνολογία MTE στον θερμικό κύκλο της μονάδας V.

### 5.3.6. Ξήρανση με μικροκύματα – η τεχνολογία Drycol:

Η διαδικασία Drycol μοντελοποιείται ως μια ηλεκτρική αντίσταση που θερμαίνει την υγρασία του λιγνίτη προς ξήρανση, ο οποίος θερμαίνεται έως τη θερμοκρασία των 90 °C ενώ η υγρασία θερμαίνεται έως σχεδόν τους 100 °C. Αυτή η διαφορά υφίσταται λόγω του ότι τα μικροκύματα απορροφώνται κυρίως από το νερό και λιγότερο από τις υπόλοιπες ενώσεις που συνιστούν το λιγνίτη. Από το διάγραμμα της εικόνας 4-20 που αφορά άνθρακες για ηλεκτροπαραγωγή υποδεικνύει συνολικό βαθμό απόδοσης της διαδικασίας που κυμαίνεται από 74 έως 63 %. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος λαμβάνεται συνολικός βαθμός απόδοσης 70 %. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από την υγρασία αγγίζει το 100 %.

Στο σενάριο σταθερής παροχής αέρα ορίζεται σταθερή θερμοκρασία εισόδου του τροφοδοτικού νερού στον ECO, ίση με 236.3 °C για να εξασφαλιστεί η βελτίωση του βαθμού απόδοσης.

Οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας V απεικονίζονται στα Σχήματα 10 και 11.

## 6. Παρουσίαση αποτελεσμάτων-Πίνακες:

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που έδωσαν οι μοντελοποιήσεις.

<b>Συνθήκες καυσαερίου στην εστία</b>		
Περίπτωση αναφοράς	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1284.39
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	956.60
WTA	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1399.87
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	998.23
COLDRY	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1402.95
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	1001.01
Tubular dryer	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1405.99
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	1002.56
MTE	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1390.96
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	997.08
DRYCOL	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1400.18
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	997.99

**Πίνακας 6-1: Συνθήκες καυσαερίου στην εστία για σταθερό λόγο αέρα**

<b>Συνθήκες καυσαερίου στην εστία</b>		
Περίπτωση αναφοράς	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1284.39
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	956.60
WTA	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1365.92
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	987.44
COLDRY	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1363.55
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	986.33
Tubular dryer	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1366.72
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	988.29
MTE	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1355.09
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	983.25
DRYCOL	Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης [°C]	1365.63
	Θερμοκρασία καυσαερίων στην έξοδο της εστίας [°C]	987.03

**Πίνακας 6-2: Συνθήκες καυσαερίου στην εστία για σταθερή παροχή αέρα**

Οι θερμοκρασίες καυσαερίων είναι αρκετά υψηλότερες από αυτές της περίπτωσης αναφοράς και οφείλονται στην μεγαλύτερη θερμογόνο ικανότητα του μικτού καυσίμου. Σημαντική είναι η διαφορά ανάμεσα στα δύο σενάρια που διερευνήθηκαν, οι αδιαβατικές θερμοκρασίες καύσης στην περίπτωση σταθερού λόγου αέρα προκύπτουν 35-40 °C υψηλότερες από τις αντίστοιχες της περίπτωσης σταθερής

παροχής αέρα. Επίσης η διαφορά στις θερμοκρασίες εξόδου των καυσαερίων από την εστία κυμαίνεται μεταξύ 5 και 15 °C.

<b>Παροχές μάζας καυσαερίου</b>		
Περίπτωση αναφοράς	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	640.561
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	587.731
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	52.830
<b>Περίπτωση σταθερού λόγου αέρα καύσης</b>		
WTA	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	584.952
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	536.712
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	48.240
COLDRY	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	586.142
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	537.782
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	48.360
Tubular dryer	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	584.962
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	536.712
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	48.250
MTE	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	591.530
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	542.732
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	48.798
DRYCOL	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	584.705
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	536.361
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	48.344
<b>Περίπτωση σταθερής παροχής αέρα</b>		
WTA	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	610.354
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	560.354
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	50.000
COLDRY	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	611.176
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	560.926
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	50.250
Tubular dryer	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	610.639
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	560.354
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	50.285
MTE	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	613.869
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	563.569
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	50.300
DRYCOL	Συνολική παροχή καυσαερίου [kg/s]	611.120
	Κυρίως παροχή προς εναλλάκτες [kg/s]	560.170
	Παροχή προς αγωγούς ανακυκλοφορίας [kg/s]	50.950

**Πίνακας 6-3: Παροχές μάζας καυσαερίου**

Οι Πίνακες 6-4 έως 6-14 παρουσιάζουν τις συνθήκες καυσαερίου και εργαζόμενου μέσου (νερό/ατμός) σε κάθε τμήμα του λέβητα για τα δύο σενάρια που αφορούν τον αέρα καύσης και τα εξεταζόμενα συστήματα ξήρανσης.

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	264.15	271.56	262.65	249.87	256.11	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	640.56	587.73	587.73	587.73	587.73	587.73	587.73
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	319.3	450.4	500.34	468.85	387.9	287.7	222.77
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	387.9	520	540	540	481.23	498.44	319.3
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	956.6	877.19	782.7	782.7	605.59	439.98	280.28
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	287448.5	67393.17	36340.48	42511.97	143477.84	128550.56	118486.43

**Πίνακας 6-4: Περίπτωση αναφοράς**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	269.62	277.69	270.59	249.87	267.44	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	584.95	536.71	536.71	536.71	536.71	536.71	536.71
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	306.15	446.85	499.11	467.37	391.54	287.7	222.81
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	391.54	520	540	540	489.54	481.01	306.15
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	998.23	902.44	791.18	791.18	597.57	418.25	265.92
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	316514	72816.6	38295.5	44698.88	139847.8	123701	100366.4

**Πίνακας 6-5: Η τεχνολογία WTA για σταθερό λόγο αέρα**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	268.65	276.79	271.61	249.87	266.4	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	610.35	560.35	560.35	560.35	560.35	560.35	560.35
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	310.37	447.8	499.35	468.09	390.64	287.7	222.81
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	390.64	520	540	540	488.47	486.41	310.37
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	987.44	896.63	790.32	790.32	601.59	425.17	270.34
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	308277.8	71475.4	37924.7	44262.75	141457.2	126475	106058.8

**Πίνακας 6-6: Η τεχνολογία WTA για σταθερή παροχή αέρα**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	270.18	278.3	267.13	249.87	262.83	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	586.14	537.78	537.78	537.78	537.78	537.78	537.78
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	305.65	446.61	498.91	465.79	391.73	287.7	219.76
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	391.73	520	540	540	490.87	484.69	305.65
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	1001.01	904.94	793.13	793.13	599.23	420.38	264.28
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	317704.7	73252.28	38570.95	45085.48	140470	123756	103110.3

**Πίνακας 6-7: Η τεχνολογία COLDRY για σταθερό λόγο αέρα**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	268.17	276.08	265.64	249.87	260.61	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	611.17	560.92	560.92	560.92	560.92	560.92	560.92
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	310.15	447.82	499.36	466.75	390.35	287.7	220.76
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	390.35	520	540	540	487.6	489.1	310.15
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	986.33	895.85	789.82	789.82	601.28	426.81	269.35
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	307732.4	71326.25	37849.81	44254.13	141543.6	125310.3	108051.5

**Πίνακας 6-8: Η τεχνολογία COLDRY για σταθερή παροχή αέρα**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	271.16	279.33	268.09	249.87	263.86	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	584.96	536.71	536.71	536.71	536.71	536.71	536.71
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	306.97	446.66	498.97	465.9	392.54	287.7	223
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	392.54	520	540	540	492.92	484.43	306.97
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	1002.56	905.99	793.67	793.67	599.89	420.11	266.47
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	318141.5	73451.35	38660.01	45182.29	140046.2	124084.1	101265.4

**Πίνακας 6-9: Η τεχνολογία tubular dryer για σταθερό λόγο αέρα**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	269.31	277.27	266.84	249.87	261.8	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	610.64	560.35	560.35	560.35	560.35	560.35	560.35
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	311.5	447.85	499.38	466.83	391.18	287.7	223.86
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	391.18	520	540	540	490	489.1	311.5
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	988.29	897.34	790.76	790.76	602.34	426.8	271.5
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	308270.1	71594.17	37990.84	44409.5	141252.8	125878.1	106422.5

**Πίνακας 6-10: Η τεχνολογία Tubular dryer για σταθερή παροχή αέρα**

	<b>EVAP</b>	<b>SH2</b>	<b>SH3</b>	<b>RH2</b>	<b>SH1</b>	<b>RH1</b>	<b>ECO</b>
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	269.74	277.81	266.96	249.87	262.34	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	591.53	542.73	542.73	542.73	542.73	542.73	542.73
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	307.04	446.93	499	466.03	391.35	287.7	219.91
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	391.35	520	540	540	490.22	486.38	307.04
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	997.08	902.73	792.64	792.64	600.33	422.51	265.77
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	314788.5	72756.46	38418.9	44908.52	140975.2	124528.3	104805.5

**Πίνακας 6-11: Η τεχνολογία MTE για σταθερό λόγο αέρα**

	EVAP	SH2	SH3	RH2	SH1	RH1	ECO
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	267.77	275.62	265.35	249.87	260.14	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	613.87	563.57	563.57	563.57	563.57	563.57	563.57
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	311.09	448.08	499.45	466.96	390.07	287.7	220.96
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	390.07	520	540	540	486.94	490.1	311.09
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	983.25	893.96	789.15	789.15	601.77	428.17	270.43
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	305618.7	70922.88	37701.12	44082.5	141784.1	125672.4	109114.8

**Πίνακας 6-12: Η τεχνολογία MTE για σταθερή παροχή αέρα**

	EVAP	SH2	SH3	RH2	SH1	RH1	ECO
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	269.19	277.22	265.72	249.87	261.74	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	584.7	536.36	536.36	536.36	536.36	536.36	536.36
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	305.41	446.78	499.09	465.98	391.25	287.7	220.57
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	391.25	520	540	540	488.64	483.55	305.41
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	997.99	902.16	790.81	790.81	596.97	419.14	264.37
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	316676.8	72780.04	38256.85	44731.37	139881.6	122573.8	101882.9

**Πίνακας 6-13: Η τεχνολογία DRYCOL για σταθερό λόγο αέρα**



	EVAP	SH2	SH3	RH2	SH1	RH1	ECO
Παροχή εργαζόμενου μέσου [kg/s]	249.87	268.23	276.13	265.64	249.87	260.66	249.87
Παροχή καυσαερίου [kg/s]	611.12	560.17	560.17	560.17	560.17	560.17	560.17
Θερμοκρασία εισόδου ε.μ. [°C]	309.89	447.75	499.34	466.7	390.39	287.7	220.76
Θερμοκρασία εξόδου ε.μ. [°C]	390.39	520	540	540	487.62	488.78	309.89
Πίεση εξόδου ε.μ. [bar]	224.9	205.7	198.8	32.1	209.8	33.1	231.3
Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίου [°C]	987.03	896.24	789.89	789.89	601.03	426.38	269.07
Απορροφώμενη θερμική ισχύς [KW]	308184.3	71414.21	37875.7	44284.54	141466.1	125146.2	107700

Πίνακας 6-14: Η τεχνολογία DRYCOL για σταθερή παροχή αέρα

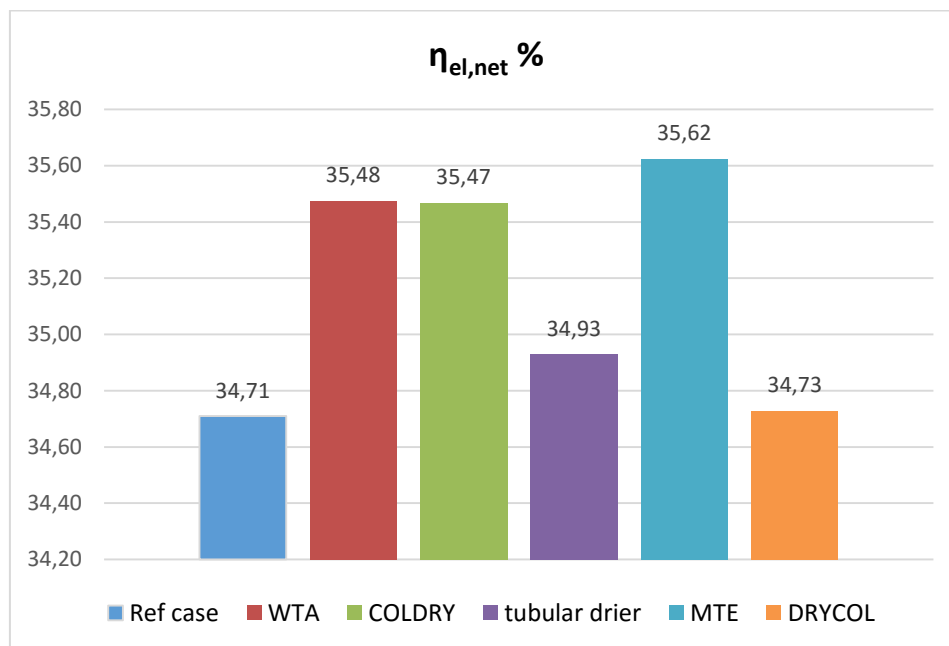
Σύσταση καυσαερίου [w/w %]	Περίπτωση αναφοράς	WTA	Coldry	Tubular dryer	MTE	Drycol
$\chi_{CO_2}$	19.5164	20.2455	20.2290	20.2455	20.1531	20.2510
$\chi_{SO_2}$	0.2505	0.2599	0.2597	0.2599	0.2587	0.2600
$\chi_{N_2}$	58.1740	60.3466	60.2972	60.3466	60.0819	60.3622
$\chi_{H_2O}$	19.8381	16.8956	16.9636	16.8956	17.2750	16.8732
$\chi_{O_2}$	2.2208	2.2524	2.2505	2.2524	2.2313	2.2536

Πίνακας 6-15: Σύνθεση καυσαερίου για σταθερό λόγο αέρα ( $\lambda=1.2$ )

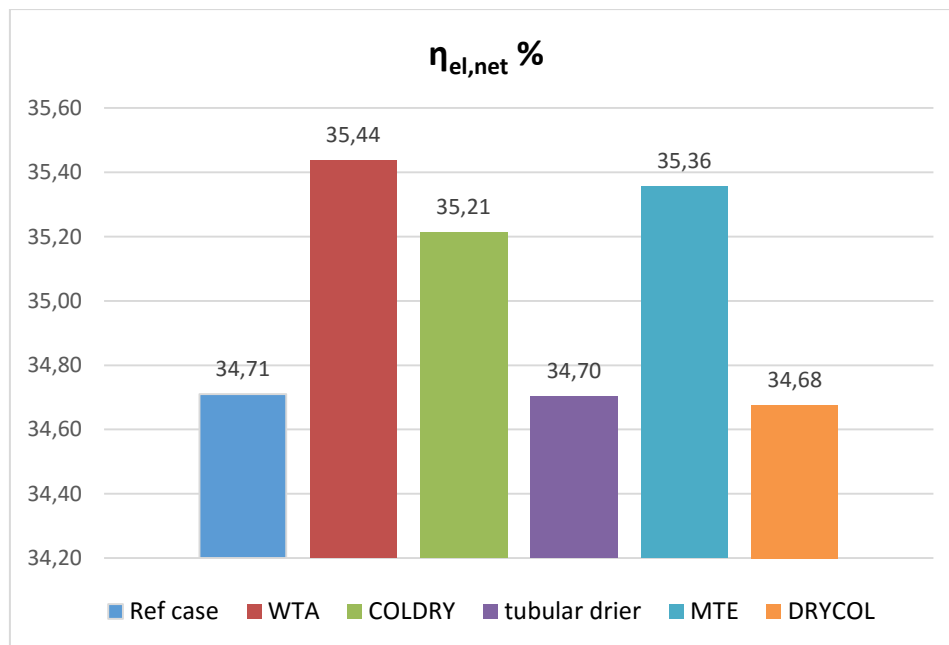
Σύσταση καυσαερίου [w/w %]	Περίπτωση αναφοράς	WTA	Coldry	Tubular dryer	MTE	Drycol
$\chi_{CO_2}$	19.5164	19.3913	19.3943	19.3913	19.4080	19.3904
$\chi_{SO_2}$	0.2505	0.2489	0.2490	0.2489	0.2492	0.2489
$\chi_{N_2}$	58.1740	61.0083	60.9463	61.0083	60.6612	61.0286
$\chi_{H_2O}$	19.8381	16.2245	16.3046	16.2245	16.6728	16.1982
$\chi_{O_2}$	2.2208	3.1269	3.1058	3.1269	3.0089	3.1338

Πίνακας 6-16: Σύνθεση καυσαερίου για σταθερή παροχή αέρα ( $\dot{m}_L = 448.60 \text{ kg/s}$ )

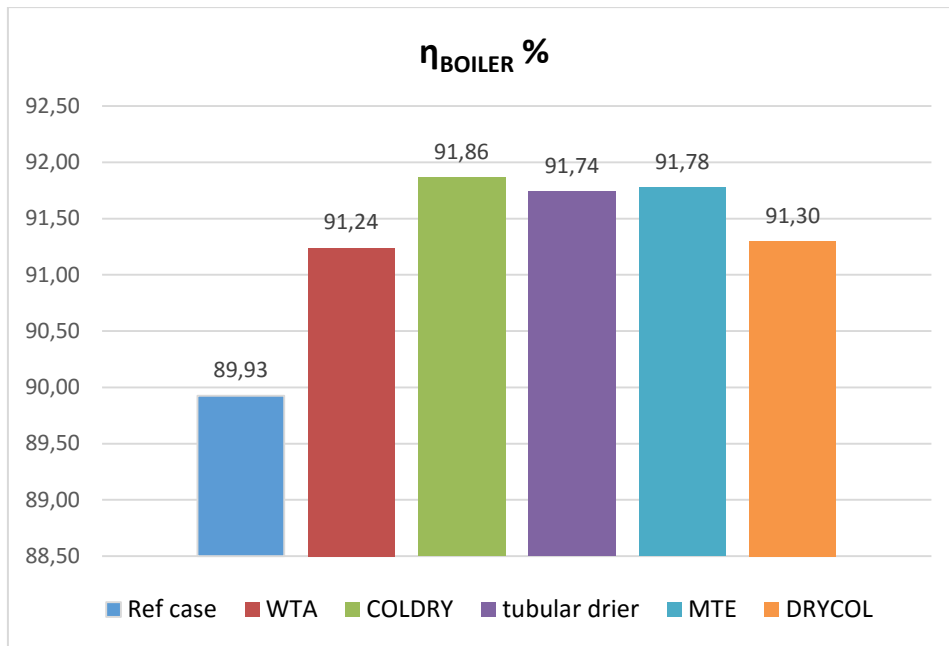
## 7. Παρουσίαση αποτελεσμάτων – Διαγράμματα:



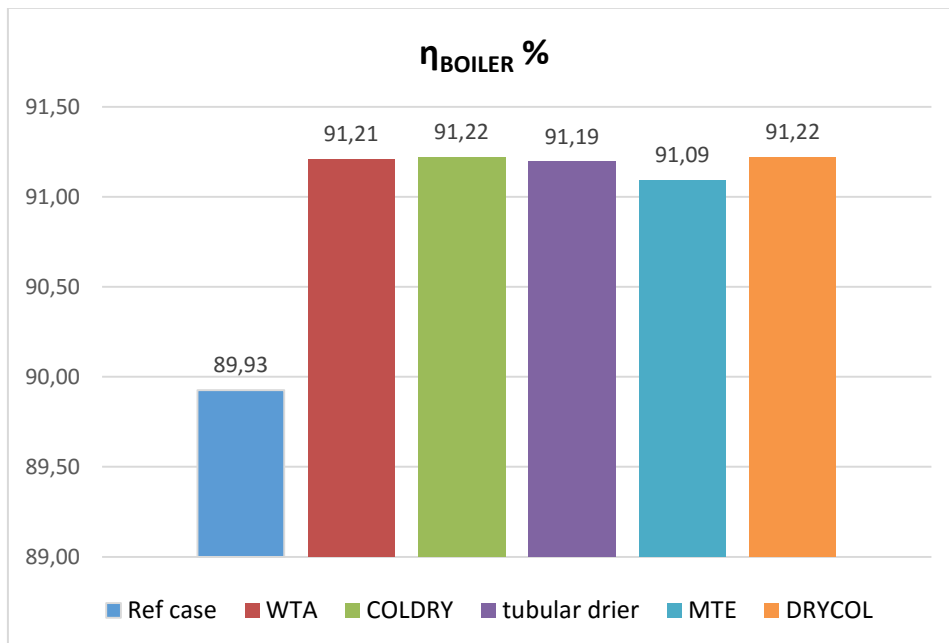
Διάγραμμα 7-1: Ολικός καθαρός βαθμός απόδοσης στην περίπτωση σταθερού λόγου αέρα



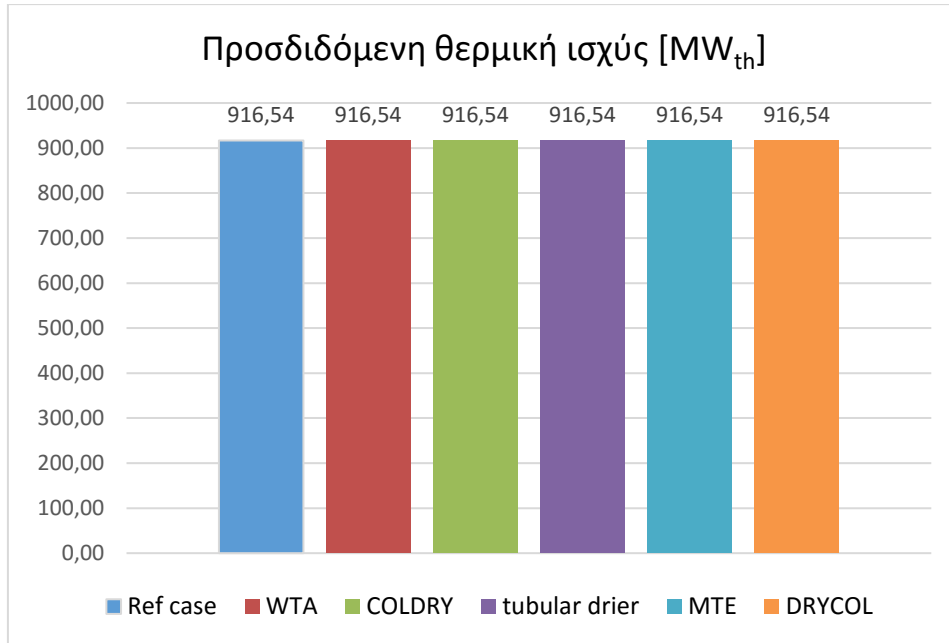
Διάγραμμα 7-2: Ολικός καθαρός βαθμός απόδοσης στην περίπτωση σταθερής παροχής αέρα



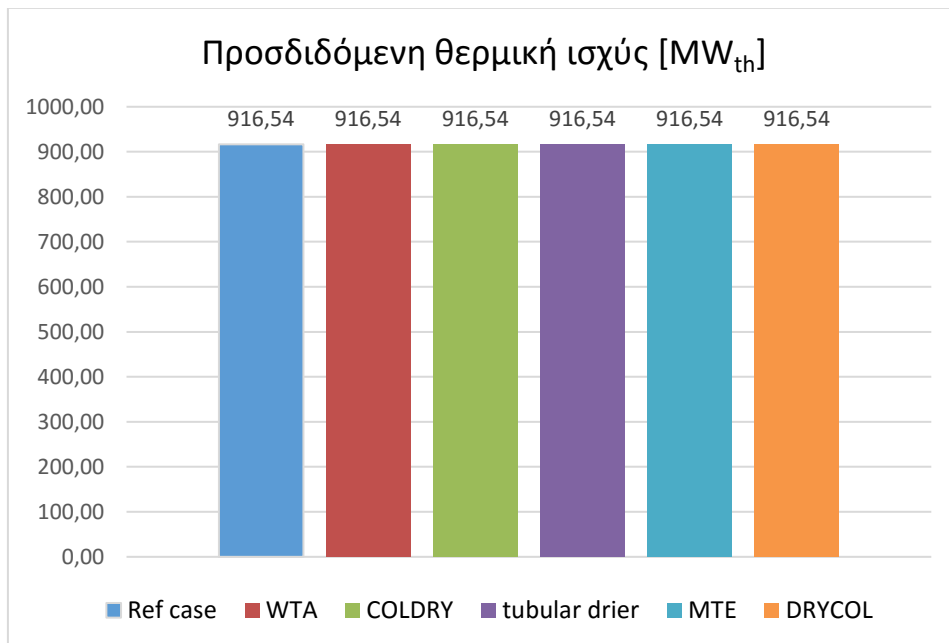
Διάγραμμα 7-3: Βαθμός απόδοσης λέβητα για την περίπτωση σταθερού λόγου αέρα



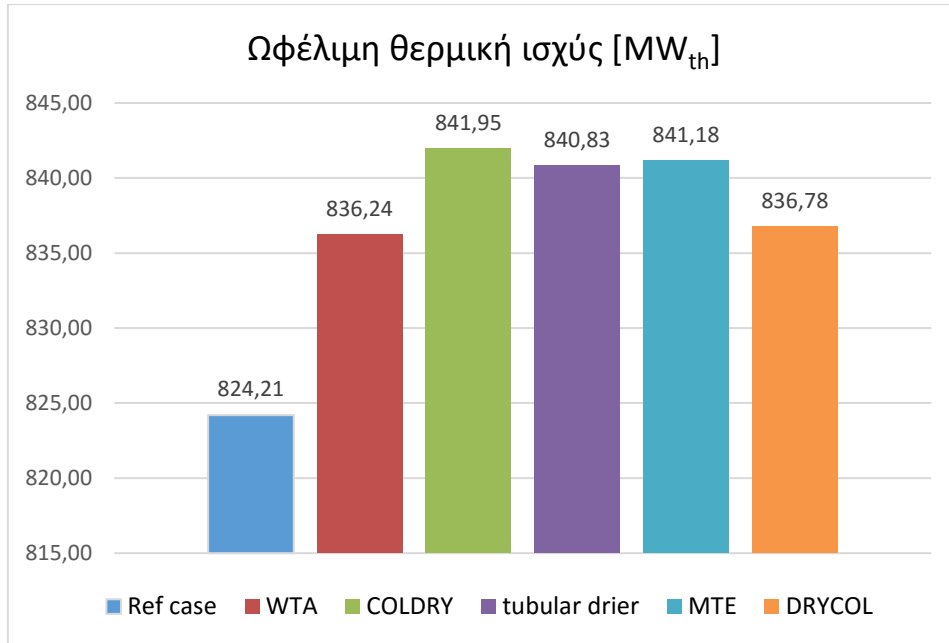
Διάγραμμα 7-4: Βαθμός απόδοσης λέβητα για την περίπτωση σταθερής παροχής αέρα



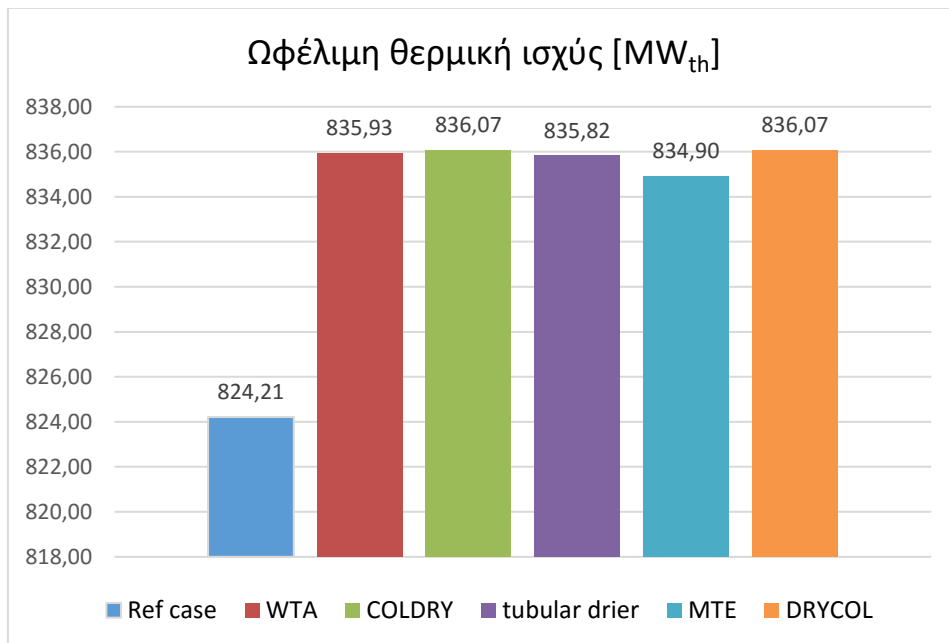
**Διάγραμμα 7-5: Προσδιδόμενη θερμική ισχύς για σταθερό λόγο αέρα**



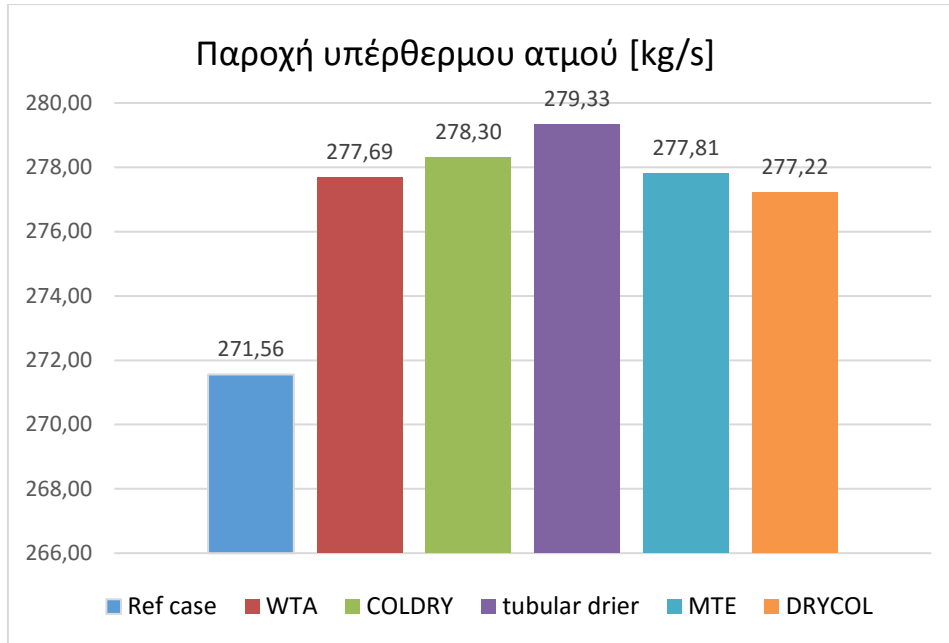
**Διάγραμμα 7-6: Προσδιδόμενη θερμική ισχύς για σταθερή παροχή αέρα**



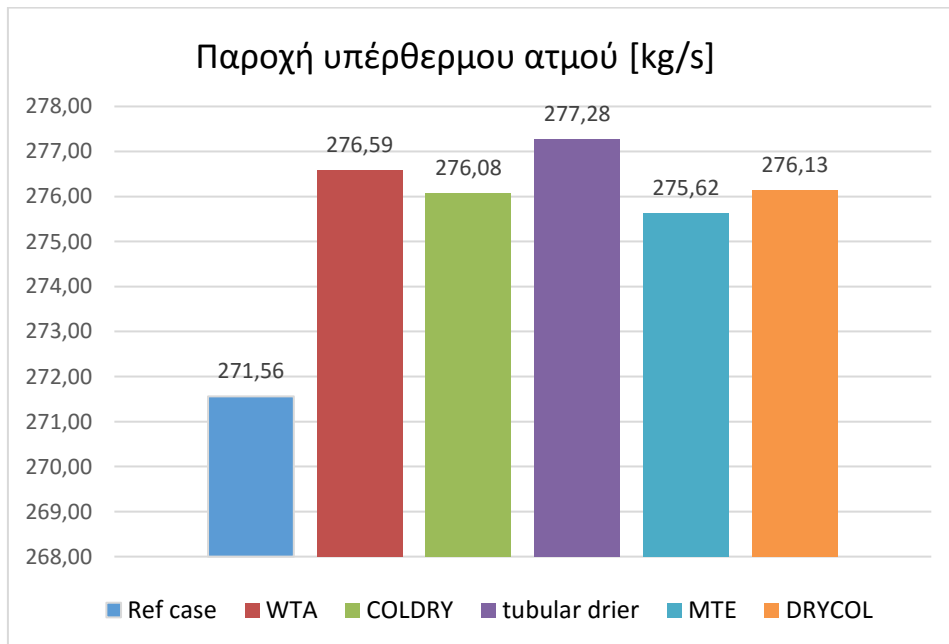
**Διάγραμμα 7-7: Ωφέλιμη θερμική ισχύς για σταθερό λόγο αέρα**



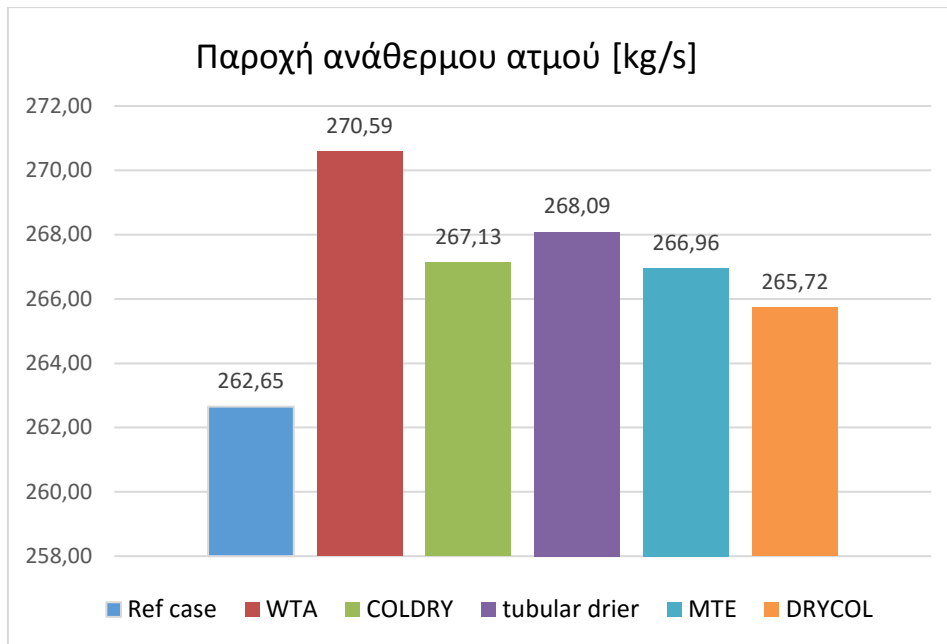
**Διάγραμμα 7-8: Ωφέλιμη θερμική ισχύς για σταθερή παροχή αέρα**



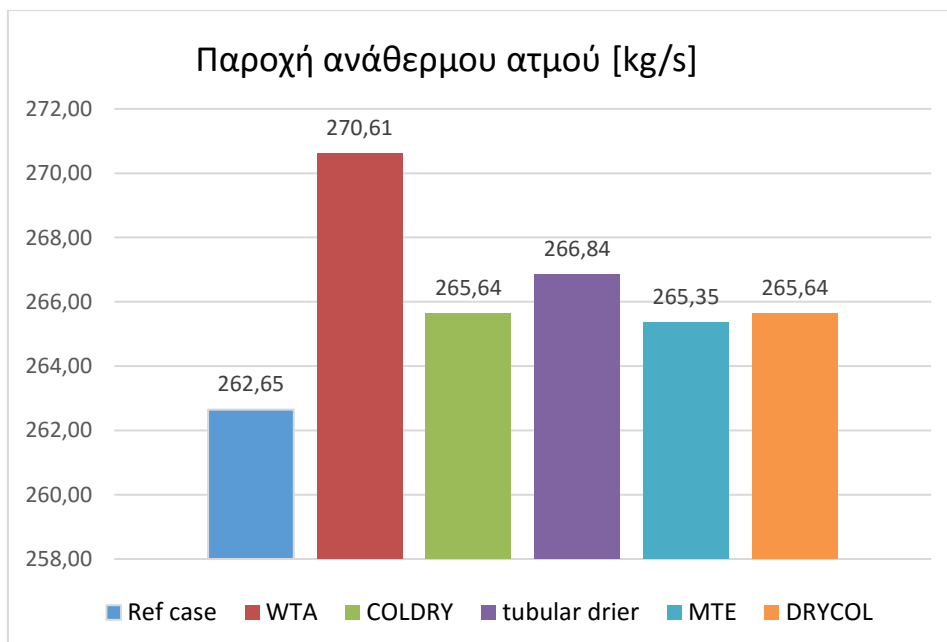
Διάγραμμα 7-9: Παροχή υπέρθερμου ατμού στο στρόβιλο υψηλής πίεσης για σταθερό λόγο αέρα



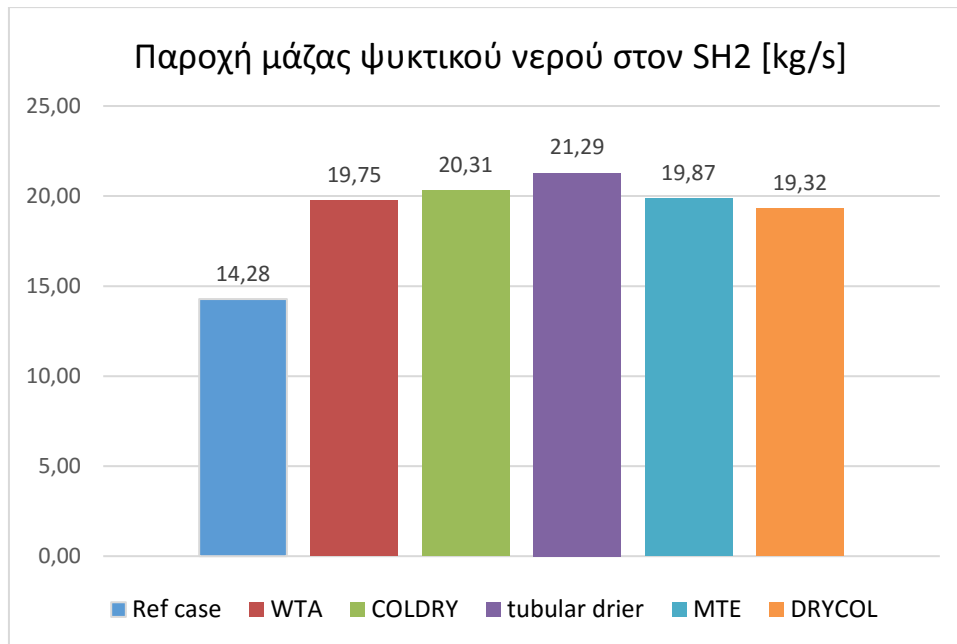
Διάγραμμα 7-10: Παροχή υπέρθερμου ατμού στο στρόβιλο υψηλής πίεσης για σταθερή παροχή αέρα



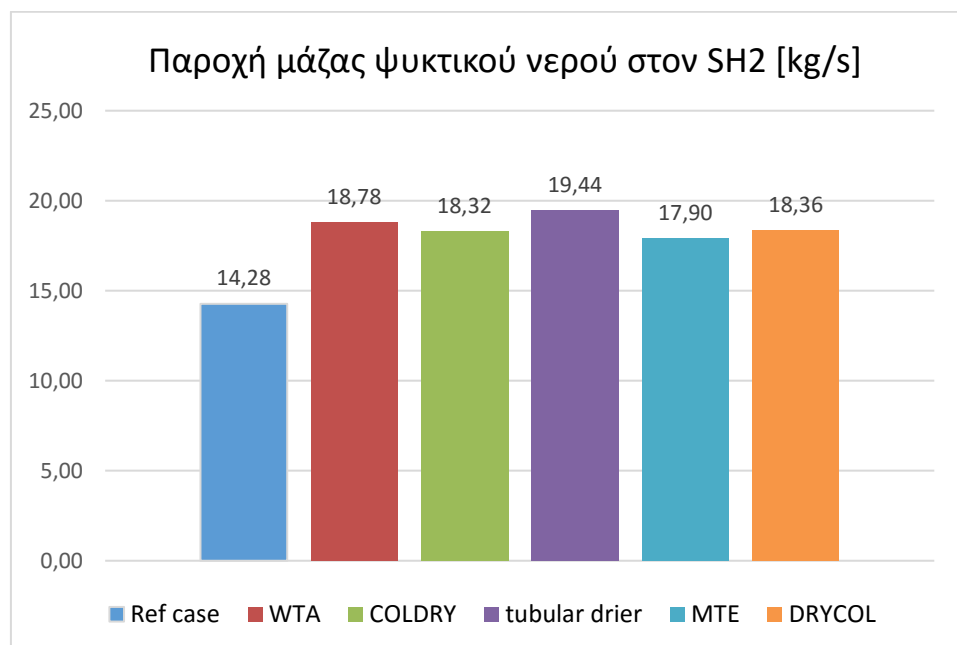
Διάγραμμα 7-11: Παροχή ανάθερμου ατμού στο στρόβιλο μέσης πίεσης για σταθερό λόγο αέρα



Διάγραμμα 7-12: Παροχή ανάθερμου ατμού στο στρόβιλο μέσης πίεσης για σταθερή παροχή αέρα

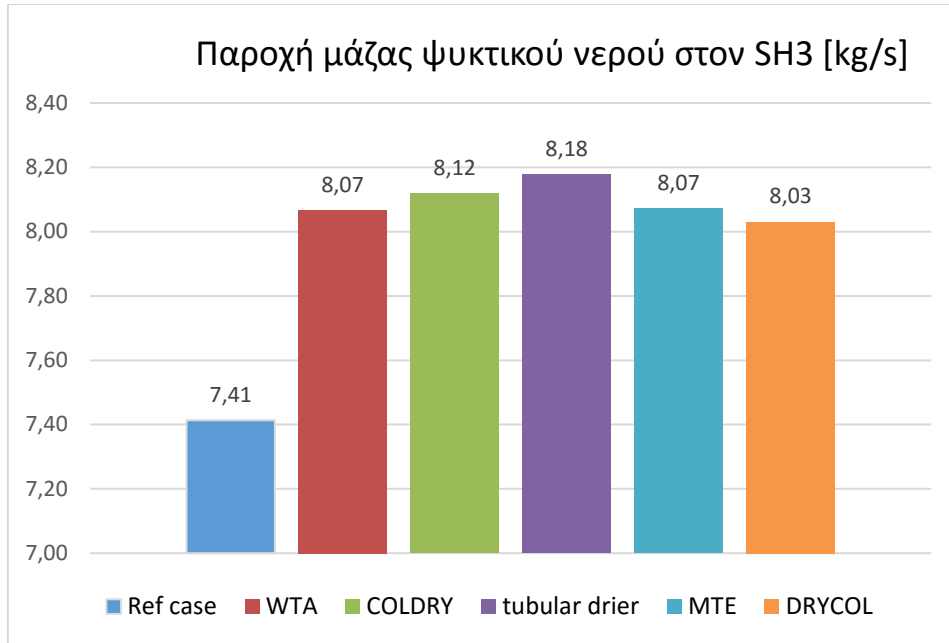


**Διάγραμμα 7-13: Παροχή ψυκτικού νερού στο μεσαίο τμήμα του υπερθερμαντήρα για σταθερό λόγο αέρα**

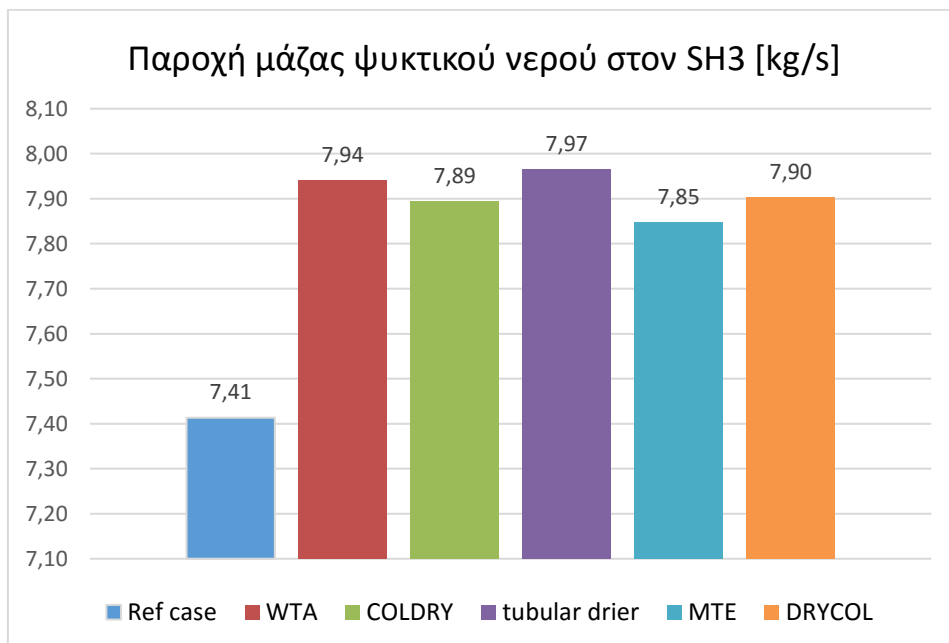


**Διάγραμμα 7-14: Παροχή ψυκτικού νερού στο μεσαίο τμήμα του υπερθερμαντήρα για σταθερή παροχή αέρα**

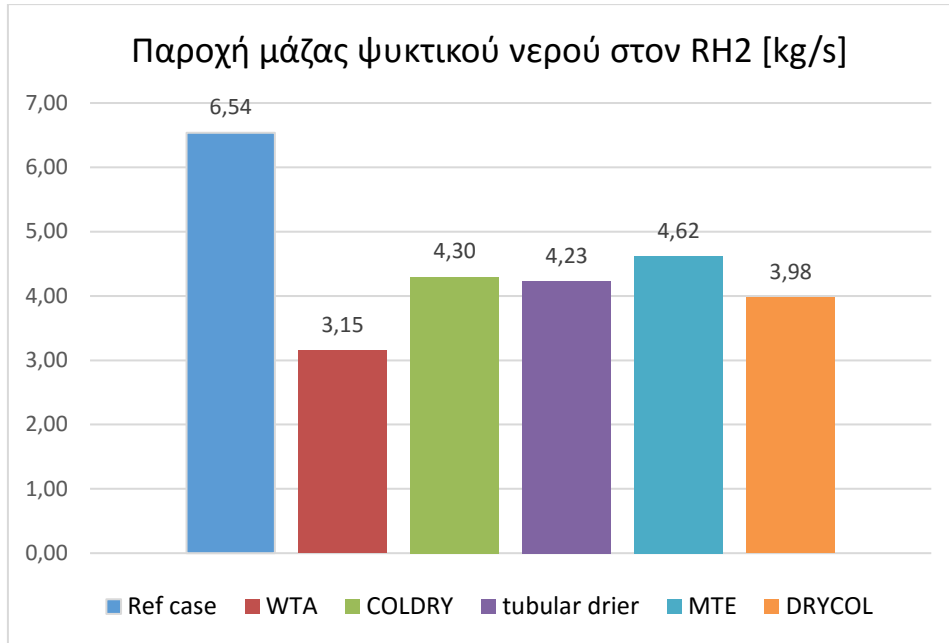




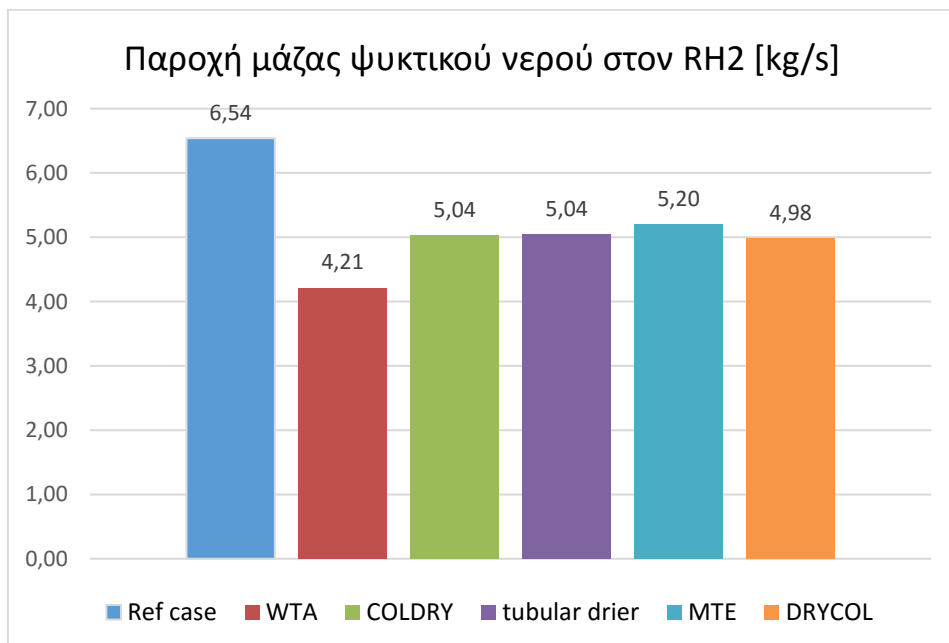
**Διάγραμμα 7-15:** Παροχή ψυκτικού νερού στο τελευταίο τμήμα του υπερθερμαντήρα για σταθερό λόγο αέρα



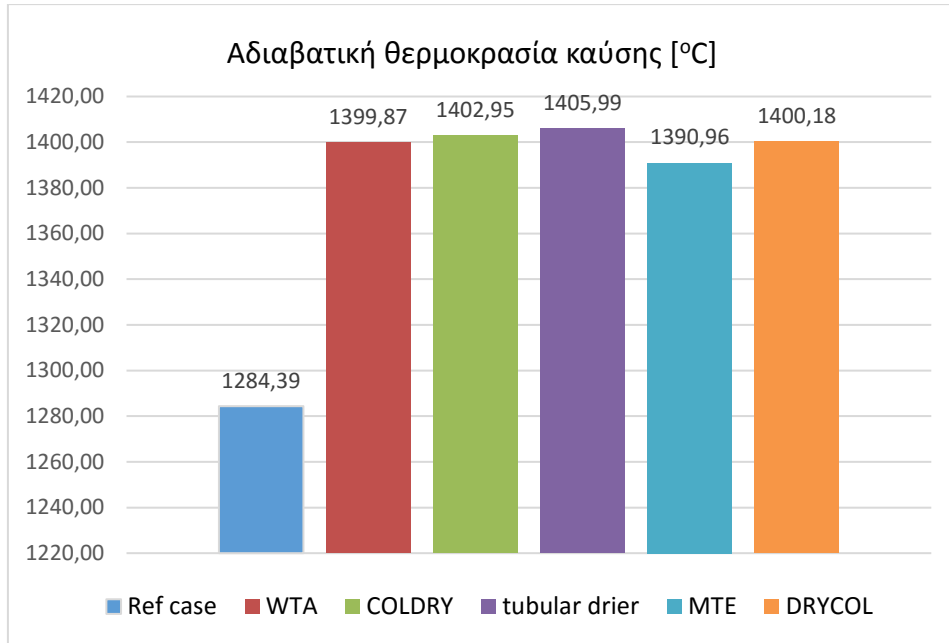
**Διάγραμμα 7-16:** Παροχή ψυκτικού νερού στο τελευταίο τμήμα του υπερθερμαντήρα για σταθερή παροχή αέρα



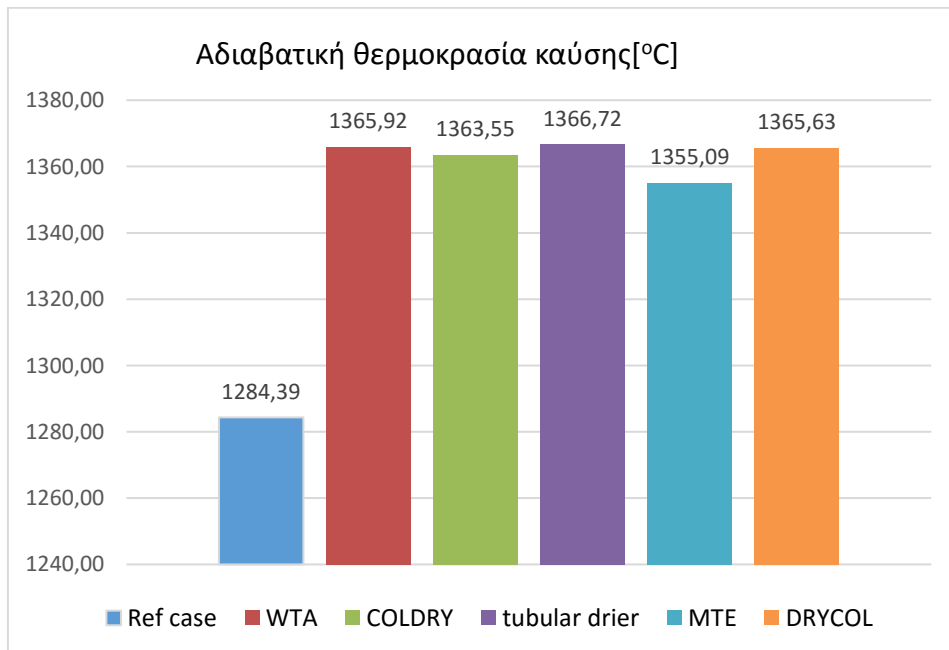
**Διάγραμμα 7-17:** Παροχή ψυκτικού νερού στο τελευταίο τμήμα του αναθερμαντήρα για σταθερό λόγο αέρα



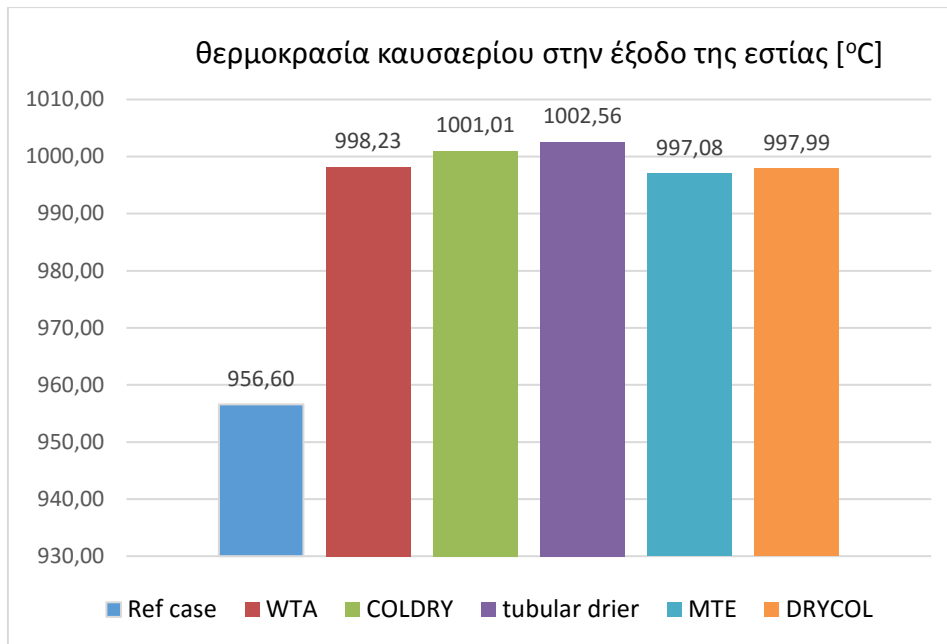
**Διάγραμμα 7-18:** Παροχή ψυκτικού νερού στο τελευταίο τμήμα του αναθερμαντήρα για σταθερή παροχή αέρα



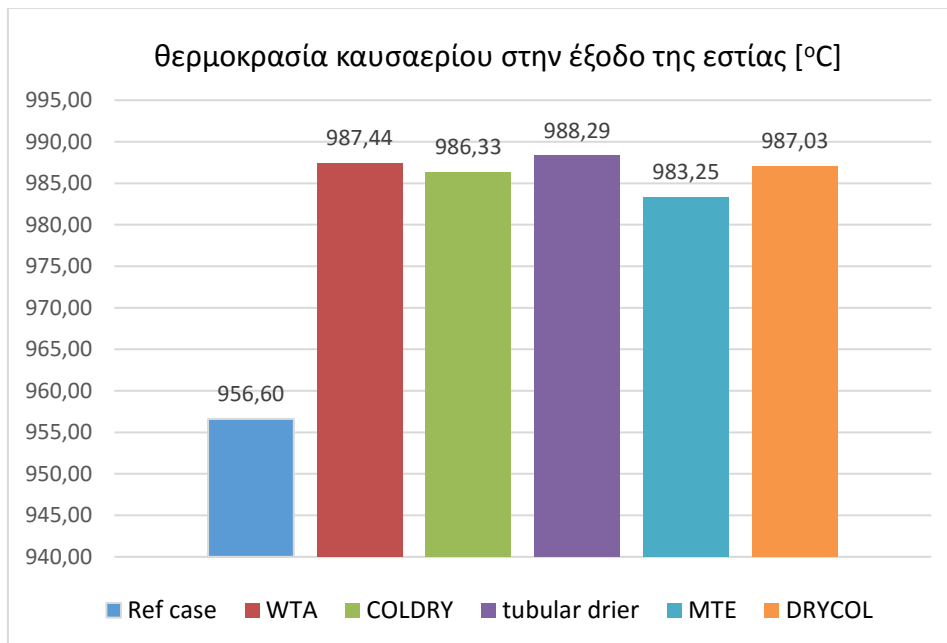
**Διάγραμμα 7-19: Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης για σταθερό λόγο αέρα**



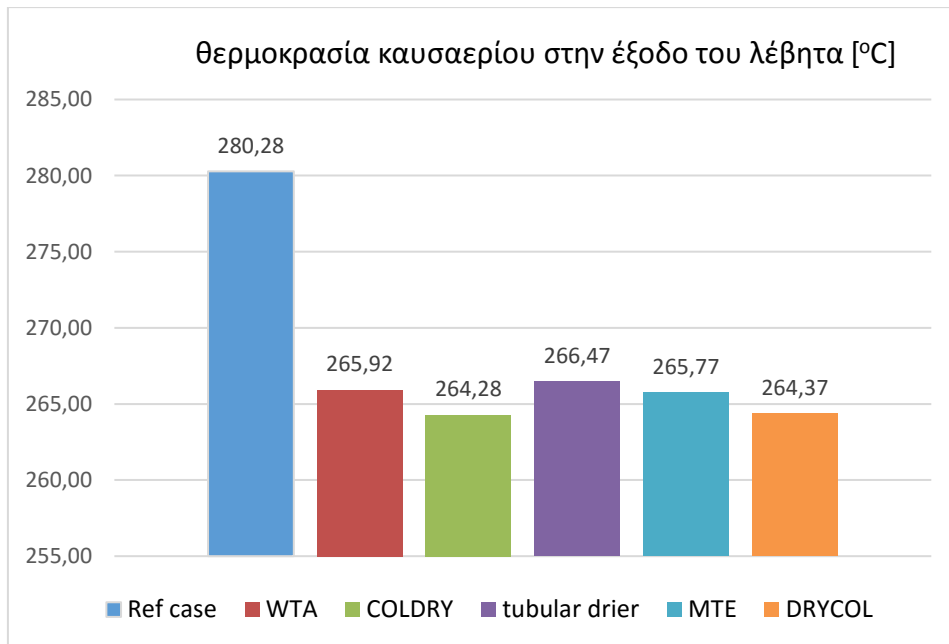
**Διάγραμμα 7-20: Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης για σταθερή παροχή αέρα**



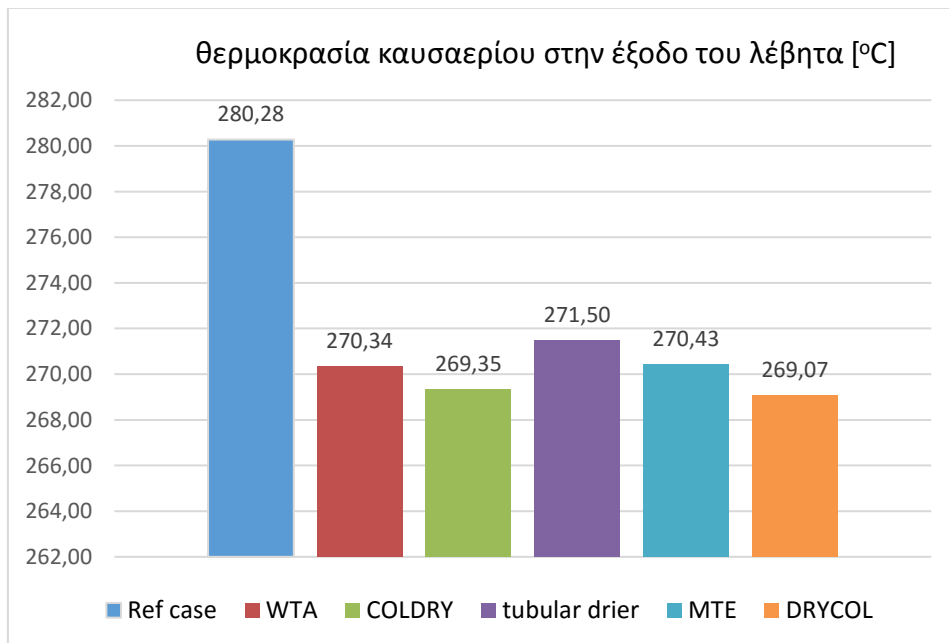
**Διάγραμμα 7-21: Θερμοκρασία καυσαερίου στην έξοδο της εστίας για σταθερό λόγο αέρα**



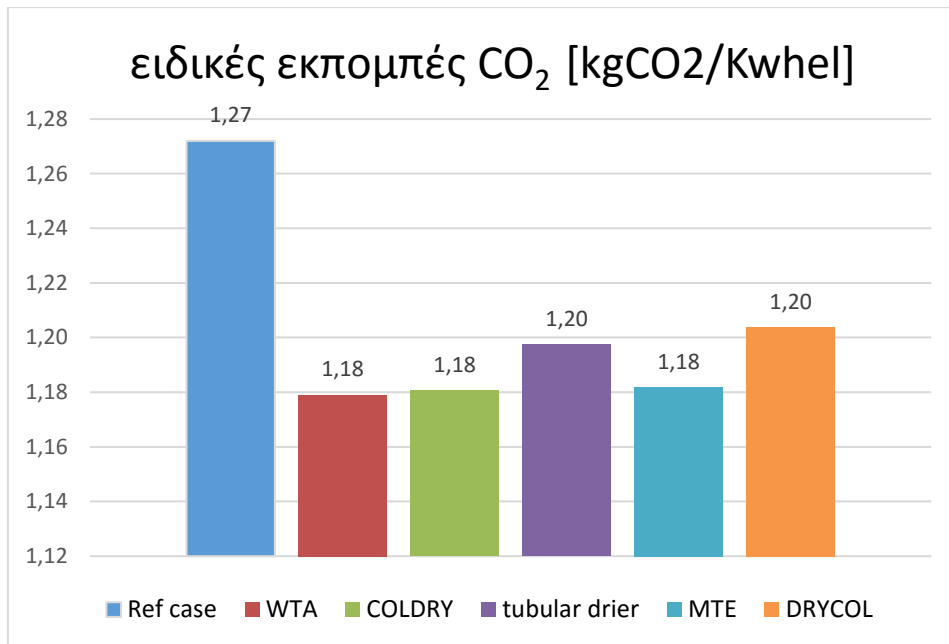
**Διάγραμμα 7-22: Θερμοκρασία καυσαερίου στην έξοδο της εστίας για σταθερή παροχή αέρα**



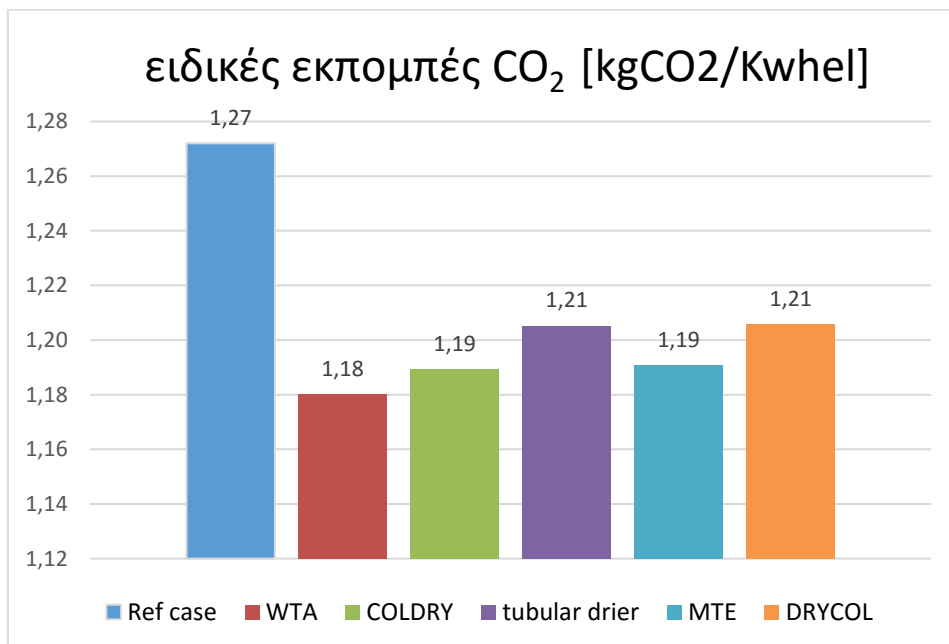
**Διάγραμμα 7-23: Θερμοκρασία καυσαερίου στην έξοδο του λέβητα για σταθερό λόγο αέρα**



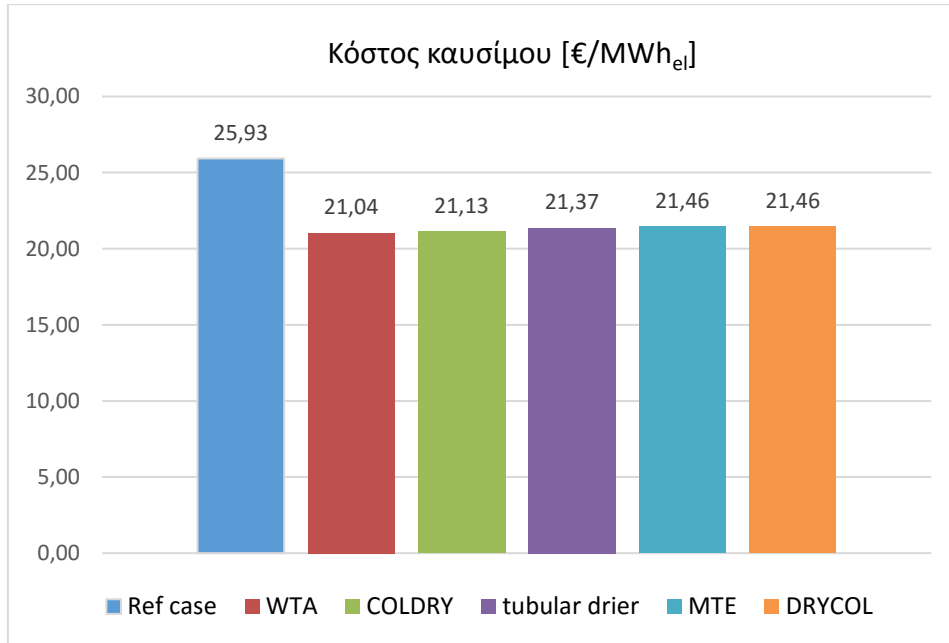
**Διάγραμμα 7-24: Θερμοκρασία καυσαερίου στην έξοδο του λέβητα για σταθερή παροχή αέρα**



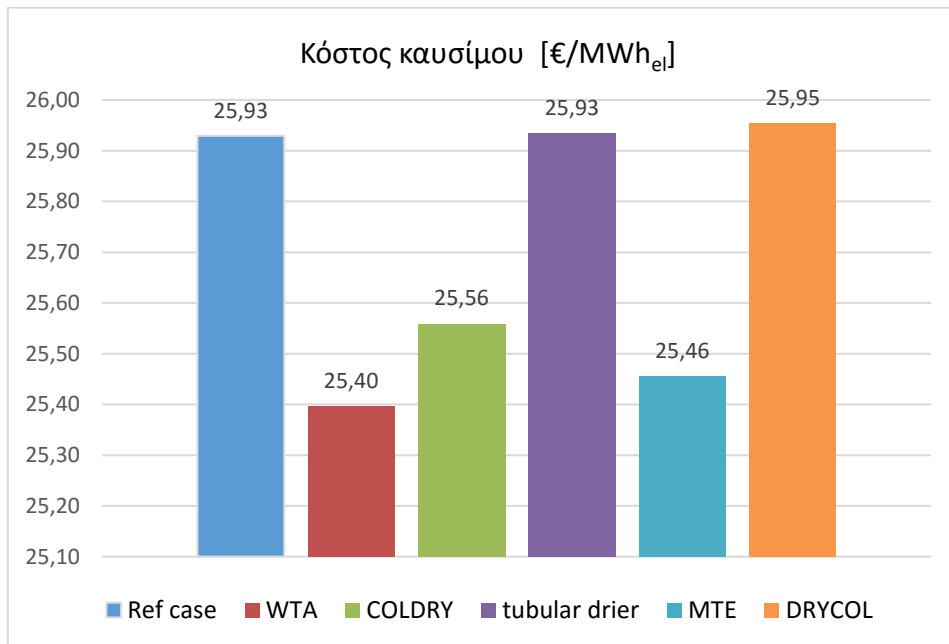
**Διάγραμμα 7-25: Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερό λόγο αέρα**



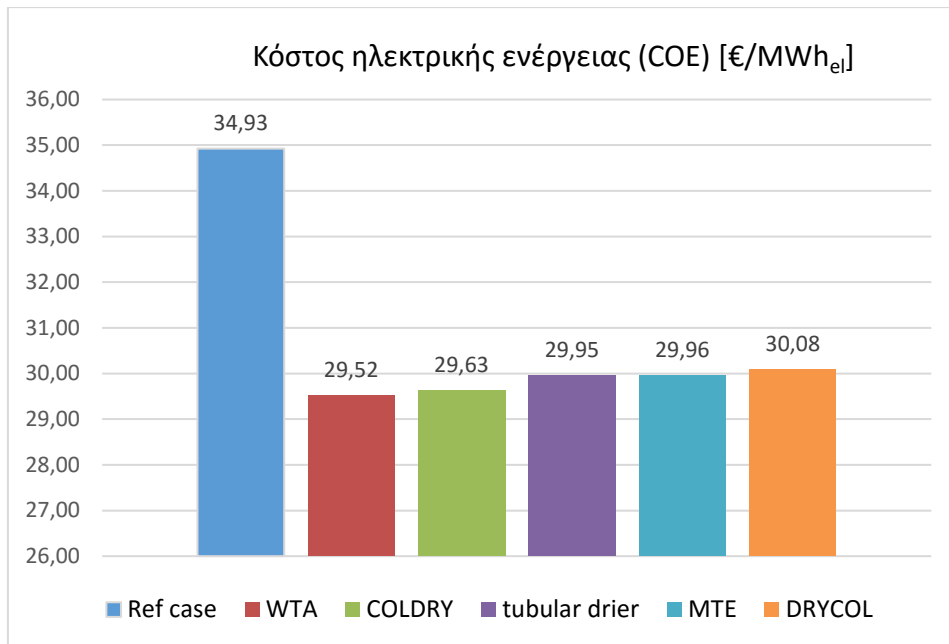
**Διάγραμμα 7-26: Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερή παροχή αέρα**



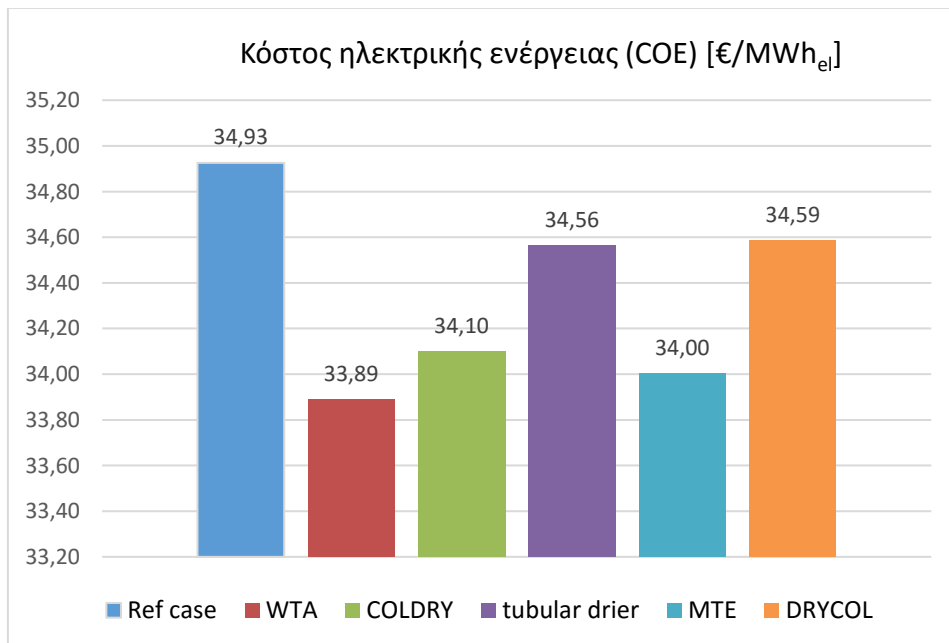
Διάγραμμα 7-27: Κόστος καυσίμου ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερό λόγο αέρα



Διάγραμμα 7-28: Κόστος καυσίμου ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερή παροχή αέρα

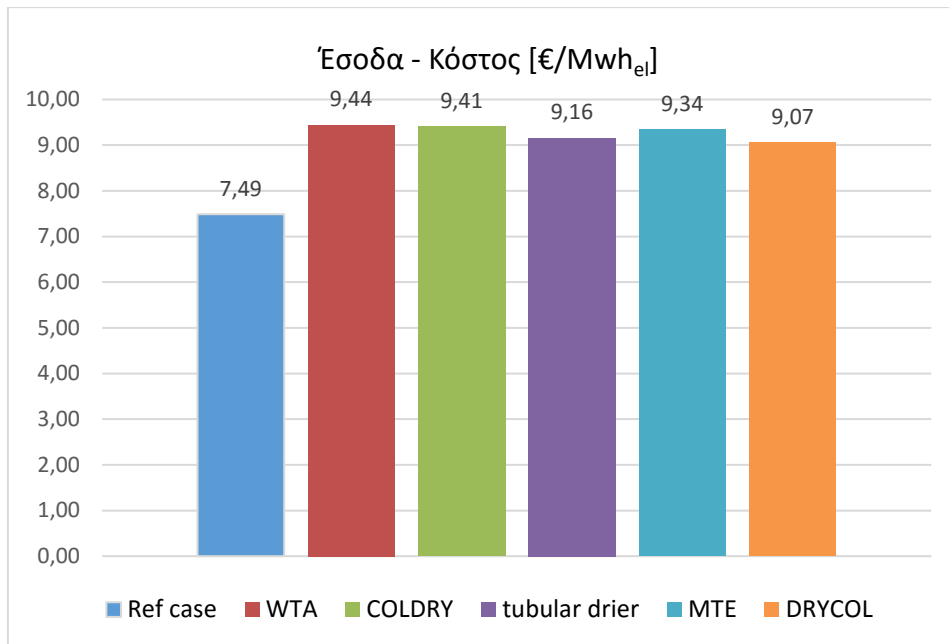


**Διάγραμμα 7-29: Κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερό λόγο αέρα**

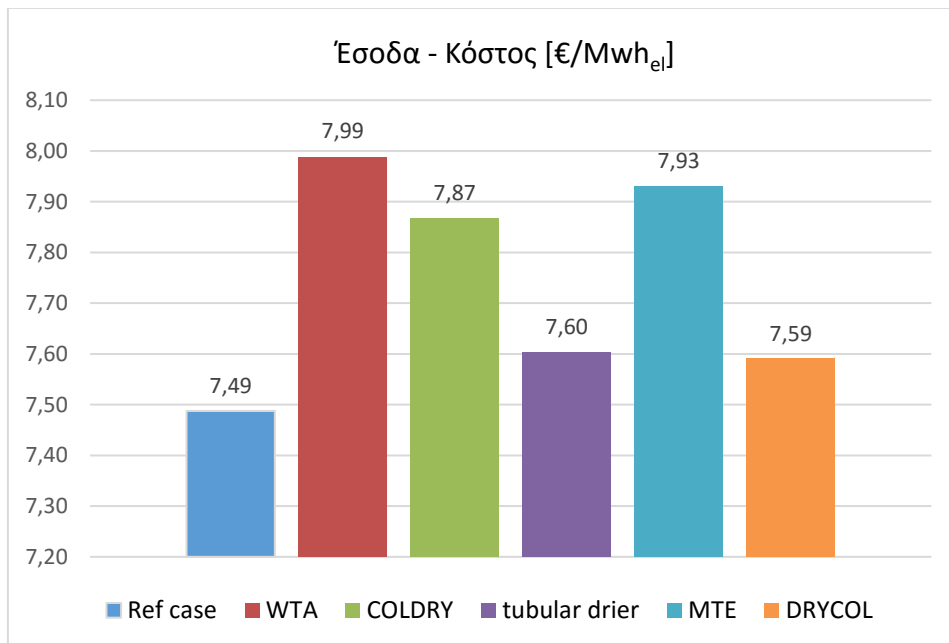


**Διάγραμμα 7-30: Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερή παροχή αέρα**

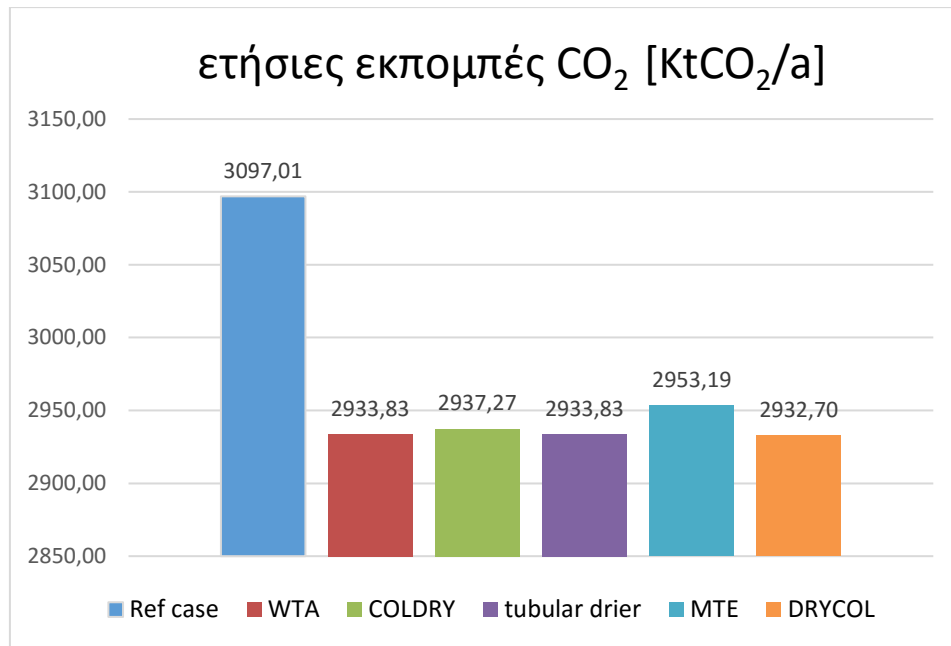




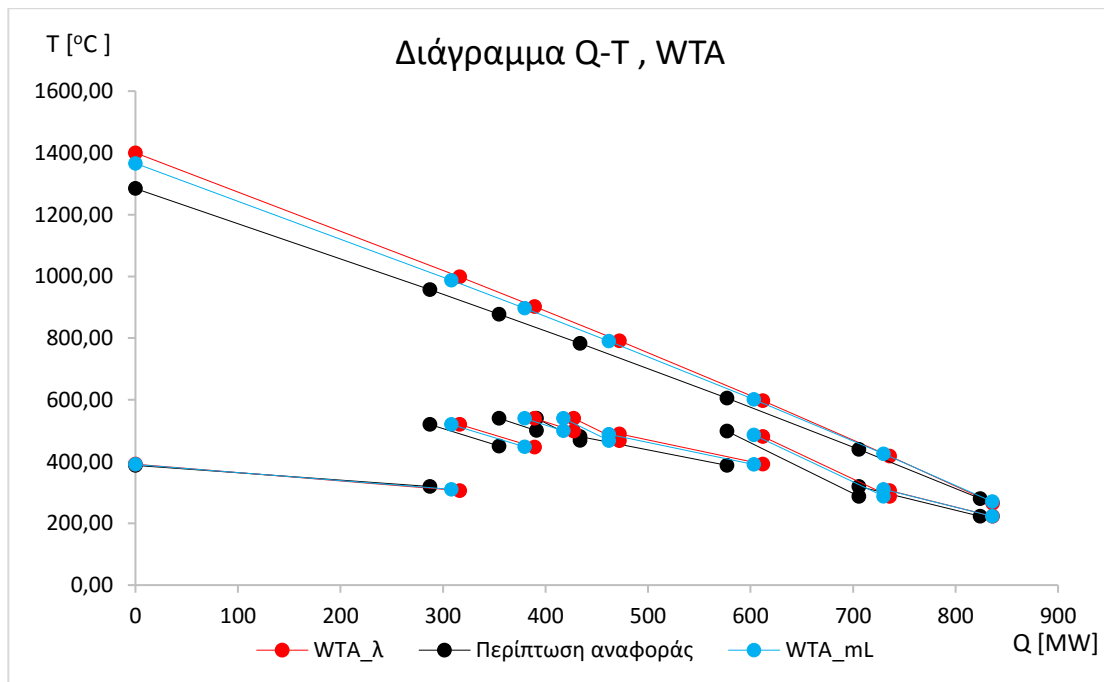
Διάγραμμα 7-31: «Κέρδος» από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερό λόγο αέρα



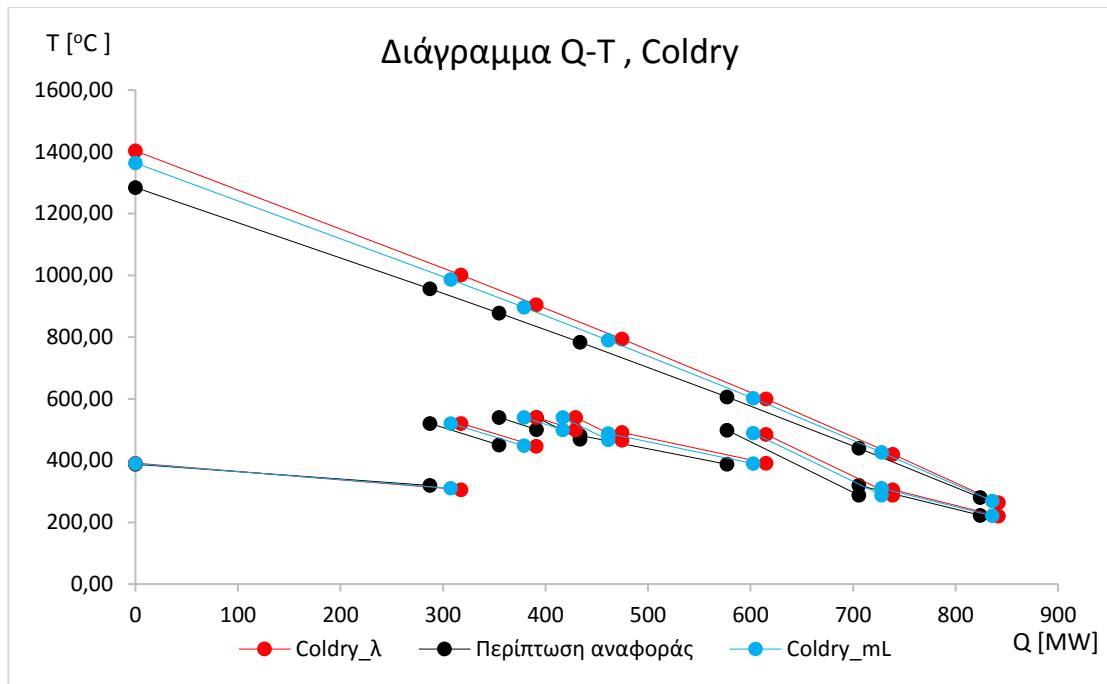
Διάγραμμα 7-32: «Κέρδος» από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας για σταθερή παροχή αέρα



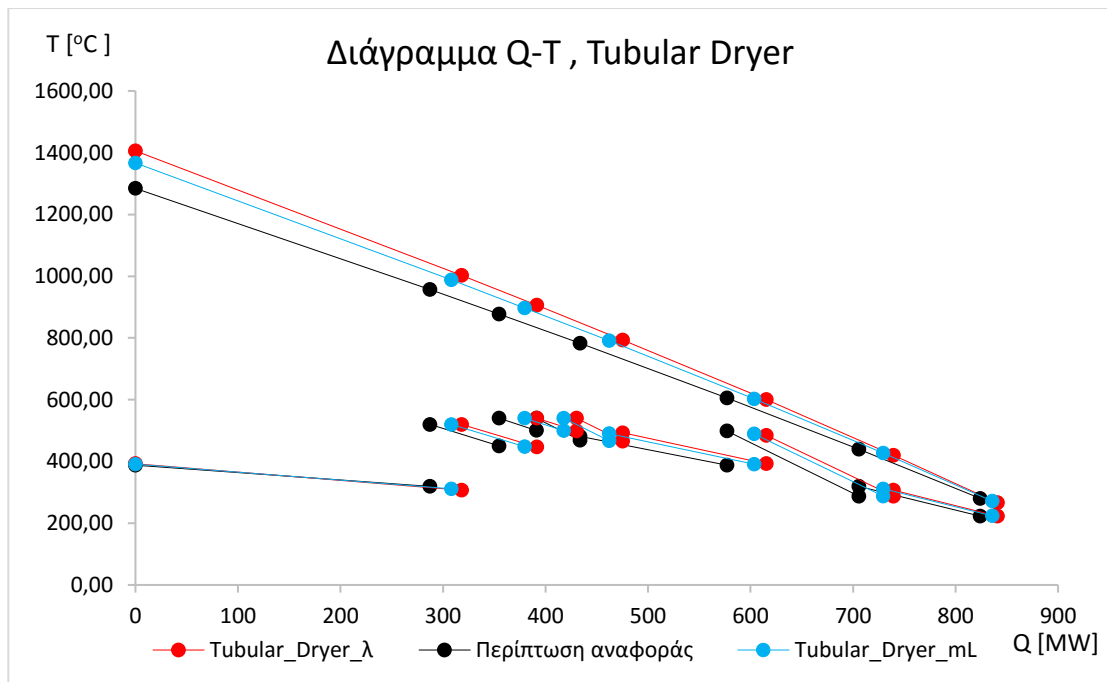
**Διάγραμμα 7-33:** Εκπομπές CO<sub>2</sub> σε ετήσια βάση, θεωρώντας 7500 h λειτουργίας σε πλήρες φορτίο ανά έτος για σταθερό λόγο αέρα



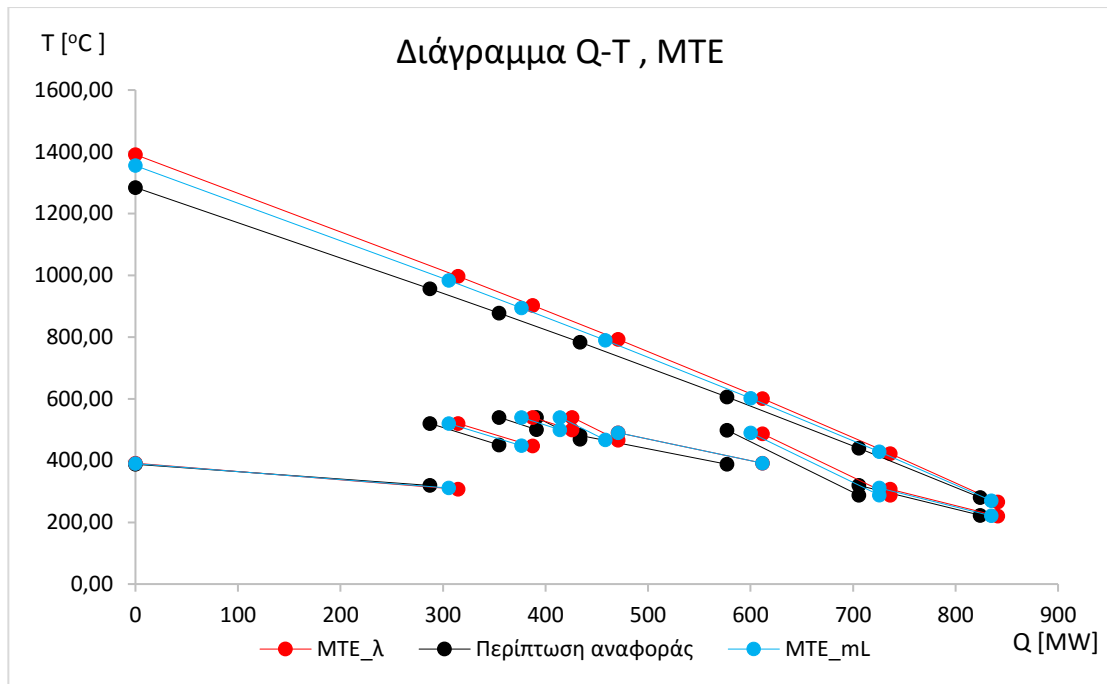
**Διάγραμμα 7-34:** Q-T συστήματος ξήρανσης WTA για τα δύο σενάρια λειτουργίας



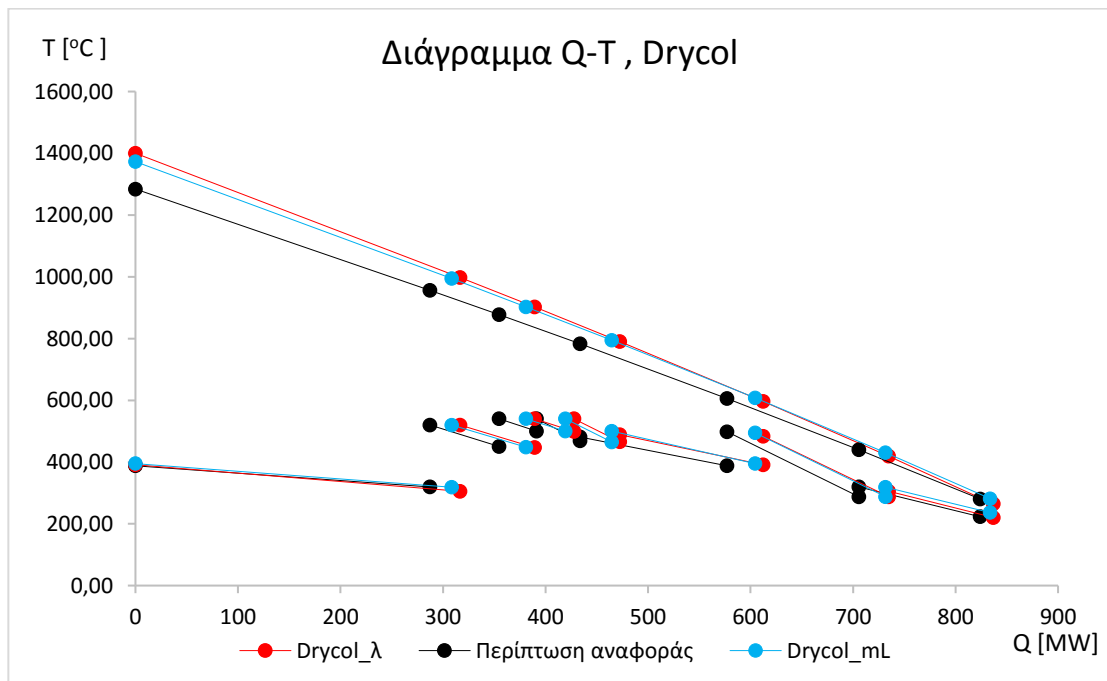
**Διάγραμμα 7-35: Q-T συστήματος ξήρανσης Coldry για τα δύο σενάρια λειτουργίας**



**Διάγραμμα 7-36: Q-T συστήματος ξήρανσης tubular dryer για τα δύο σενάρια λειτουργίας**



**Διάγραμμα 7-37: Q-T συστήματος ξήρανσης ΜΤΕ για τα δύο σενάρια λειτουργίας**



**Διάγραμμα 7-38: Q-T συστήματος ξήρανσης Drycol για τα δύο σενάρια λειτουργίας**

## 8. Συμπεράσματα:

Παρατηρούμε αρχικά ότι για την απόδοση στο θάλαμο καύσης του ίδιου θερμικού φορτίου από το καύσιμο, στις περιπτώσεις χρήσης ξηρού λιγνίτη απαιτείται μικρότερη παροχή μάζας καυσίμου από αυτή της περίπτωσης αναφοράς, εφόσον ο ξηρός λιγνίτης και επακόλουθα το "ισοδύναμο" καύσιμο έχει αυξημένη θερμογόνο ικανότητα σε σχέση με τον φυσικό λιγνίτη. Επίσης, στην περίπτωση σταθερού λόγου αέρα παρατηρείται και μείωση στην παροχή του αέρα αφού σε αυτή την περίπτωση, για την καύση μικρότερης ποσότητας καυσίμου απαιτείται λιγότερος αέρας. Ταυτόχρονα με τη μείωση στο καύσιμο παρατηρείται και μείωση της συνολικής παροχής του καυσαερίου και επακόλουθα των ρευμάτων προς την ανακυκλοφορία και προς τους εναλλάκτες, αφού ο λόγος τους όπως είπαμε παραμένει σταθερός. Η μείωση αυτή του καυσαερίου είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση με σταθερό λόγο αέρα, αφού επηρεάζεται τόσο από τη μείωση στο καύσιμο όσο και από τη μείωση στον αέρα, ο οποίος στο άλλο σενάριο λειτουργίας μένει σταθερός.

Συνολικά, το σενάριο σταθερού λόγου αέρα εμφανίζει μεγαλύτερη απόδοση σε μια σειρά μεγεθών. Πιο συγκεκριμένα: όσον αφορά το συνολικό βαθμό απόδοσης, Διαγράμματα 7-1, 7-2, το σύστημα ξήρανσης MTE παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση και ακολουθούν οι τεχνολογίες WTA, Coldry, tubular dryer, ενώ η Drycol εμφανίζει ανεπαίσθητη αύξηση μόλις 0.02 %.

Η μεγαλύτερη αύξηση της ωφέλιμης θερμικής ισχύος αποδίδεται στην τεχνολογία Coldry, ακολουθούν οι MTE, tubular dryer, Drycol, ενώ τη μικρότερη βελτίωση παρουσιάζει η WTA, Διαγράμματα 7-7, 7-8.

Η προσδιδόμενη θερμική ισχύς στον ατμοπαραγωγό είναι σταθερή ανεξαρτήτως σεναρίου λειτουργίας και συστήματος προ-ξήρανσης του καυσίμου. Οι διαφορές στα διαγράμματα 7-5 και 7-6 οφείλονται σε σφάλματα υπολογισμού λόγω στρογγυλοποίησης και είναι μικρότερα από 1 KW σε κάθε περίπτωση.

Με βάση τις προηγούμενες δύο παραγράφους είναι σαφές ότι η βελτίωση του βαθμού απόδοσης του λέβητα ακολουθεί την πορεία της ωφέλιμης θερμικής ισχύος. Διαγράμματα 7-3, 7-4.

Επίσης, παρατηρείται αύξηση στη θερμοκρασία αδιαβατικής καύσης από 115 έως 120 °C, Διαγράμματα 7-19, 7-20. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη, αφού περιμένουμε μεγαλύτερη αδιαβατική ενθαλπία καύσης τόσο λόγω της αυξημένης θερμογόνου ικανότητας του ισοδύναμου καυσίμου όσο και λόγω της μείωσης της παροχής του καυσαερίου, ιδιαίτερα στο σενάριο σταθερού λόγου αέρα η αύξηση είναι ακόμα μεγαλύτερη, η υψηλότερη θερμοκρασία παρουσιάζεται στην περίπτωση της ξήρανσης σε περιστρεφόμενο ξηραντήρα. Δεδομένου ότι παροχή τροφοδοτικού νερού διαμέσου του ατμοποιητή (EVAP) είναι σταθερή και το εργαζόμενο μέσο (νερό/ατμός) προσλαμβάνει σχεδόν αποκλειστικά την απαιτούμενη θερμότητα για την αλλαγή φάσης, οι θερμοκρασίες καυσαερίων στην έξοδο της εστίας, Διαγράμματα 7-21, 7-22, ακολουθούν τις αδιαβατικές θερμοκρασίες καύσης. Ένας ακόμα παράγοντας που συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας καυσαερίου στην έξοδο της εστίας, λόγω του ότι στις περιπτώσεις ξηρού λιγνίτη, όπου το ποσοστό υγρασίας είναι μικρότερο, δεν έχουμε τη μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίου εντός της εστίας που υφίσταται στην περίπτωση του κλειστού κύκλου όπου

προσθέτουμε μέσω των καυστήρων υδρατμού (vapour burners) και πάλι την υγρασία του λιγνίτη μαζί με το ρεύμα καυσαερίου ανακυκλοφορίας (carrier gas) που έχει ψυχθεί κατά την ξήρανση. Ουσιαστικά δηλαδή προσθέτουμε λιγότερο ψυχρό καυσαέριο ανακυκλοφορίας.

Η θερμοκρασία εξόδου του καυσαερίου από το λέβητα σχετίζεται άμεσα με την ωφέλιμη θερμική ισχύ που παραλαμβάνεται από το εργαζόμενο μέσο αλλά και την θερμοκρασία εισόδου του τροφοδοτικού νερού στον οικονομητήρα, οπότε είναι αναμενόμενη η χαμηλότερη θερμοκρασία που εμφανίζουν τα συστήματα Coldry και Drycol για σταθερό λόγο και σταθερή παροχή αέρα αντίστοιχα, Διαγράμματα 7-23, 7-24.

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες καυσαερίου στα διάφορα τμήματα του λέβητα απαιτούν μεγαλύτερες παροχές μάζας ψυκτικού νερού για τη διατήρηση των ανώτερων θερμοκρασιακών ορίων στα τμήματα 2, Διαγράμματα 7-13, 7-14, και 3, Διαγράμματα 7-15, 7-16, του υπερθερμαντήρα και στο τμήμα 2 του αναθερμαντήρα, Διαγράμματα 7-17, 7-18, οι οποίες μεγαλύτερες παροχές οδηγούν στην αύξηση των παροχών υπέρθερμου, Διαγράμματα 7-9 και 7-10, και ανάθερμου, Διαγράμματα 7-11 και 7-12, ατμού προς τους ατμοστροβίλους υψηλής και μέσης πίεσης αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη παροχή υπέρθερμου ατμού αποδίδεται στο σύστημα περιστρεφόμενου ξηραντήρα, ενώ η μεγαλύτερη παροχή ανάθερμου ατμού στο σύστημα WTA ανεξάρτητα από το σενάριο λειτουργίας.

Οι χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται από το σύστημα WTA και ακολουθούν τα Coldry και MTE στο σενάριο σταθερού λόγου αέρα.

Το σύστημα ξήρανσης WTA παρουσιάζει χαμηλότερα κόστη καυσίμου, Διαγράμματα 7-27, 7-28, άρα και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, Διαγράμματα 7-29, 7-30. Συνεπώς η τεχνολογία με το μικρότερο κόστος παραγωγής θα εμφανίζει τα υψηλότερα πρωτογενή έσοδα, Διάγραμμα 7-31.

Τέλος τα διαγράμματα Q-T, Διαγράμματα 7-33 έως 7-38, που δίνονται για κάθε σύστημα ξήρανσης στα δύο σενάρια λειτουργίας και την περίπτωση αναφοράς, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και πρακτικότητα, αφού απ'αυτά μπορούν να προκύψουν εύκολα η αντίστοιχη προσλαμβανόμενη από το εργαζόμενο μέσο θερμική ισχύς σε κάθε κομμάτι του Α/Π, οι θερμοκρασίες και η ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά (pinch point). Στις περιπτώσεις που εξετάζουμε, από τα διαγράμματα αυτά διακρίνεται η κατά απόλυτη τιμή αύξηση της κλίσης της καμπύλης του καυσαερίου που οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας αδιαβατικής καύσης και στην αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του καυσαερίου από την εστία. Επίσης υφίσταται και μεταβολή στις θερμοκρασίες του ατμού αλλά μικρότερη λόγω της μεγαλύτερης ειδικής θερμοχωρητικότητας του ατμού από αυτήν του καυσαερίου.

Από άποψη εκπομπών CO<sub>2</sub>, οι περιπτώσεις καύσης με ξηρό λιγνίτη φαίνονται ευνοϊκότερες αφού όπως αναφέρθηκε η παροχή του καυσαερίου είναι μικρότερη. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και από τους σχετικούς πίνακες, οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στο καυσαέριο μειώνονται για την περίπτωση σταθερής παροχής αέρα, ενώ αντίθετα αυξάνονται για την περίπτωση σταθερού λόγου αέρα. Όμως τελικά η παροχή του CO<sub>2</sub> είναι μικρότερη και στις δυο περιπτώσεις λόγω της μεγάλης μείωσης της παροχής του καυσαερίου.

Ζήτημα προς αντιμετώπιση αποτελεί η βέβαιη αύξηση των εκπομπών οξειδίων αζώτου (NO<sub>x</sub>), κυρίως θερμικών, λόγω της μεγάλης αύξησης των θερμοκρασιών εντός της εστίας.

Με γνώμονα τις παραμέτρους που εξετάστηκαν η τεχνολογία ξήρανσης WTA φαντάζει η καταλληλότερη επιλογή.

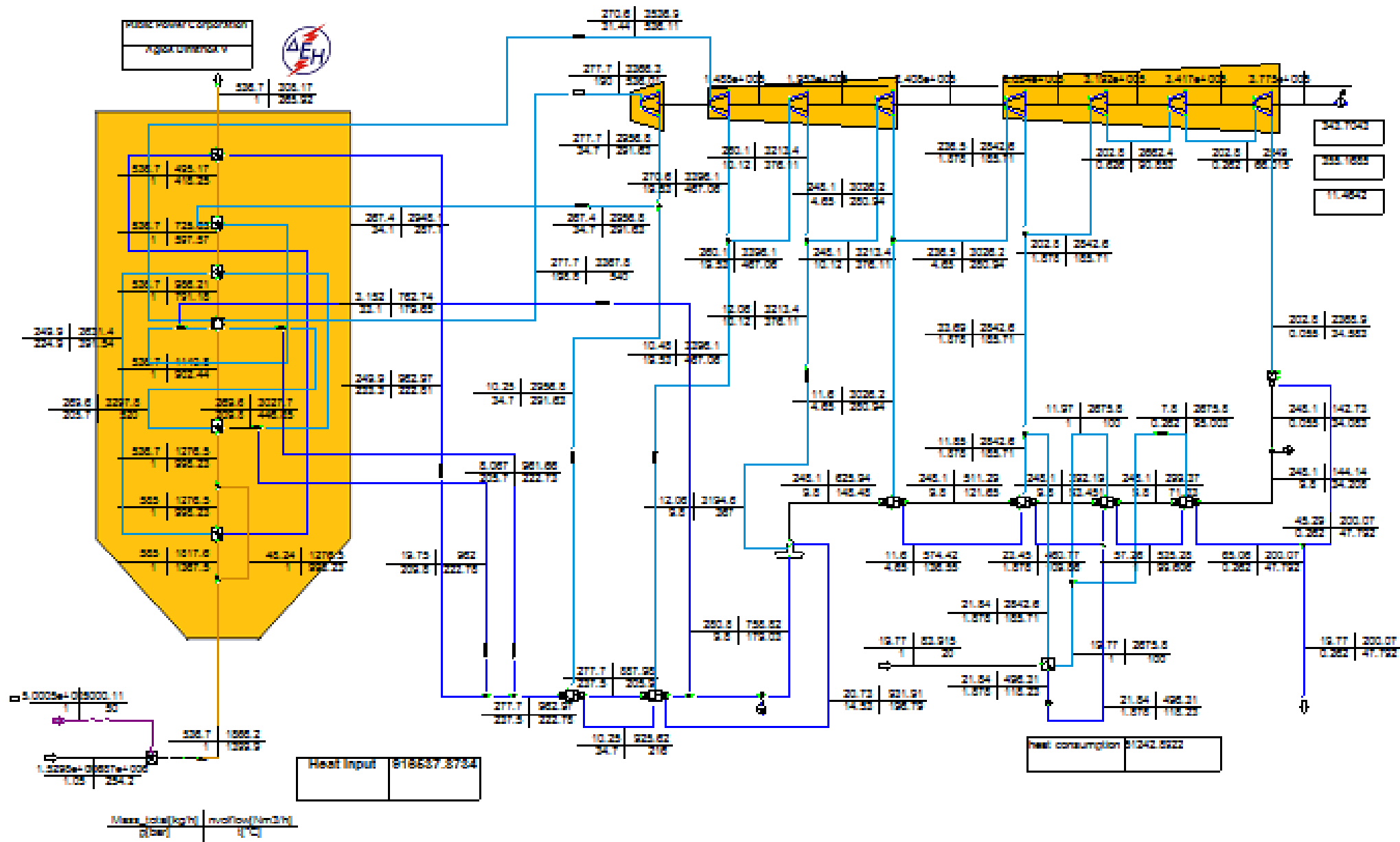
## 9. Αναφορές:

- [1] Jangam SV, Karthikeyan M, Mujumdar AS. Critical assessment of drying of low rank coal, 2011.
- [2] <https://www.dei.gr/el/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/oruxeia>
- [3] Αγρανιώτης Μ., Υποκατάσταση γαιάνθρακα από εναλλακτικά και υποστηρικτικά καύσιμα σε λέβητες κονιοποιημένου καυσίμου για τη μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>, 2010.
- [4] Nikolopoulos N., et al.: Report on comparison among current industrial scale lignite drying technologies (A critical review of current technologies), FUEL 155 (2015) 86-114.
- [5] H. Osman, S.V. Jangam, J. D. Lease, Arun S. Mujumdar, Drying of low-rank coal (LRC) – A review of recent patents and innovations, 2011.
- [6] Zhu Q, Update on lignite firing, IEA Clean Coal Centre, 2012.
- [7] H.B. Osman, S.V. Jangam and A.S. Mujumdar, Review of Patents on Drying of Low Rank Coal, 2011.
- [8] Lignite Fuel Enhancement, U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, A DOE Assessment, April 2011.
- [9] Drying Out – World Coal Magazine – April 2012 - ECT, <http://www.ectltd.com.au/wp-content/uploads/ECT.pdf>.
- [10] Coldry Technology in the Latrobe Valley, Presentation: CoalTech 2010.
- [11] MICROWAVES FOR COAL QUALITY IMPROVEMENT: THE DRYCOL PROJECT, SACPS/International Pittsbrugh Coal Conference 2007, Johannesburg, South Africa, September 10-14, 2007.
- [12] <http://coaltek.com/high-quality-coal-overview>.
- [13] <http://journals.bg.agh.edu.pl/MINING/2012.36.4/mining>. 2012.36.4.57.pdf
- [14] Agraniotis M, et al.: Investigation of Pre-Drying Lignite in an existing Greek Power Plant THERMAL SCIENCE, 2012, Vol.16, No.1, pp. 283-296
- [16] Ν. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΟΙ Ι-Γενικές Αρχές, *Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ*
- [17] Atsonios K., et al.: Pre-dried lignite technology implementation in partial load/low demand cases for flexibility enhancement, Energy 96 (2016) 427-436.
- [18] Kakaras E., et al.: Computer simulation studies for the integration of an external dryer into a Greek lignite-fired power plant, Fuel 81 (2002) 583-593.
- [19] DENSIFYING LIGNITE FOR AN EVAPORATIVE DRYING PROCESS, J. C. Steele & Sons

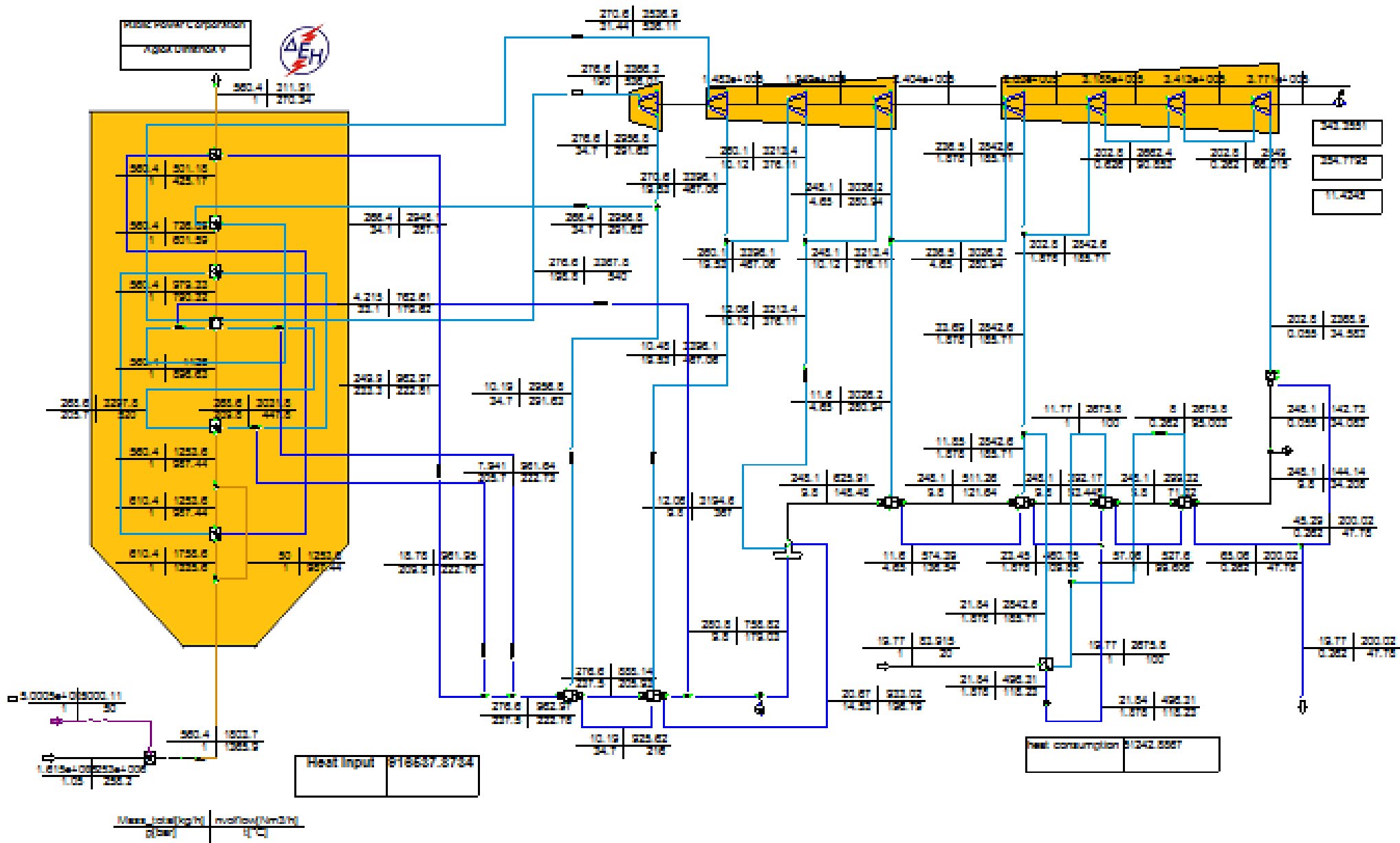


## I. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-ΣΧΗΜΑΤΑ:

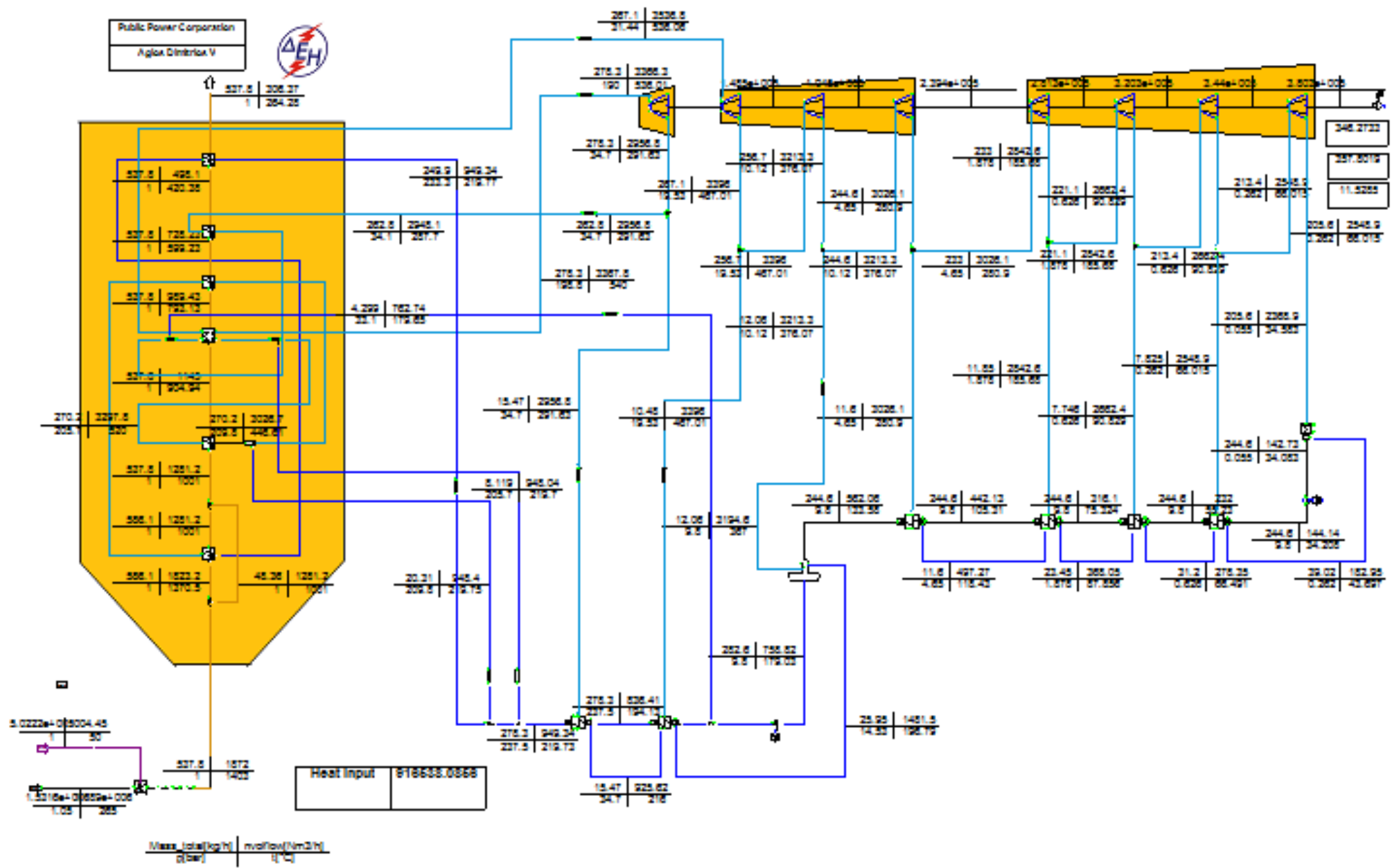




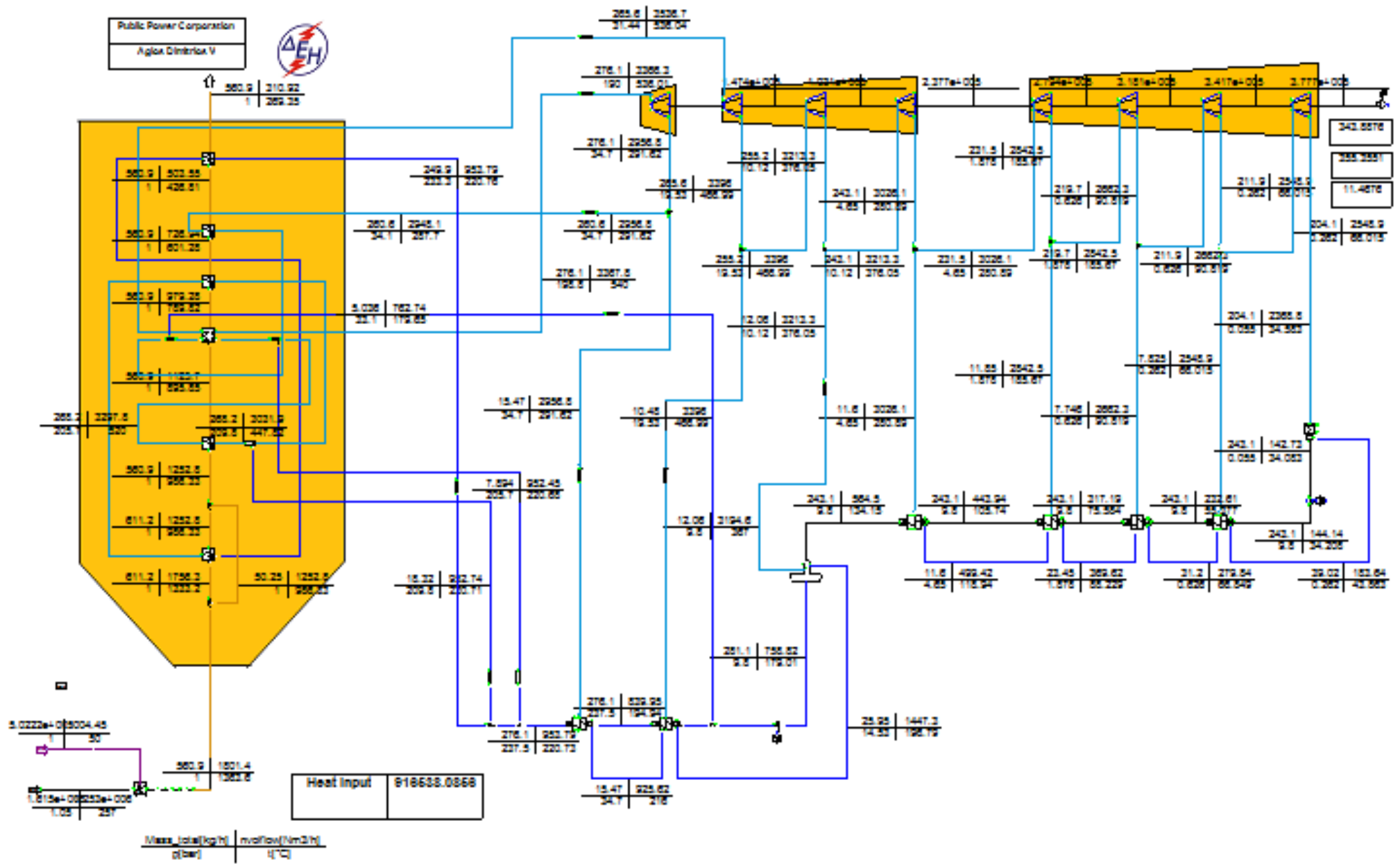
Σχήμα 2: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξηράνσης λιγνίτη WTA και  $\lambda=1.2$



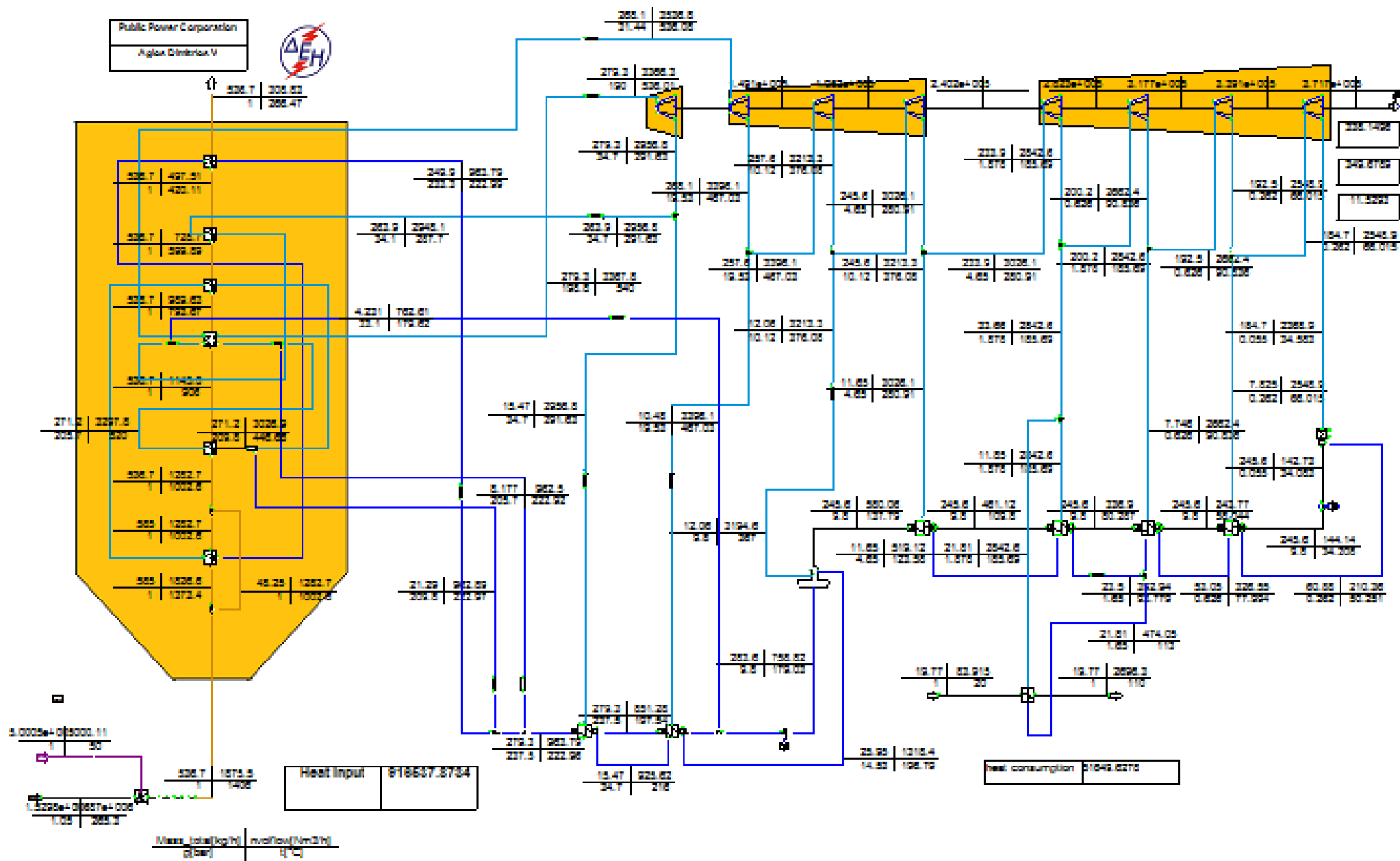
Σχήμα 3: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξηράνσης λιγνίτη WTA και  $\dot{m}_L = 448.6 \text{ kg/s}$



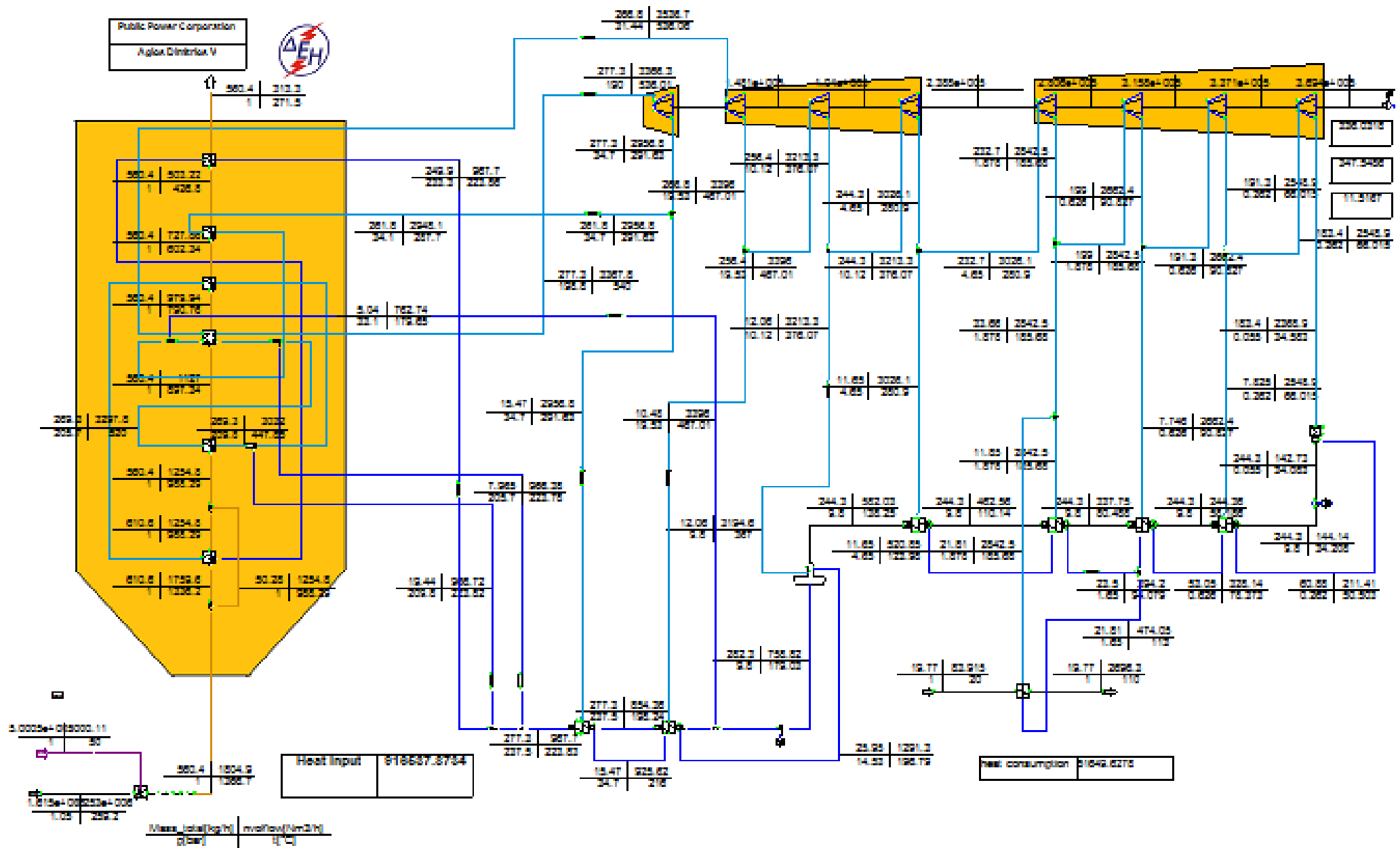
Σχήμα 4: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξήρανσης λιγνίτη Coldry και  $\lambda=1.2$



Σχήμα 5: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξήρανσης λιγνίτη Coldry και  $\dot{m}_L = 448.6 \text{ kg/s}$

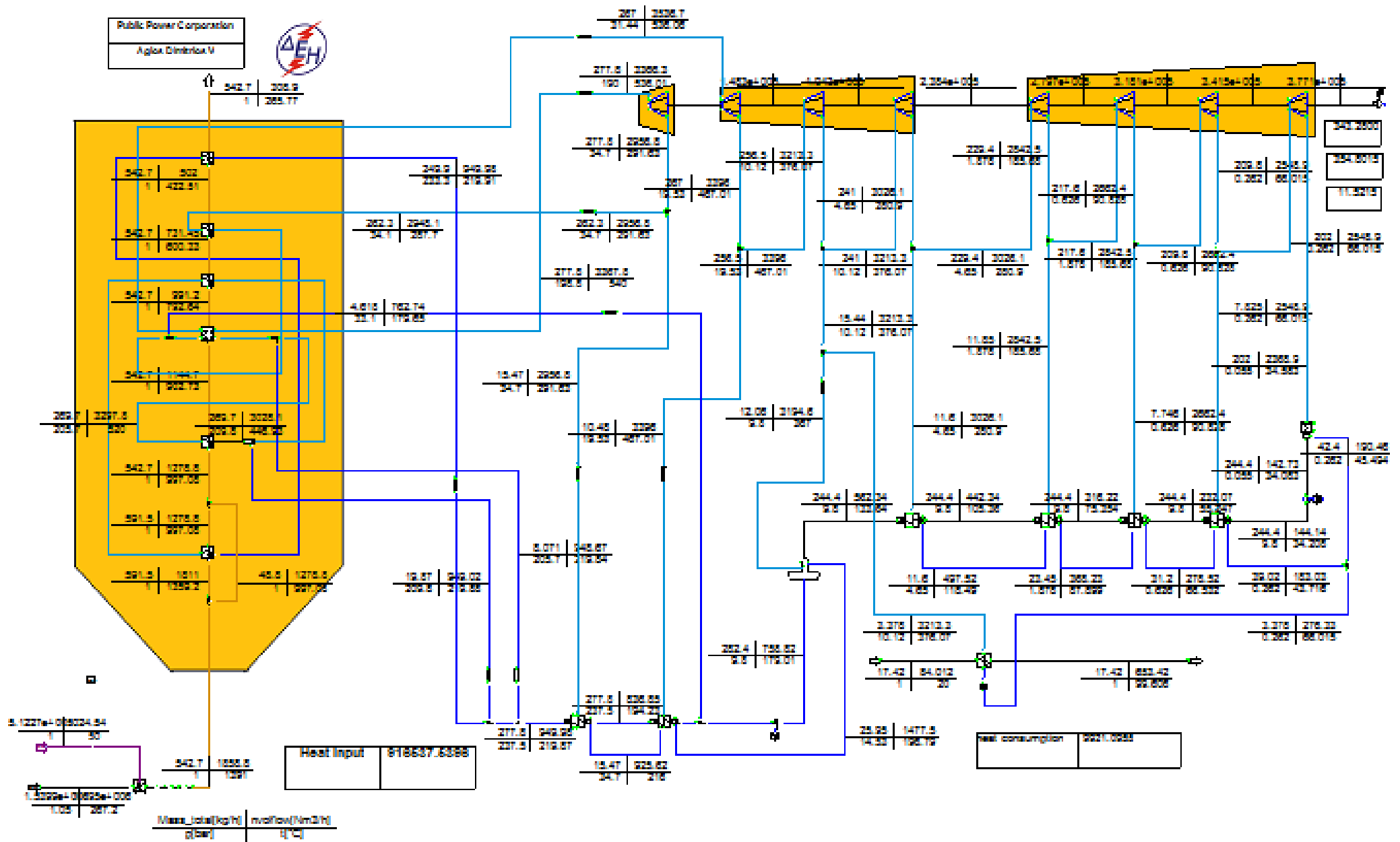


Σχήμα 6: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξηρανσης λιγνίτη tubular dryer και  $\lambda=1.2$

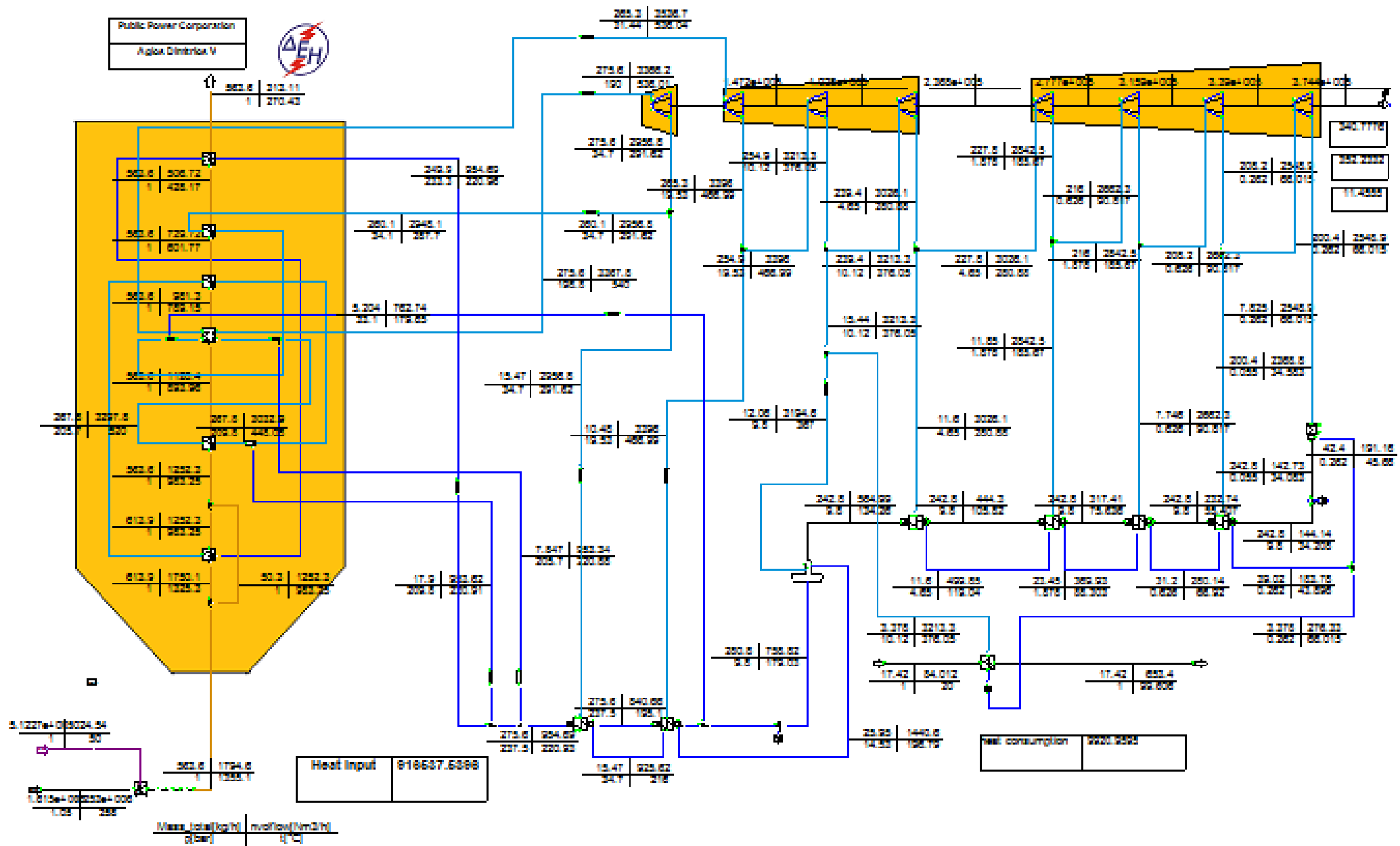


Σχήμα 7: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξήρασης λιγνίτη tubular dryer και  $\dot{m}_L = 448.6 \text{ kg/s}$

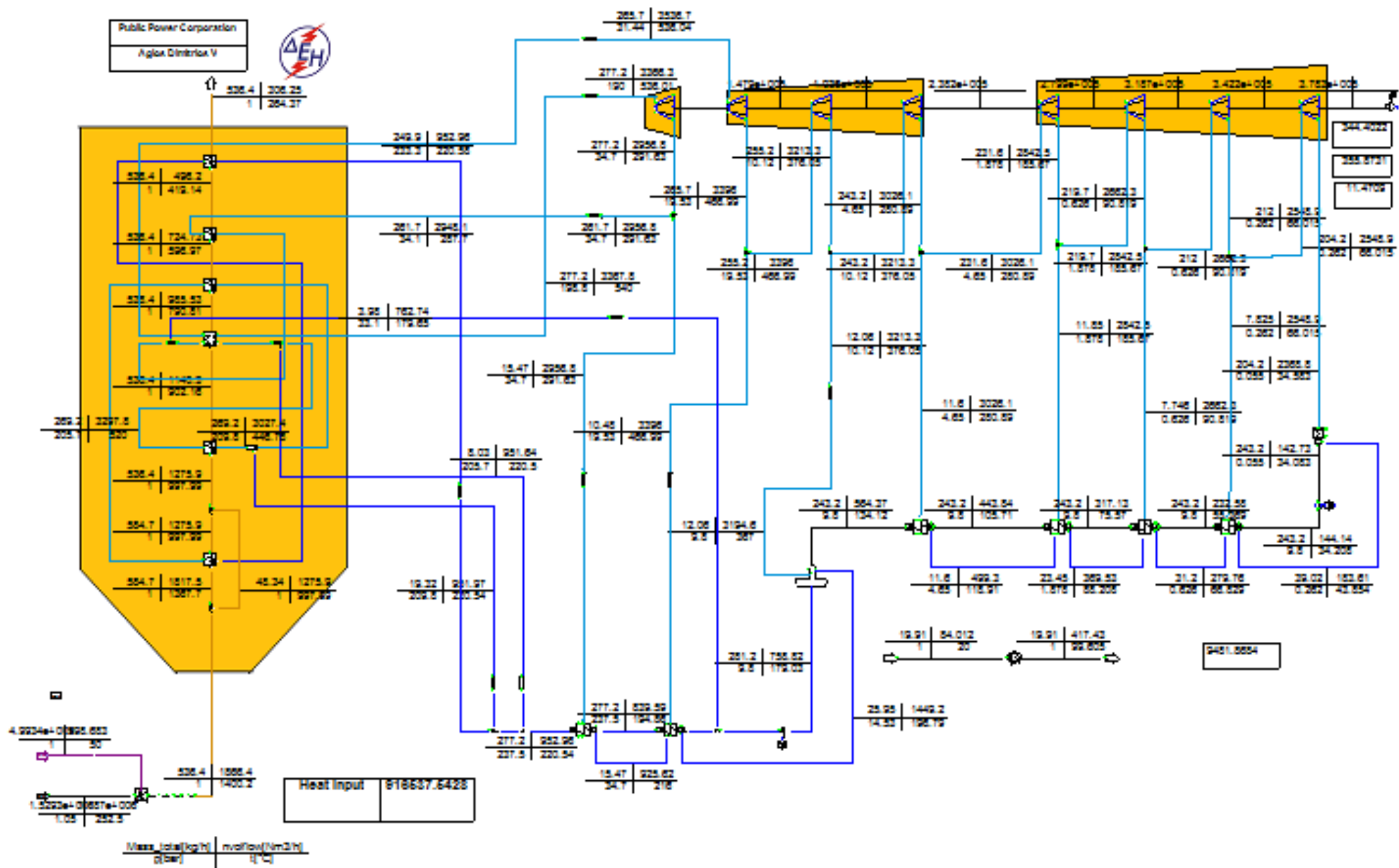




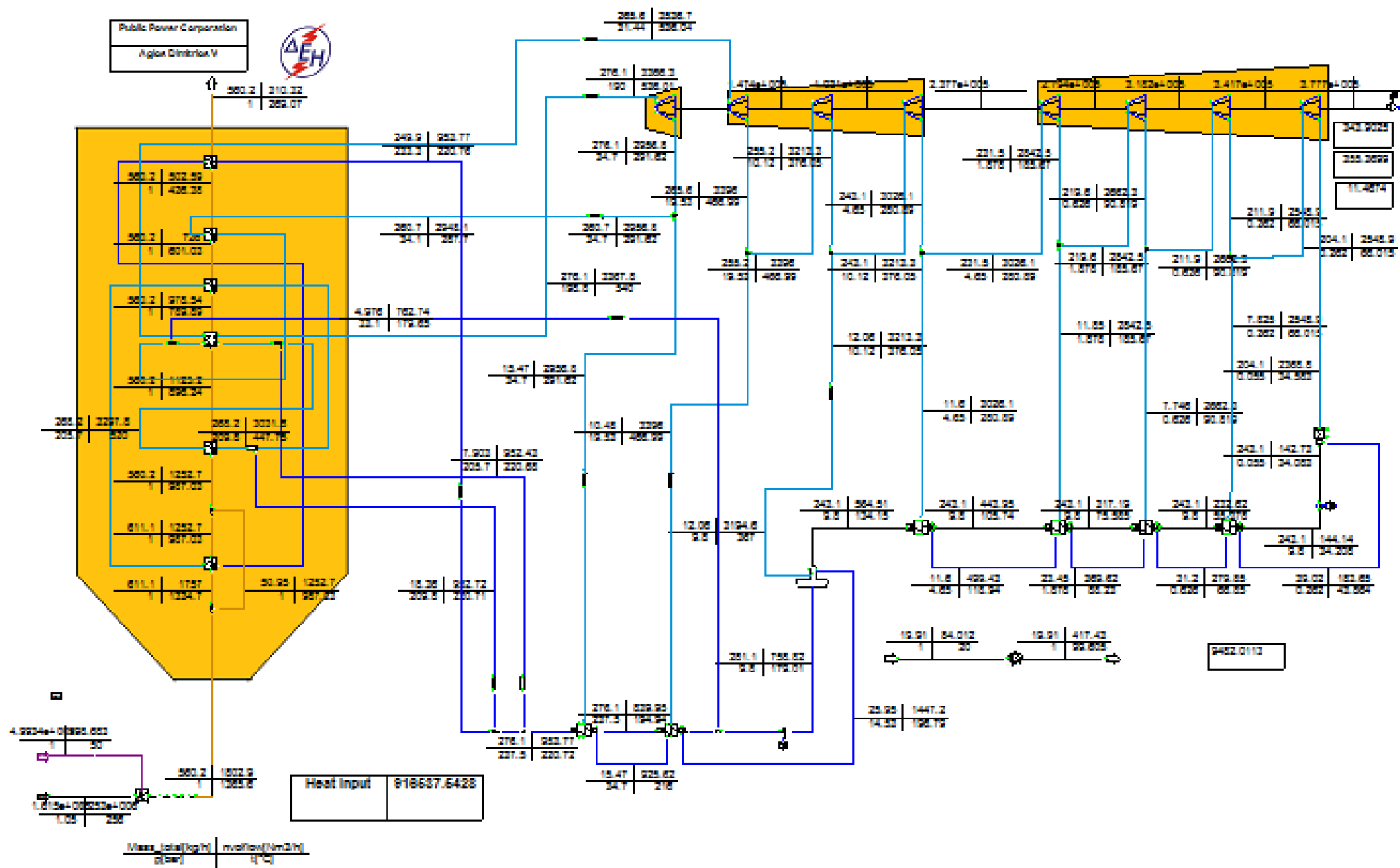
Σχήμα 8: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξήρανσης λιγνίτη ΜΤΕ και  $\lambda=1.2$



Σχίμα 9: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξήρανσης λιγνίτη ΜΤΕ και  $\dot{m}_L = 448.6 \text{ kg/s}$



Σχήμα 10: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξηρανσης λιγνίτη Drycol και  $\lambda=1.2$



Σχήμα 11: Η μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με μονάδα προ-ξηρανσης λιγνίτη Drycol και  $\dot{m}_L = 448.6 \text{ kg/s}$