



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



“Energy resources: Technologies & Management”

“Διεργασίες αναβάθμισης άνθρακα”

Δρ. Γεώργιος Σκόδρας
Αν. Καθηγητής



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



- Χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τον καθαρισμό
- Προκατεργασία – Μείωση μεγέθους και διαχωρισμός
- Φυσικός καθαρισμός
- Απομάκρυνση υγρασίας – Ξήρανση
- Χημικός καθαρισμός



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Ανάλογα με τις ιδιότητες του άνθρακα τροφοδοσίας και τις προδιαγραφές, όσον αφορά στο καθαρό προϊόν, ο καθαρισμός του άνθρακα περιλαμβάνει μία σειρά από φυσικές, χημικές ή θερμικές διεργασίες οι οποίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους συνδυασμούς.

Η φιλοσοφία του συνολικού σχεδιασμού των μονάδων καθαρισμού βασίζεται στην **σταδιακή βελτίωση της ποιότητας του άνθρακα**, ώστε να εφαρμόζονται οι λιγότερο δαπανηρές τεχνικές για υψηλά επίπεδα παραγωγής και οι περισσότερο δαπανηρές για τα χαμηλότερα επίπεδα παραγωγής.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Οι διεργασίες προ-επεξεργασίας, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την θραύση και τον διαχωρισμό των μεγεθών, οδηγούν στην αποδέσμευση των προσμείξεων από τους άνθρακες και σε κατανομής μεγέθους σωματιδίων που είναι κατάλληλα για χρήση σε κυκλώματα καθαρισμού.

Οι φυσικές και χημικές διεργασίες οδηγούν στην αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων υλικού διαφόρων ανεπιθύμητων συστατικών του ακατέργαστου άνθρακα, όπως η ανόργανη ύλη που δημιουργεί την τέφρα, οι ενώσεις του θείου και τα ιχνοστοιχεία, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την αύξηση της απόδοσης των διεργασιών καύσης ή μετατροπής του άνθρακα.

Οι διεργασίες προοδοποίησης του προϊόντος χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της περίσσειας του ύδατος, με στόχο την βελτίωση των οικονομικών παραμέτρων μεταφοράς και χρησιμοποίησης.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Τα βασικά **πλεονεκτήματα** που απορρέουν είναι:

- χαμηλότερες δαπάνες μεταφοράς ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας,
- βελτίωση της δυνατότητας διαχείρισης,
- υψηλότερη αποδοτικότητα μετατροπής,
- μειωμένα επίπεδα επικαθίσεων και επισκωριώσεων στον κλίβανο, που έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους της συντήρησής του,
- μείωση του κόστους διάθεσης των αποβλήτων, και
- μείωση των εκπεμπομένων ρύπων.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Χαρακτηριστικά του άνθρακα που σχετίζονται με τον καθαρισμό

Ειδικό Βάρος

Αλεσιμότητα και ευθρυπτότητα

Μαγνητικές ιδιότητες

Επιφανειακές ιδιότητες



Ειδικό Βάρος

Οι περισσότερες φυσικές διεργασίες καθαρισμού του άνθρακα βασίζονται στις διαφορές του ειδικού βάρους μεταξύ του άνθρακα και της εξωγενούς ανόργανης ύλης η οποία είναι αναμειγμένη με αυτόν.

Το ειδικό βάρος ενός άνθρακα διαφέρει επίσης ανάλογα με την τάξη του και την πετρογραφική του σύνθεση και, ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης, διακρίνεται σε:

- ✓ **φαινόμενο ειδικό βάρος**, το οποίο περιέχει την ενδογενή υγρασία, τον αέρα στους πόρους και την ανόργανη ύλη,
- ✓ **πραγματικό ειδικό βάρος**, το οποίο λαμβάνει υπ' όψη την ανόργανη ύλη, αλλά είναι ελεύθερο υγρασίας και αέρα και
- ✓ **μοναδιαίο ειδικό βάρος**, το οποίο είναι ελεύθερο από υγρασία, αέρα και ανόργανη ύλη.



Το ειδικό βάρος των ανθράκων μεταβάλλεται ανάλογα με την τάξη τους, λόγω αλλαγών στην χημική τους σύσταση και στην αρωματικότητα τους.

Γενικά, το ειδικό βάρος αυξάνεται όσο η τάξη γίνεται υψηλότερη. Για άνθρακες χαμηλής τάξης κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1.3, ενώ για τους ανθρακίτες είναι υψηλό και κυμαίνεται μεταξύ 1.5 και 1.7 περίπου.

Ειδικό Βάρος

Τέφρα, πτητική ύλη, ειδικό βάρος και στοιχειακή ανάλυση ανθράκων διαφορετικής τάξης

Γαιάνθρακας	Τέφρα %	Πτητική Υλη %	Ειδικό Βάρος	Ανθρακας %	Υδρογόνο %	Θείο %	Αζωτο * και Οξυγόνο %
Λιγνίτης Αμυνταίου ¹⁸³¹	51.20	29.20	1.20	61.36	5.79	1.30	31.56
Γαιάνθρακας Brassert Flame	3.20	40.58	1.31	79.10	6.16	1.96	10.48
Γαιάνθρακας Prosper Gas	1.45	25.89	1.29	84.32	4.88	0.87	8.50
Γαιάνθρακας Konig Ludwig Fat	8.10	21.45	1.34	83.94	3.58	1.07	4.21
Ανθρακίτης Langenbrahm	1.97	8.70	1.35	88.72	3.86	0.76	5.59
Ανθρακίτης Pennsylvania	3.48	4.10	1.45	90.03	2.59	0.75	3.15
Ιταλικός Ανθρακίτης	7.01	8.87	1.76	87.45	1.30	0.28	3.96
Γραφίτης Trieben	2.45	4.90	1.90	94.46	0.56	0.24	2.20

* από διαφορά



Ειδικό Βάρος

Ο πλέον σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το ειδικό βάρος του άνθρακα είναι η εμπειερχόμενη ανόργανη ύλη, το μέσο ειδικό βάρος της οποίας είναι μεγαλύτερο από αυτό του καθαρού άνθρακα, όπως φαίνεται στον Πίνακα.

Έτσι, είναι προφανές ότι άνθρακες που περιέχουν περισσότερη ανόργανη ύλη έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος.

Υλικό	Ειδικό Βάρος
Γαιάνθρακας	1.12 - 1.35
Γαιάνθρακας Bone *	1.35 - 1.7
Ανθρακοφόρα υπολείμματα	1.6 - 2.2
Υπολείμματα	2.0 - 2.6
Αργιλικές Ενώσεις	1.8 - 2.2
Πυρίτης	4.8 - 5.2

* έχει υψηλή περιεκτικότητα σε τέφρα



Αλεσιμότητα και ευθρυπτότητα

Η αλεσιμότητα ενός άνθρακα είναι μία ένδειξη της σχετικής ευκολίας με την οποία αυτός μπορεί να κονιοποιηθεί, ενώ **η ευθρυπτότητα** ενός άνθρακα είναι μία ένδειξη της ικανότητάς του να παρουσιάζει αντίσταση στην απομείωση μεγέθους κατά τις διεργασίες διαχείρισής του.

Και οι δύο παράμετροι παρέχουν δεδομένα μεγάλης οικονομικής σημασίας για την εξόρυξη και την προετοιμασία του άνθρακα. Λόγω των διαφορών σε αλεσιμότητα και ευθρυπτότητα των συστατικών του άνθρακα, η άλεση επιτρέπει την αποδέσμευση των ανοργάνων συστατικών και την παραγωγή ανθράκων ομοιογενούς μεγέθους και ποιότητας.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Αλεσιμότητα και ευθρυπτότητα

Η αλεσιμότητα αυξάνεται ανάλογα με την τάξη του άνθρακα, φθάνοντας σε μία μέγιστη τιμή περιεκτικότητας σε μόνιμο άνθρακα γύρω στο 80%, στην περίπτωση ασφαλτούχων ανθράκων με μικρή περιεκτικότητα σε πτητικά, πριν πέσει απότομα στην περίπτωση των ανθρακιτών.

Έτσι, όσον αφορά την μείωση του μεγέθους, συμπεραίνεται ότι ένας άνθρακας υψηλής τάξης είναι σκληρός και η μείωση του μεγέθους του είναι δύσκολη, ένας άνθρακας χαμηλότερης τάξης είναι μαλακός και η μείωση του μεγέθους του είναι ευκολότερη, ενώ ένας άνθρακας πολύ χαμηλής τάξης παρουσιάζει επίσης δυσκολίες στην μείωση του μεγέθους του. Όσον αφορά την επίδραση της περιεκτικότητας σε τέφρα στην αλεσιμότητα, θεωρείται ότι οι άνθρακες με υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα αλέθονται, γενικά, πιο δύσκολα.

Τα χαρακτηριστικά της θραύσης ενός άνθρακα επηρεάζονται επίσης από την πετρογραφική του σύνθεση.



Μαγνητικές ιδιότητες

Διάφορες διεργασίες μαγνητικού διαχωρισμού έχουν αναπτυχθεί για την αφαίρεση της ανόργανης ύλης του άνθρακα, βασιζόμενες στις **διαφορές της μαγνητικής επιδεκτικότητας** (μαγνητική ροπή / μαγνητική ένταση πεδίου) μεταξύ των ανόργανων και των οργανικών συστατικών του άνθρακα.

Γενικά, οι διεργασίες αυτές απαιτούν αύξηση του μαγνητισμού της ανόργανης ύλης, ή ειδικό σχεδιασμό για την αποδέσμευση της ελαφρά παραμαγνητικής ανόργανης ύλης. Έχουν, όμως, εστιασθεί σοβαρά στην αφαίρεση του πυρίτη από ασφαλούχους άνθρακες. Για τον λόγο αυτό, παρουσιάζουν λιγότερο ενδιαφέρον για τον καθαρισμό των ανθράκων χαμηλής τάξης, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τέφρα και μικρότερη περιεκτικότητα σε πυριτικό θείο.



Επιφανειακές ιδιότητες

Ο διαχωρισμός της ανόργανης ύλης από τον άνθρακα μπορεί, επίσης, να βασισθεί στις διαφορές ανάμεσα στις επιφανειακές ιδιότητες των οργανικών και των ανόργανων συστατικών του άνθρακα, **σε υδατικά πυκνά αιωρήματα.**

Η επίπλευση αφρού και η συσσωμάτωση με έλαιο είναι οι πλέον γνωστές τεχνικές, οι οποίες καθορίζονται από τις διεπιφανειακές ιδιότητες αυτών των συστημάτων. Στην περίπτωση της επίπλευσης αφρού, τα σωματίδια του άνθρακα προσκολλώνται στις φυσαλίδες του αέρα, με την βοήθεια χημικών αντιδραστηρίων και απομακρύνονται από το κελί επίπλευσης, ενώ τα σωματίδια της ανόργανης ύλης παραμένουν στο νερό. Στην περίπτωση της συσσωμάτωσης με έλαιο, τα σωματίδια του άνθρακα επικαλύπτονται από έλαιο και διαχωρίζονται από το πυκνό αιώρημα ανόργανης ύλης-ύδατος υπό την μορφή συσσωματωμάτων.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Προκατεργασία – Μείωση μεγέθους και διαχωρισμός

Η μείωση μεγέθους του εξορυγμένου άνθρακα και ο διαχωρισμός του αλεσμένου άνθρακα σε διάφορα κλάσματα μεγέθους σωματιδίων είναι θεμελιώδεις διεργασίες των δραστηριοτήτων προετοιμασίας του άνθρακα.

Οι κύριοι σκοποί, αφ' ενός της κατάτμησης και αφ' ετέρου του διαχωρισμού του άνθρακα κατά μέγεθος, είναι:

- η παραγωγή κατανομών μεγεθών σωματιδίων, που να είναι περισσότερο κατάλληλα για μεταφορά, διαχείριση ή/και διεργασίες καθαρισμού του άνθρακα,
- η αποδέσμευση των προσμείξεων του άνθρακα και
- η παραγωγή κλασμάτων μεγέθους σωματιδίων, που να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις της αγοράς.



ΘΡΑΥΣΗ ΚΑΙ ΑΛΕΣΗ

Η **αρχική θραύση του άνθρακα** γίνεται συνήθως στο ορυχείο ή σε εγκαταστάσεις κοντά σε αυτό, για να μειωθεί το μέγιστο μέγεθος του άνθρακα σε 80-200mm.

Η **δεύτερη θραύση** επιτελείται συνήθως στον θερμοηλεκτρικό σταθμό, πριν την κονιοποίηση, μειώνοντας το μέγιστο μέγεθος του άνθρακα σε 30-10mm περίπου.

Η **άλεση του άνθρακα** επιτελείται στο σημείο της χρησιμοποίησης του, με στόχο την αποφυγή των προβλημάτων που σχετίζονται με την μεταφορά και την διαχείρισή των λεπτών σωματιδίων του (δηλαδή εκπομπή σκόνης ή κίνδυνο έκρηξης). Με την άλεση, ο κονιοποιημένος άνθρακας μετατρέπεται σε μία λεπτή σκόνη κατάλληλη για κλιβάνους "εναιώρησης".



ΘΡΑΥΣΗ ΚΑΙ ΑΛΕΣΗ

Πρόσφατα, περιβαλλοντικοί περιορισμοί οι οποίοι απαιτούν την αποθείωση του άνθρακα πριν την καύση, την χρήση πολτού κονιοποιημένου άνθρακα / ύδατος για παραγωγή ισχύος και την ανάπτυξη διεργασιών υγροποίησης και αεριοποίησης του άνθρακα, έχουν καταστήσει **αναγκαία την άλεση του άνθρακα σε μεγέθη πολύ μικρότερα από 1mm**. Όταν ο άνθρακας πρόκειται να χρησιμοποιηθεί υπό μορφή πολτού, η υγρή άλεση προτιμάται κατά κανόνα από την ξηρή άλεση, λόγω των αυξημένων ρυθμών παραγωγής και των προβλημάτων ασφαλείας που σχετίζονται με τα λεπτά σωματίδια του άνθρακα .

Οι διεργασίες θραύσης επιτελούνται με μηχανές οι οποίες χρησιμοποιούν διάφορες αρχές λειτουργίας, όπως η κρούση, η συμπίεση, ο διαχωρισμός, η διάτμηση, ή η τριβή. Οι διεργασίες άλεσης βασίζονται στις ίδιες αρχές, για τον εξοπλισμό άλεσης όμως προτιμούνται οι δυνάμεις κρούσης, διάτμησης και τριβής, καθώς παράγουν μεγάλες ποσότητες λεπτών σωματιδίων.



ΚΟΣΚΙΝΗΣΗ

Η διεργασία κοσκίνησης είναι μία σημαντική λειτουργία της τεχνολογίας κατάτμησης του άνθρακα. Είναι μία μηχανική διεργασία, όπου ένα ετερογενές μείγμα σωματιδίων άνθρακα διαχωρίζεται σε κατάλληλα κλάσματα, περνώντας διαμέσου ή παραμένοντας πάνω από οπές συγκεκριμένων διαστάσεων.

Οι λειτουργίες κοσκίνησης εξυπηρετούν τις παρακάτω ανάγκες:

- απομακρύνουν τα λεπτά σωματίδια άνθρακα από την τροφοδοσία του θραυστήρα,
- αφαιρούν τα σωματίδια που δεν περιέχουν άνθρακα από τα μεμονωμένα κλάσματα μεγεθών,
- διαχωρίζουν τα μεγέθη του άνθρακα για να χρησιμοποιηθούν σαν τροφοδοσία σε διαφορετικούς τύπους συσκευών καθαρισμού,
- ανακτούν τα στερεά από πολτούς σε διεργασίες καθαρισμού και
- προετοιμάζουν τον καθαρό άνθρακα για εμπορική χρήση ή για χρήση στην παραγωγή ενέργειας.



ΚΟΣΚΙΝΗΣΗ

Η κοσκίνηση μπορεί να εκτελεσθεί με στατικά ή δονούμενα κόσκινα. Τα τελευταία προτιμώνται, όταν απαιτείται υψηλού βαθμού αποδοτικότητα.

Τα κόσκινα λειτουργούν είτε ξηρά, είτε υγρά (με προσθήκη ύδατος). Η υγρή κοσκίνηση συνήθως χρησιμοποιείται για μικρά μεγέθη σωματιδίων, ώστε να αποφεύγεται η έμφραξη των οπών των κόσκινων. Οι επιφάνειες των κόσκινων μπορεί να είναι διάτρητες πλάκες, ράβδοι, ή συρμάτινα πλέγματα. Πρόσφατα, προτιμώνται κόσκινα με επιφάνειες πολουρεθάνης και ελαστικού, λόγω του ότι προσφέρουν μειωμένα επίπεδα θορύβου και άλλα πλεονεκτήματα



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

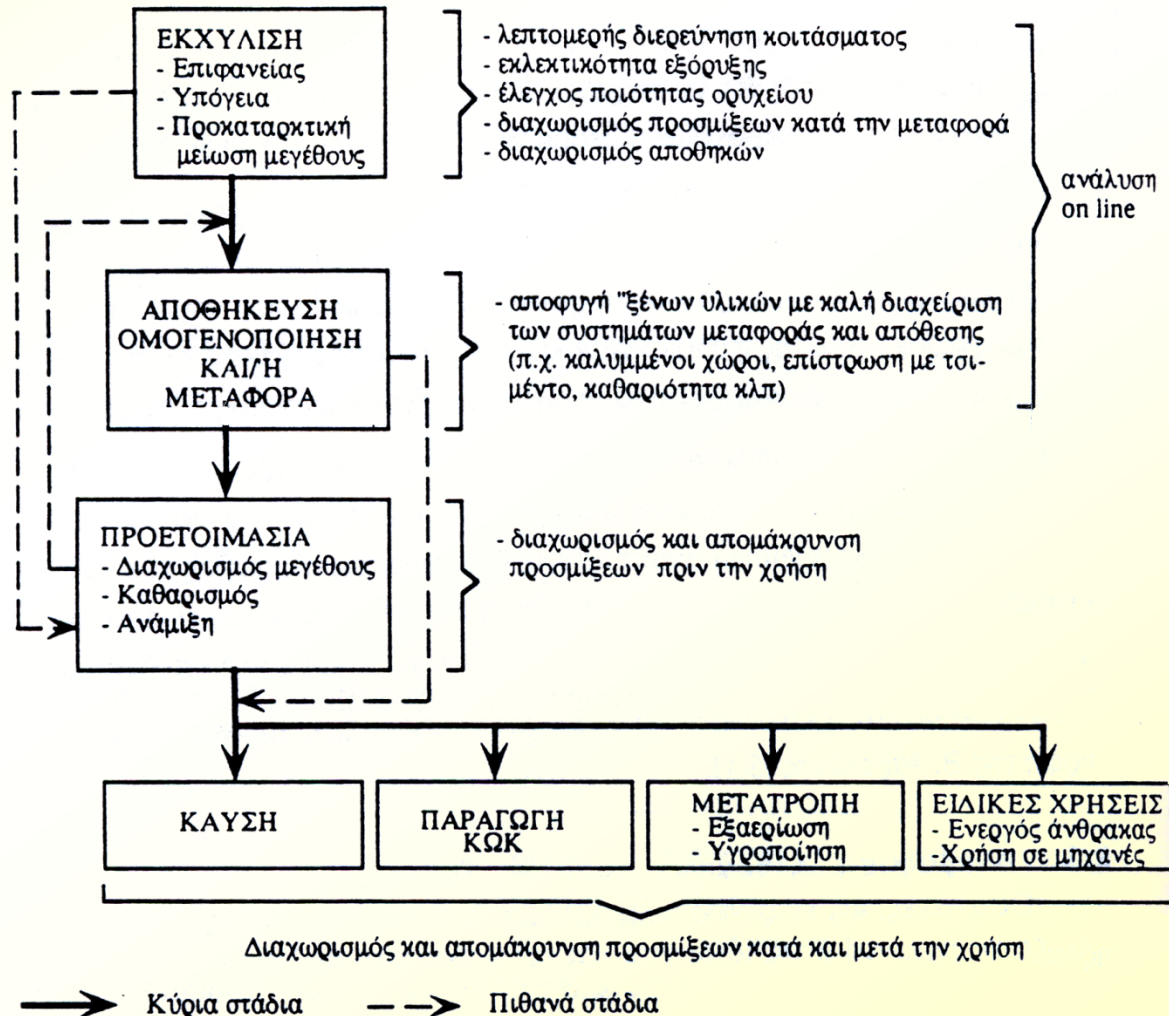
Ο καθαρισμός του άνθρακα από προσμείξεις είναι συνάρτηση:

✓ Της φύσης και της ποικιλίας του εξορυσσόμενου άνθρακα και των ανόργανων προσμείξεών του. Ο σχεδιασμός της εξόρυξης είναι σημαντικός στον περιορισμό ή/και έλεγχο της διακύμανσης των προσμείξεων

✓ Του μεγέθους και της κατανομής των ανόργανων υλικών

✓ Των απαιτήσεων της αγοράς συναρτήσει της τιμής, της ποιότητας και του μεγέθους του

✓ Των διαθέσιμων τεχνολογιών διαχωρισμού και του κόστους τους



Εναλλακτικές δυνατότητες περιορισμού και απομάκρυνσης ανεπιθύμητων προσμείξεων



ΦΥΣΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο καθαρισμός του άνθρακα με φυσικές μεθόδους περιλαμβάνει τον διαχωρισμό σωματιδίων χαμηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα από σωματίδια υψηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα υλικά.

Ο διαχωρισμός αυτός στηρίζεται είτε στην **διαφορά ειδικού βάρους** μεταξύ οργανικού άνθρακα και ανόργανων συστατικών είτε στη **διαφορά των επιφανειακών ιδιοτήτων**.

Ορισμένες μέθοδοι στηρίζονται επίσης στις μαγνητικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών. Χημικές και βιολογικές μέθοδοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για διαχωρισμούς αλλά δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί σε εμπορική κλίμακα.



ΦΥΣΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο διαχωρισμός του ανόργανου υλικού από τον άνθρακα επηρεάζεται από:

- την φύση και το μέγεθος των προσμίξεων. Η μεγάλη διασπορά των ανόργανων δυσκολεύει τον διαχωρισμό τους
- την κατανομή μεγέθους του άνθρακα, που εξαρτάται από την ευθρυπτότητα του υλικού και τις διεργασίες εξόρυξης και διαχείρισης. Ο άνθρακας είναι δυνατόν να περιέχει μέχρι και 50% λεπτόκοκκα σωματίδια.



ΦΥΣΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η επιλογή αντίστοιχα των διεργασιών καθαρισμού εξαρτάται από μία σειρά παραμέτρων, όπως:

- ✓ η φύση του κοιτάσματος και η μεταβλητότητά του
- ✓ οι μέθοδοι εξόρυξης και διαχείρισης
- ✓ η προέλευση της τροφοδοσίας (από ένα ή περισσότερα κοιτάσματα)
- ✓ η δυσκολία λήψης αντιπροσωπευτικού δείγματος
- ✓ το μέγεθος της τροφοδοσίας, η περιεκτικότητα σε υγρασία και ανόργανα υλικά
- ✓ η πιθανότητα να διευκολύνεται η αποδέσμευση του ανόργανου υλικού με μείωση του μεγέθους
- ✓ η ποσότητα και η μορφή του περιεχόμενου θείου
- ✓ η οξείδωση του άνθρακα (που επηρεάζει τις επιφανειακές ιδιότητες)
- ✓ η απόδοση διαφόρων διεργασιών διαχωρισμού
- ✓ οι προδιαγραφές του προϊόντος και οι απαιτήσεις των διαφόρων καταναλωτών.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



ΦΥΣΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι διεργασίες καθαρισμού μπορούν να καταταγούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

- διεργασίες υγρών μεθόδων και
- διεργασίες ξηρών μεθόδων.



ΥΓΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το σύνολο σχεδόν των μεθόδων αυτών βασίζεται **στο νερό ως μέσο διαχωρισμού.**

Η χρησιμοποίηση του όμως εισάγει στη συνέχεια πρόβλημα απομάκρυνσής του.

Ο διαχωρισμός των χονδροκόκκων σωματιδίων γίνεται πάντοτε με μεθόδους βαρύτητας, οι οποίες όμως γίνονται βαθμιαία αναποτελεσματικές με την μείωση του μεγέθους των σωματιδίων.

Για τα λεπτόκοκκα σωματίδια εφαρμόζονται μέθοδοι που στηρίζονται στις επιφανειακές ιδιότητες. Καμία συμβατική μέθοδος διαχωρισμού δεν μπορεί να εφαρμοστεί για εξαιρετικά λεπτόκοκκα σωματίδια (ultrafines).



ΥΓΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

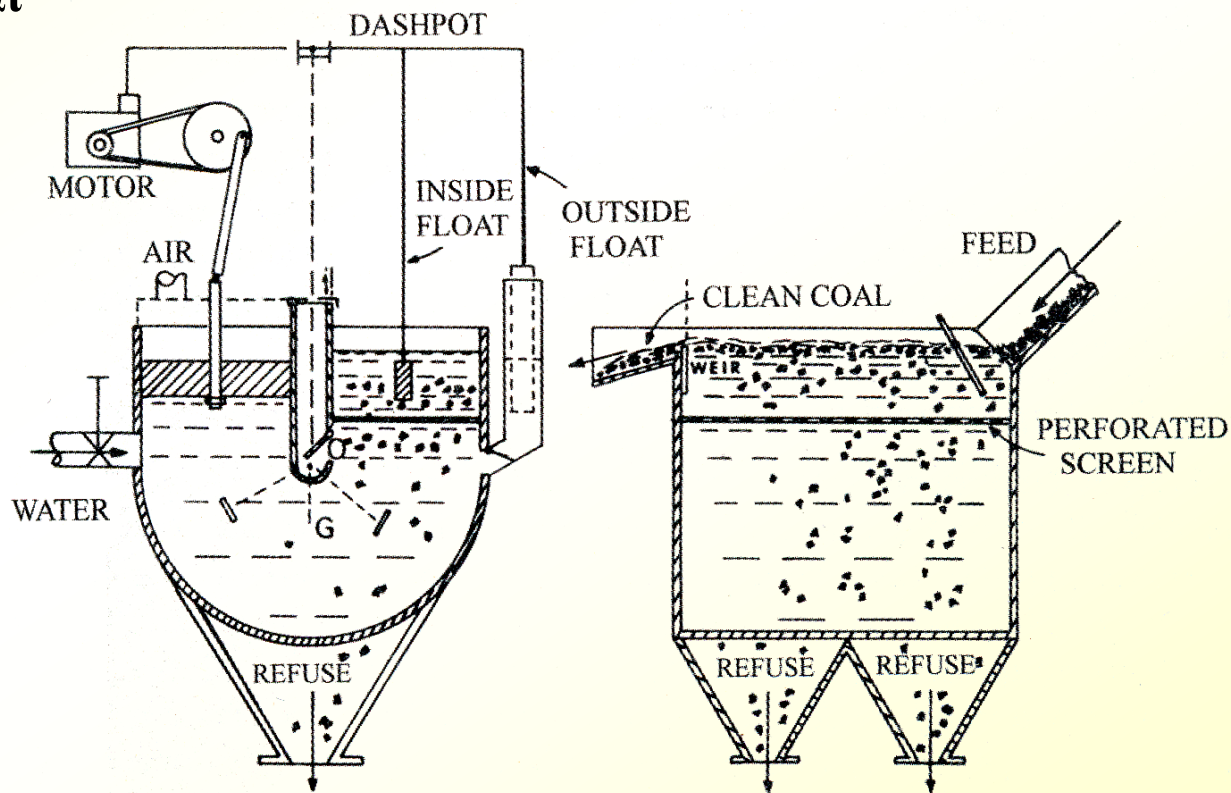
Ορισμένες από τις κύριες διατάξεις (συσκευές) διαχωρισμού που στηρίζονται στην βαρύτητα (ειδικό βάρος) είναι:

- ✓ Υδροσυγκεντρωτές
- ✓ διαχωριστές υμένα, όπως τράπεζες συγκέντρωσης και έλικες (σπειροειδή) για μικρότερα μεγέθη
- ✓ λουτρά βαρέων διαμέσων, για χονδρόκοκκο άνθρακα
- ✓ κυκλόνες βαρέων διαμέσων, για ενδιάμεσου μεγέθους άνθρακα
- ✓ κυλινδρικοί φυγοκεντρικοί διαχωριστές βαρέων διαμέσων για χονδρόκοκκο και ενδιάμεσου μεγέθους άνθρακα,
- ✓ υδροκυκλώνες (κυκλώνες νερού), κυρίως για ενδιάμεσου μεγέθους και λεπτόκοκκο άνθρακα



Υδροσυγκεντρωτές

Η αρχή της υδροσυγκέντρωσης είναι ότι **μία ροή ύδατος, παλλόμενη με αέρα ή έμβολα προξενεί διόγκωση και συμπίεση μίας κλίνης άνθρακα,** η οποία υποστηρίζεται από μία διάτρητη εσχάρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την στρωματοποίηση του ακατέργαστου άνθρακα, στην οποία τα σωματίδια χαμηλότερης πυκνότητας ή καθαρού άνθρακα συγκεντρώνονται στην κορυφή της κλίνης, ενώ τα σωματίδια υψηλότερης πυκνότητας ή τα απορριπτόμενα σωματίδια συγκεντρώνονται στον πυθμένα.

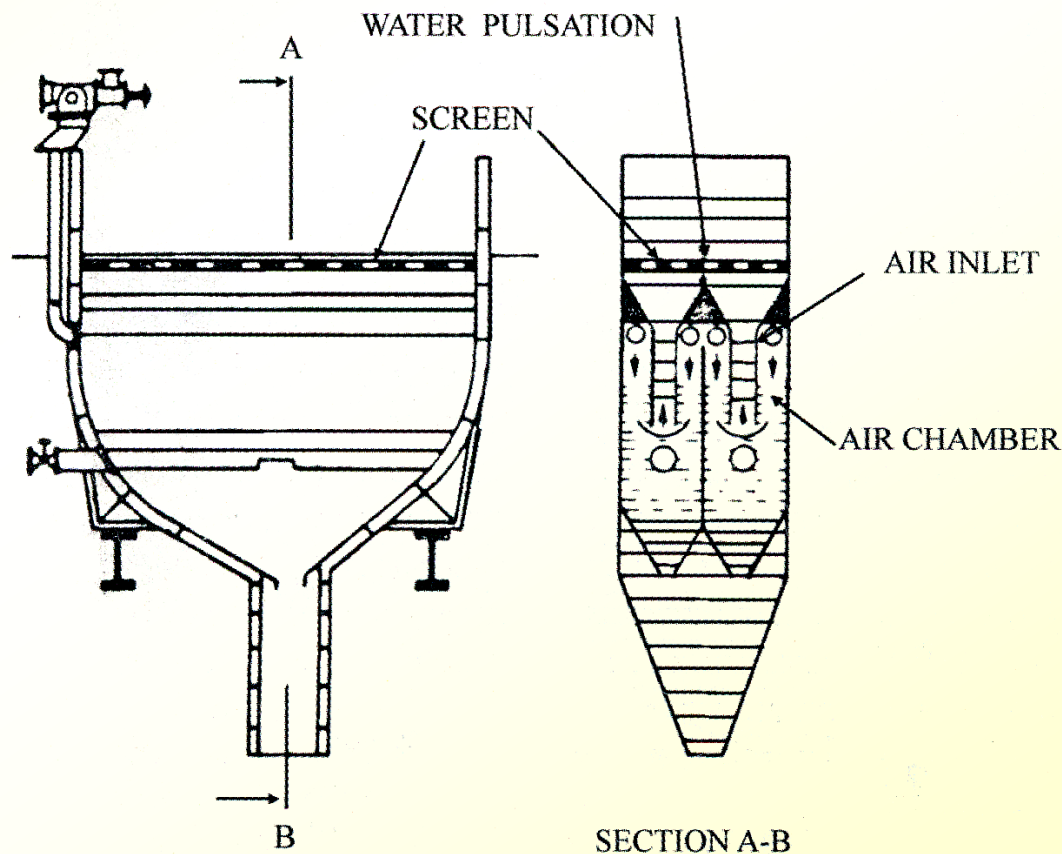


Σχηματική απεικόνιση της κλίνης του υδροσυγκεντρωτή Baum



Υδροσυγκεντρωτές

Ο πιο προηγμένος υδροσυγκεντρωτής είναι ο Batac, ο οποίος παράγει παλμούς στο ύδωρ σε πολλαπλούς θαλάμους, κατευθείαν κάτω από την εσχάρα της κλίνης. Η αρχή του καθαρισμού παραμένει ουσιαστικά η ίδια με αυτή του συμβατικού υδροσυγκεντρωτή Baum. Έχει όμως βελτιωμένες και αυτοματοποιημένες μεθόδους δημιουργίας παλμών και ελέγχου της κλίνης, παρέχει μεγαλύτερη δυναμικότητα στον ίδιο φυσικό χώρο, ικανοποιητική ακρίβεια διαχωρισμού και ικανότητα καθαρισμού ενός μεγαλύτερου εύρους μεγεθών σωματιδίων.



Διατομή του υδροσυγκεντρωτή Batac



Υδροσυγκεντρωτές

Οι υδροσυγκεντρωτές διαχειρίζονται τροφοδοσίες χονδρόκοκκου άνθρακα, μέχρι και 203 mm σε μέγεθος. Είναι απλοί και οικονομικοί, με μεγάλη χωρητικότητα ανά μονάδα (μέχρι και 1000 tons/h). Όμως, είναι λιγότερο αποτελεσματικοί στο να επιτύχουν τόσο ποιότητα, όσο και υψηλά επίπεδα ανάκτησης, ιδίως κατά την κατεργασία τροφοδοσιών που περιέχουν ένα μεγάλο ποσοστό υλικού "συγγενούς ειδικής πυκνότητας" με αυτήν του υλικού διαχωρισμού.

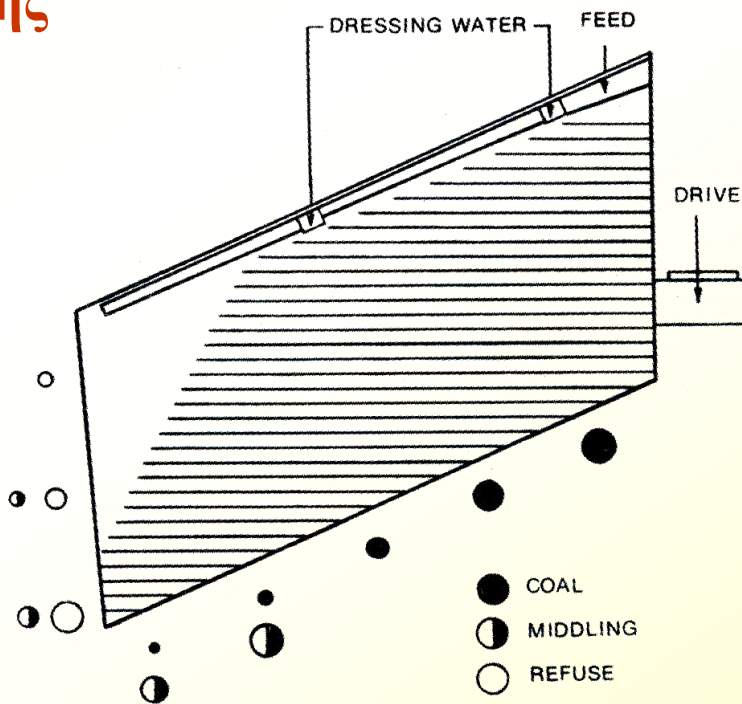
Επιπρόσθετα, απαιτούν μία ομοιογενή κατανομή της τροφοδοσίας, καθώς και ένα σταθερό ρυθμό τροφοδοσίας και επιδεκτικότητα έκπλυσης, ώστε να προσφέρουν καλύτερη απόδοση.



Τράπεζες συγκέντρωσης

Η τράπεζα συγκέντρωσης χρησιμοποιεί την αρχή του ότι τα μεγάλα ή τα ελαφρά σωματίδια, τα οποία παρασύρονται από ένα λεπτό στρώμα ύδατος που ρέει, κινούνται ταχύτερα από ότι τα μικρά ή βαρύτερα σωματίδια ισοδύναμου μεγέθους, αντίστοιχα. Η τροφοδοσία εκπλύνεται με ύδωρ πάνω από μία **κεκλιμένη, ρομβοειδή τράπεζα με ραβδώσεις**, στην οποία επιφέρεται μία οριζόντια κίνηση, σε ορθή γωνία προς την ροή, με ταχεία κίνηση από τα δεξιά προς τα αριστερά και αργή επιστροφή από αριστερά προς τα δεξιά.

Αυτή η διαφορετική κίνηση της τράπεζας κάνει τον ρυθμό μετακίνησης των σωματιδίων να επηρεάζεται τόσο από το μέγεθος, όσο και από το ειδικό τους βάρος και προξενεί στρωματοποίηση μεταξύ των ραβδώσεων. Τα ελαφρά σωματίδια παρασύρονται από το ύδωρ πάνω από τις ραβδώσεις, στο κάτω μέρος της τράπεζας, όπου συλλέγονται σαν καθαρό προϊόν άνθρακα, ενώ τα βαρύτερα σωματίδια τα οποία απορρίπτονται, στον πυθμένα της κλίνης, παρασύρονται πίσω από τις ραβδώσεις στην άκρη της τράπεζας.





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Τράπεζες συγκέντρωσης

Οι ταχύτητες της τράπεζας είναι κανονικά περίπου 250-300 strokes/min, με ένα πλάτος περίπου 20 mm. Τα μεγαλύτερα μεγέθη σωματιδίων τα οποία υφίστανται κατεργασία είναι μεταξύ περίπου 20 mm και 40 mm και η δυναμικότητα είναι γενικά 10-15 tons/h.

Τράπεζες πολλαπλών επιπέδων χρησιμοποιούνται συχνά για καλύτερη απόδοση. Η ακρίβεια του διαχωρισμού είναι καλή με υλικά "συγγενούς ειδικής πυκνότητας" με αυτήν του διαχωρισμού σε ποσοστά μέχρι και 10%, και είναι υψηλότερη από αυτήν των υδροσυγκεντρωτών.



Τράπεζες συγκέντρωσης

Για άνθρακες χαμηλής τάξης, οι τράπεζες συγκέντρωσης, οι οποίες χρησιμοποιούν **αέρα σαν μέσο διαχωρισμού**, έχουν πιθανόν μεγαλύτερα πλεονεκτήματα, επειδή δεν απαιτείται ύδωρ και δεν προστίθεται επιφανειακή υγρασία στον άνθρακα.

Τα αποτελέσματα πειραματικών μελετών δείχνουν ότι όταν χρησιμοποιείται μία ξηρή κλίνη για τον εμπλουτισμό ενός υποασφαλτούχου άνθρακα σε αναλογία μεγεθών 4:1, απομακρύνονται το 74% της τέφρας και το 50% του πυρίτη, με ανάκτηση του 90% της θερμαντικής αξίας του άνθρακα.

Παρόλα αυτά, οι διαχωριστές αυτοί δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, αφού δεν μπορούν να καθαρίσουν αποδοτικά λεπτόκοκκους άνθρακες (λόγω του σχηματισμού συσσωματωμάτων από την ανάπτυξη ηλεκτροστατικών φορτίων ή επιφανειακής υγρασίας), ή να απαλείψουν το πρόβλημα της σκόνης.

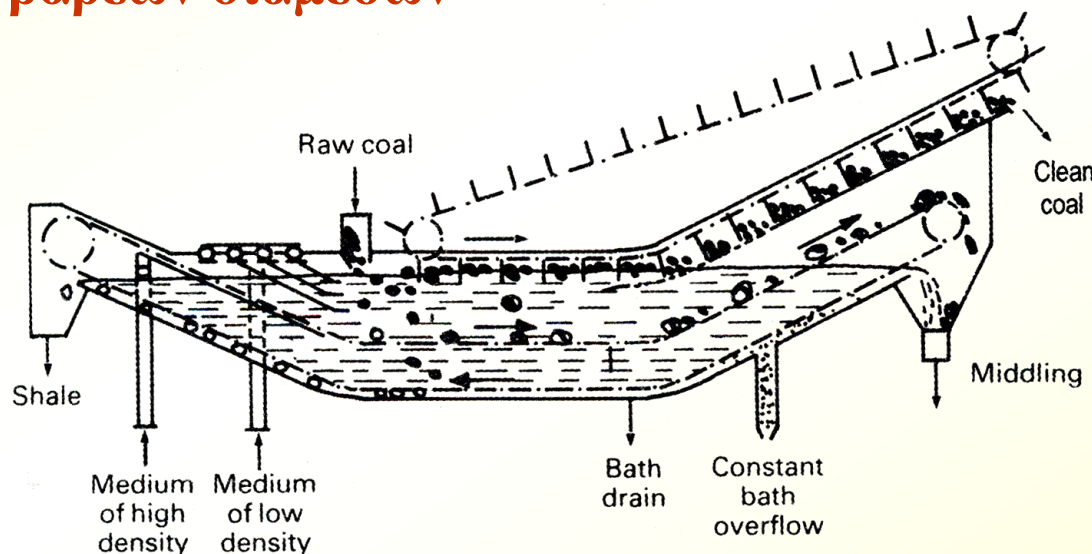


Λουτρά βαρέων διαμέσων

Ο διαχωρισμός του άνθρακα από ανόργανες προσμείξεις επιτελείται με **ανακυκλοφορία ενός υγρού αιωρήματος**, συνήθως μαγνητίτη σε ύδωρ, μέσω ενός δοχείου όπου προστίθεται συνεχώς ακατέργαστος άνθρακας. Το καθαρό και το απορριπτόμενο υλικό εκχειλίζονται κοντά στην κορυφή και την βάση του δοχείου αντίστοιχα.

Ο μαγνητίτης απομακρύνεται σε εσχάρες έκπλυσης με ύδωρ και ανακτάται από μαγνητικούς διαχωριστές.

Το εύρος μεγεθών της ακατέργαστης τροφοδοσίας κυμαίνεται μεταξύ 3 mm και 203 mm και το ειδικό βάρος μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ 1,3 και 1,8. Οι σημερινές διεργασίες μπορούν να επεξεργαστούν υψηλά φορτία (μέχρι 900 tons/h).



Λουτρό βαρέων διαμέσων Tromp, με διαχωρισμό καθαρού άνθρακα, μεσαίου προϊόντος και υλικού απόρριψης



Λουτρά βαρέων διαμέσων

Η πρόσφατη τάση είναι η χρήση αβαθών δοχείων, λόγω της προφανούς εξοικονόμησης χώρου και του μικρότερου όγκου των διαμέσων που απαιτούνται εντός των κυκλωμάτων.

Τα λουτρά βαρέων μέσων επιτυγχάνουν ακριβείς διαχωρισμούς στο συνήθες εύρος ειδικού βάρους, ακόμα και σε περιπτώσεις μεγάλου ποσοστού υλικού "συγγενούς ειδικής πυκνότητας" με αυτή του διαχωρισμού. Είναι ανώτερα από τους υδροσυγκεντρωτές Baum αλλά και το κόστος τους είναι υψηλότερο.

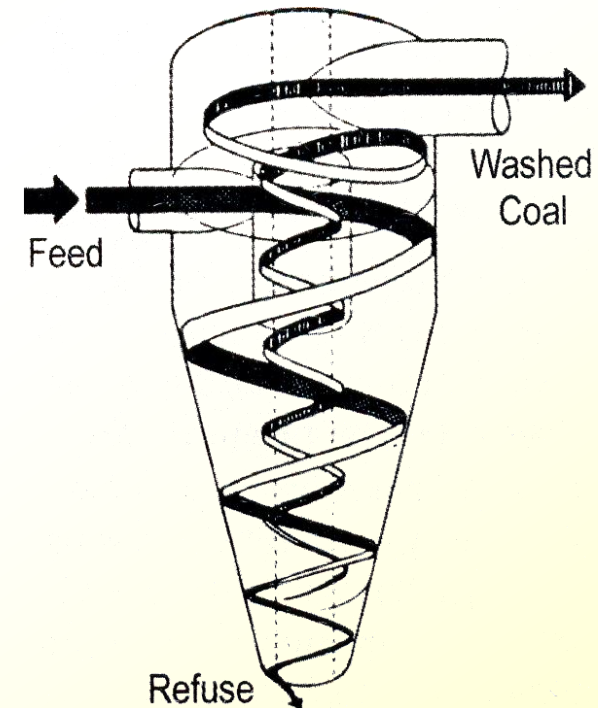


Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Κυκλώνες βαρέων διαμέσων

Ο κυκλώνας βαρέων διαμέσων είναι μία από τις πιο απλές και αποτελεσματικές συσκευές εμπλουτισμού του άνθρακα. Είναι μία **κυλινδροκωνική μονάδα με κλίση 20°** ως προς την οριζόντια θέση, για την επίτευξη ενός βελτιωμένου επιπέδου διαχωρισμού. Ένα μείγμα ακατέργαστου άνθρακα, του οποίου το μέγεθος των σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 6mm και 600μm, και βαρέως διαμέσου (συνήθως μαγνητίτη σε ύδωρ) τροφοδοτούνται εφαπτομενικά κοντά στην κορυφή του κυλινδρικού τμήματος, όπου δημιουργείται ένας στρόβιλος με ένα κεντρικό πυρήνα αέρα, λόγω της επαγόμενης δύναμης περιστροφής.

Κάτω από την επίδραση της φυγόκεντρου δύναμης, τα απορριπτόμενα σωματίδια κινούνται κατά μήκος των τοιχωμάτων του κυκλώνα και εξέρχονται μέσω του στομίου υπορροής, ενώ ο καθαρός άνθρακας κινείται προς τον επιμήκη άξονα του κυκλώνα και περνά μέσω του οδηγού στροβιλισμού στον θάλαμο υπερχειλίσης. Το βαρύ διάμεσο ρέει προς τα έξω μαζί και με τα δύο ρεύματα και ανακτάται.





Κυκλώνες βαρέων διαμέσων

Οι κυκλώνες βαρέων διαμέσων έχουν διαμέτρους μεταξύ 200 mm και 1 m και δυναμικότητα μέχρι 120 tons/h τροφοδοσίας.

Αν και το κεφαλαιουχικό και το λειτουργικό κόστος είναι υψηλότερα από αυτά άλλων συστημάτων καθαρισμού, είναι σε θέση να πετύχουν μία αποδοτικότητα απομάκρυνσης κοντά στο 100% και ακριβέστερο διαχωρισμό μεταξύ άνθρακα και προσμείξεων, από ότι άλλα συστήματα καθαρισμού που επεξεργάζονται το ίδιο εύρος μεγεθών.

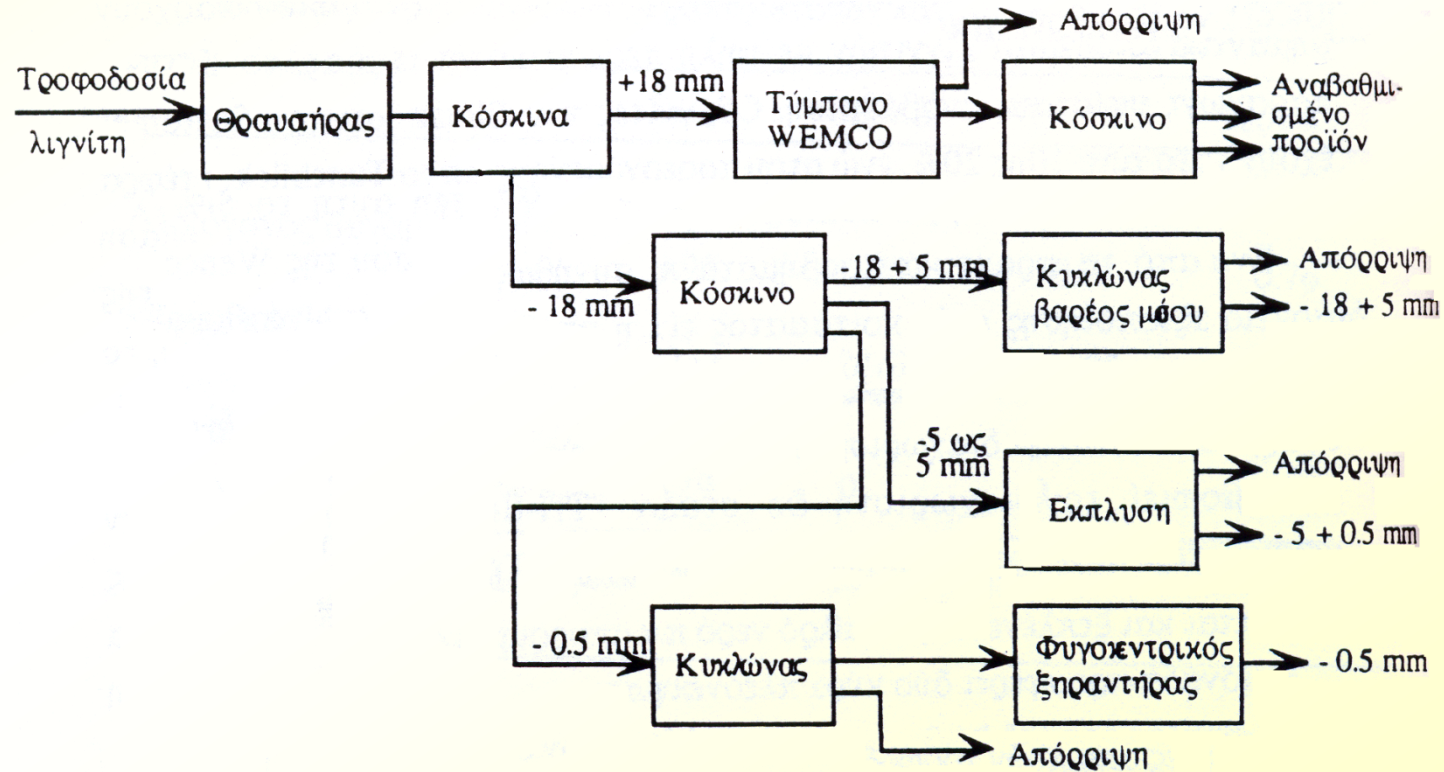
Επιπρόσθετα, είναι οι πιο αποδοτικές διαθέσιμες συσκευές για καθαρισμό ανθράκων με περιεκτικότητα υλικού "συγγενούς ειδικής πυκνότητας" με αυτήν του διαχωρισμού, καθώς και λεπτόκοκκων ανθράκων σε υψηλούς ρυθμούς τροφοδοσίας. Για την ελαχιστοποίηση ορισμένων προβλημάτων ταξινόμησης των διαμέσων, εξετάσθηκαν διάφορες τεχνικές, όπως μεγαλύτερες αναλογίες οπών υπερχείλισης / υποροής, χαμηλότεροι ρυθμοί ροής του διάμεσου και χρήση πιο λεπτόκοκκου μαγνητίτη ή εναλλακτικών διαμέσων.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στην Τουρκία, όπου υπάρχουν σημαντικά αποθέματα λιγνιτών με υψηλή περιεκτικότητα τέφρας, το 15% της παραγωγής υφίσταται αναβάθμιση. Στους λιγνίτες της περιοχής Tuncbilek της Τουρκίας, η τέφρα φτάνει το 40 – 50%.

Η δυναμικότητα της μονάδας είναι 700 tons/h. Το 56% της τροφοδοσίας υφίσταται κατεργασία σε ένα δοχείο βαρέων διαμέσων της Wemco, το 21% σε κυκλώνες βαρέων διαμέσων και το 23% σε κόσκινα για λεπτόκοκκα υλικά. Η μονάδα αυτή είναι ενδεικτική για έκπλυση άνθρακα.



Απλοποιημένο διάγραμμα ροής της μονάδας προετοιμασίας άνθρακα στο Tuncbilek της Τουρκίας



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Ποιότητα κλασμάτων καθαρού άνθρακα της μονάδας καθαρισμού λιγνίτη στο Tuncbilek της Τουρκίας

Ανάλυση	50-100 (mm)	18-50 (mm)	10-18 (mm)	0-10 (mm)	6-10 (mm)	0.5-6 (mm)	0-0.5 (mm)	Μεσαίο κλάσμα
Τέφρα (%)	10.64	12.98	14.78	13.08	14.24	13.33	15.16	52.65
Υγρασία (%)	2.02	3.26	4.63	12.78	6.28	13.15	5.70	13.69
Πτητική ύλη (%)	32.43	28.34	27.78	28.44	28.14	28.71	27.56	18.98
Θερμαντική αξία (kcal/kg)	7594	7375	7227	7360	7311	7389	7183	3627



Κυλινδρικοί διαχωριστές βαρέων διαμέσων

Οι πιο συνήθεις κυλινδρικοί διαχωριστές, οι οποίοι, όπως και οι κυκλόνες βαρέων διαμέσων, βασίζονται στις αρχές λειτουργίας της φυγόκεντρου δύναμης, που αναπτύσσεται από ροή περιδίνησης και καθαρισμού με βαρέα διάμεσα, είναι οι

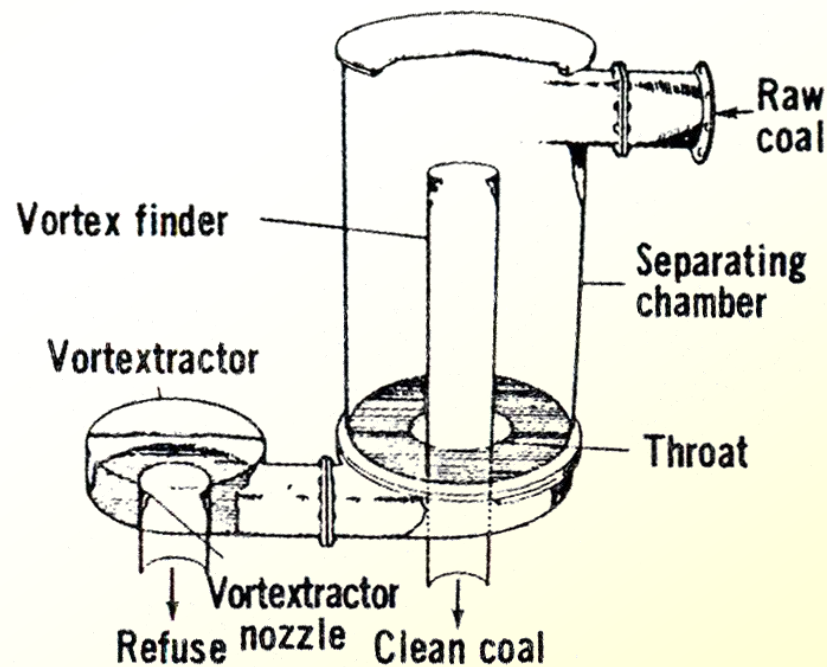
- "Vorsyl",
- "Dyna Whirlpool" και
- "Tri-flo".



Κυλινδρικοί διαχωριστές βαρέων διαμέσων

Ο διαχωριστής Vorsyl είναι σχεδιασμένος για την διαχείριση τροφοδοσίας 25 x 0.5mm. Έχει την ίδια αποδοτικότητα με τους συμβατικούς κυκλώνες, εκτός από την περιοχή κορυφής της συσκευής. Αυτό σημαίνει ότι ο διαχωριστής Vorsyl δεν θα έχει ουσιαστικά καμία ποσότητα εσφαλμένα τοποθετημένου υλικού, το οποίο υπόκειται σε βαρυτομετρικό διαχωρισμό, στο καθαρό άνθρακα.

Ο διαχωριστής Dyna Whirpool, ο οποίος έχει κλίση 25° περίπου σε σχέση με την οριζόντια θέση, επεξεργάζεται ακατέργαστο άνθρακα μεγέθους μεγαλύτερου από 0.5mm και τα χαρακτηριστικά απόδοσής του είναι παρόμοια με του διαχωριστή Vorsyl.

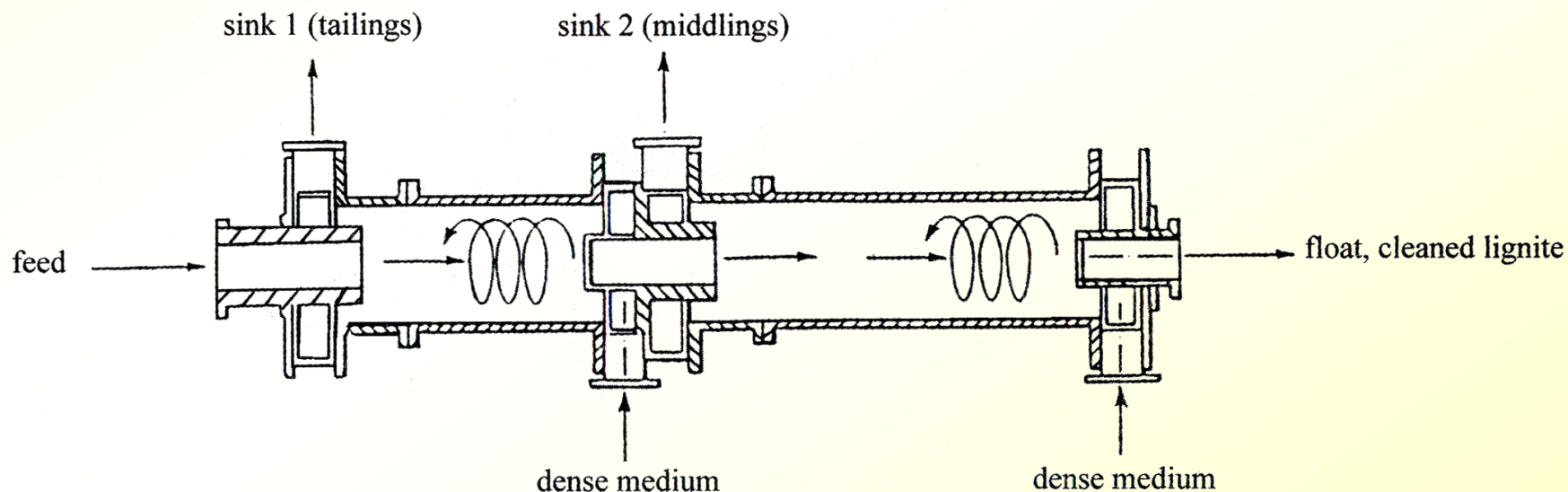


Διατομή ενός κυκλώνα Vorsyl



Κυλινδρικοί διαχωριστές βαρέων διαμέσων

Ο διαχωριστής Tri-flo καθαρίζει σωματίδια σ' ένα εύρος μεγέθους 35 mm –7 mm και έχει το πλεονέκτημα της άμεσης τροφοδοσίας του ακατέργαστου άνθρακα και του διάμεσου. Χρησιμοποιεί βαρύ διάμεσο σε 2 διαφορετικές πυκνότητες σε 2 τμήματα. Η αποδοτικότητά του είναι συγκρίσιμη σε μεγάλο βαθμό με αυτήν του κυκλώνα βαρέων διαμέσων και έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για τον καθαρισμό ανθράκων, **μειώνοντας την περιεκτικότητά τους σε τέφρα κατά 50%.**



Διαχωριστής Tri-flo



Υδροκυκλώνες

Οι υδροκυκλώνες είναι κυκλώνες νερού όπου τα βαρύτερα σωματίδια συγκεντρώνονται κοντά στο τοίχωμα και απομακρύνονται από τον κώνο του πυθμένα. Τα ελαφρύτερα και καθαρότερα σωματίδια παραμένουν κοντά στο κέντρο και απομακρύνονται από την κορυφή.

Ένας υδροκυκλώνας διαφέρει από τον συμβατικό κυκλώνα βαρέων διαμέσων στο ότι έχει πολύ μεγαλύτερη γωνία κώνου (μέχρι 120°) και έναν πιο επιμήκη οδηγό στροβιλισμού. Χρησιμοποιείται για την κατεργασία κλασμάτων άνθρακα μεγέθους μεταξύ 30 mm και 150 μm .

Τα χαρακτηριστικά απόδοσης και η δυναμικότητα ενός υδροκυκλώνα εξαρτώνται τόσο από την γεωμετρία του, όσο και από την σύνθεση της τροφοδοσίας. Τα μεγέθη των στομίων επηρεάζουν την ροή, τον χρόνο συγκράτησης και την συγκέντρωση των στερεών στην υπερχείλιση και την υποροή.



Υδροκυκλώνες

Οι υδροκυκλώνες δεν επιτυγχάνουν τόσο ακριβή διαχωρισμό όσο οι κυκλώνες βαρέων διαμέσων, χρησιμοποιούνται σπάνια για άνθρακες με μικρά μεγέθη σωματιδίων ή για άνθρακες που καθαρίζονται δύσκολα και έχουν σχετικά μεγάλο κόστος λειτουργίας.

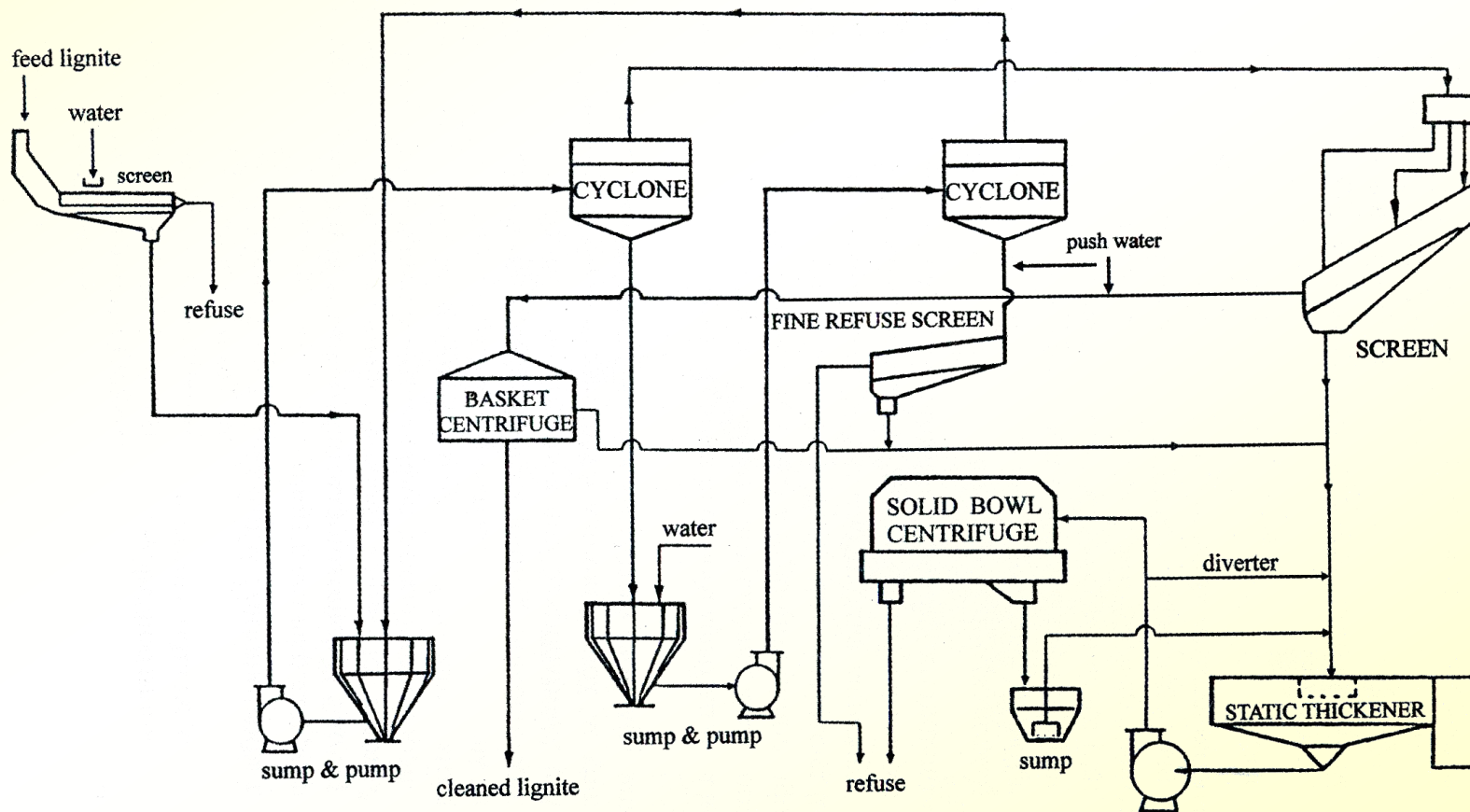
Τέτοιοι κυκλώνες εγκαθίστανται συχνά σε μονάδες δύο σταδίων, για να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους, όμως, η απλότητά τους, οι μικρές απαιτήσεις τους σε χώρο και το γεγονός ότι δεν χρειάζονται σύστημα ανάκτησης του μέσου καθαρισμού, οδήγησαν στην υιοθέτησή τους σαν μονάδες πρώτης επεξεργασίας, οι οποίες χρησιμοποιούνται πριν από άλλες συσκευές εμπλουτισμού.

Επίσης, χρησιμοποιούνται συχνά για τον καθαρισμό οξειδωμένων ανθράκων, μεγέθους άνω του 0,1mm.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Μία μονάδα προετοιμασίας άνθρακα, η οποία επέλεξε την χρήση υδροκυκλώνων για την έκπλυση ενός λιγνίτη του Texas, εξετάσθηκε σε μελέτη που υλοποιήθηκε από το Κέντρο Ποιότητας Γαιανθράκων, στην Homer City των ΗΠΑ.



Διάγραμμα ροής της διεργασίας CCFT (Coal Cleaning Facility Test) στην Homer City των ΗΠΑ.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Δεδομένα απόδοσης της πιλοτικής μονάδας CCFT

Οι δοκιμές έγιναν με τρία διαφορετικά δείγματα, συνολικής ποσότητας 500 tn λιγνίτη.

Επετεύχθη μία μείωση της τέφρας κατά 12% με 45%, μία μείωση του πυριτικού θείου κατά 58% με 79% και μία αύξηση στην θερμαντική αξία κατά 7%.

	Μόνο Υδρο- κυκλώνες Δοκιμή 2	Τράπεζα Συγκέντρωσης Δοκιμή 3	Μόνο Υδρο- κυκλώνες Δοκιμή 4	Χονδρόκοκκα Δοκιμή 5
Ακατέργαστος Γαϊάνθρακας				
Μέγεθος, mm	10x0	10x0	10x0	10x0
Συνολική υγρασία, % κ.β.	31.9	31.9	31.9	28.3
Τέφρα, % κ.β.	15.3	20.8	15.5	11.7
Θείο, % κ.β.	1.19	1.01	1.27	1.09
Πυριτικό θείο, % κ.β.	0.28	0.22	0.44	0.18
Θερμογόνος δύναμη, MJ/kg	24.6	22.7	24.2	25.3
SO ₂ , kg/GJ	0.97	0.89	1.05	0.86
Καθαρισμένος Γαϊάνθρακας				
Συνολική υγρασία, % κ.β.	34.6	33.1	-	-
Υγρασία ισορροπίας, % κ.β.	31.8	29.5	31.6	31.2
Τέφρα, % κ.β.	9.1	9.6	14.0	10.0
Θείο, % κ.β.	0.99	0.93	0.94	1.00
Πυριτικό θείο, % κ.β.	0.12	0.07	0.10	0.11
Θερμογόνος δύναμη, MJ/kg	26.4	26.1	24.9	26.2
SO ₂ , kg/GJ	0.75	0.71	0.76	0.76
Αποτελέσματα				
Αποδοτικότητα, % κ.β.	88	85	92	97
Ανάκτηση ενέργειας, %	95	98	95	100
Μείωση τέφρας, %	45	60	12	17
Συνολική μείωση θείου, %	22	20	28	11
Μείωση πυριτικού θείου, %	58	74	79	41



Καθαρισμός βάσει των επιφανειακών ιδιοτήτων

Οι διαφορές των επιφανειακών ιδιοτήτων του ίδιου του άνθρακα και της ανόργανής ύλης του αποτελούν την βάση για τον διαχωρισμό αυτών των δύο συστατικών σε πυκνά αιωρήματα ύδατος, με τις **τεχνικές επίπλευσης αφρού** και **συσσωμάτωσης με έλαιο**.

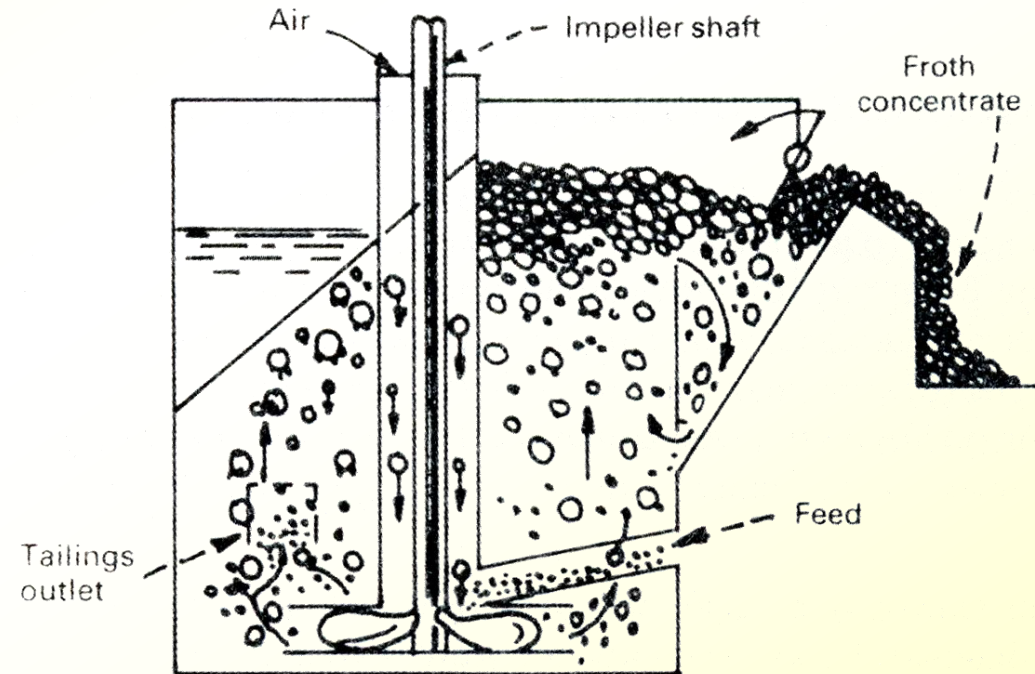
Οι διεργασίες αυτές καθορίζονται από της διεπιφανειακές ιδιότητες των συστημάτων στερεού/υγρού/αερίου ή στερεού/υγρού, αντίστοιχα, και εφαρμόζονται στον καθαρισμό των πιο **λεπτόκοκκων κλασμάτων** μίας μονάδας προετοιμασίας άνθρακα.

Οι μέθοδοι επίπλευσης αφρού και συσσωμάτωσης με έλαιο γίνονται όλο και περισσότερο δημοφιλείς, όσο το κόστος του άνθρακα αυξάνεται και η ανάκτηση των λεπτών σωματιδίων του γίνεται πιο ελκυστική, από οικονομική άποψη. Άλλα κίνητρα περιλαμβάνουν την ανάγκη μείωσης της περιεκτικότητας του άνθρακα σε θείο και τέφρα, για την ικανοποίηση των περιβαλλοντικών κανονισμών και την ανάπτυξη εξειδικευμένων διεργασιών χρήσης του άνθρακα, οι οποίες απαιτούν πιο λεπτά και καθαρά σωματίδια.



Επίπλευση

Το οργανικό υλικό του άνθρακα (ειδικότερα στους βιτουμινικούς άνθρακες) είναι υδρόφοβο και κατά συνέπεια διαβρέχεται πολύ δυσκολότερα από τα ανόργανα σωματίδια. Έτσι σε μία διάταξη επίπλευσης τα καθαρότερα σωματίδια άνθρακα προσκολλώνται στις φυσαλλίδες του αέρα και ανυψώνονται προς τα πάνω επιπλέοντας στην επιφάνεια του κελλίου, απ' όπου αφαιρούνται σαν αφρός, ενώ τα ανόργανα σωματίδια (είναι φυσικώς υδροφιλικά) διαβρέχονται πλήρως και αφαιρούνται σαν απόρριμμα (ή ουρές-tailings).



Τυπικό κελλίο επίπλευσης αφρού ή τύπου αεριζόμενου στον πυθμένα



Συσκευές Επίπλευσης

Οι συσκευές επίπλευσης είναι τριών βασικών τύπων:

- μηχανικά αναδευόμενες,
- πνευματικές και
- τύπου στήλης.

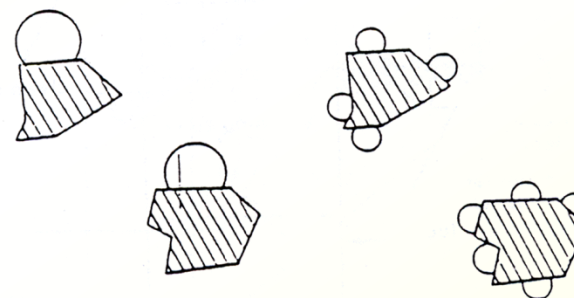
Ο πρώτος τύπος αποτελείται από ένα μηχανικά ωθούμενο στροφέιο, το οποίο διασκορπίζει τον αέρα στον αναδευόμενο πολτό. Μπορεί να είναι "αυτο-αεριζόμενος", αν ο αέρας προσάγεται μόνο από το στροφέιο, ή "υπερφορτισμένος", αν ο αέρας παράγεται από ένα εξωτερικό φουσητήρα. Η πνευματική μηχανή είναι ένας παλαιότερος σχεδιασμός ο οποίος πλέον χρησιμοποιείται σπάνια και βασίζεται στην ύπαρξη συμπιεσμένου αέρα για την ανάδευση του πολτού. **Η συσκευή στήλης** αποτελείται από πολτό και φουσαλίδες αέρα σε αντιρροή.



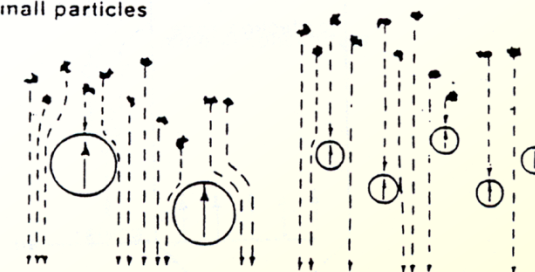
Συσκευές Επίπλευσης

Εξελιγμένες διατάξεις καθαρισμού χρησιμοποιούν διάφορα ακροφύσια και διαχυτήρες, σχεδιασμένα για την παραγωγή πολύ λεπτών φυσαλλίδων μέχρι και 50 μm . Αντίθετα οι φυσαλλίδες που σχηματίζονται από συμβατικούς μηχανικούς αναδευτήρες είναι διαμέτρου από 1 ως 5 mm. Οι λεπτότερες φυσαλλίδες είναι αποτελεσματικές για τον διαχωρισμό των λεπτόκοκκων σωματιδίων. Αρκετές μικρές φυσαλλίδες προσκολλώνται σε μεγάλα σωματίδια ενώ αυξάνονται σημαντικά και οι συγκρούσεις (προσκολλήσεις) μικρών σωματιδίων.

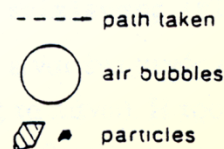
a) Large particles



b) Small particles



↑ direction of travel



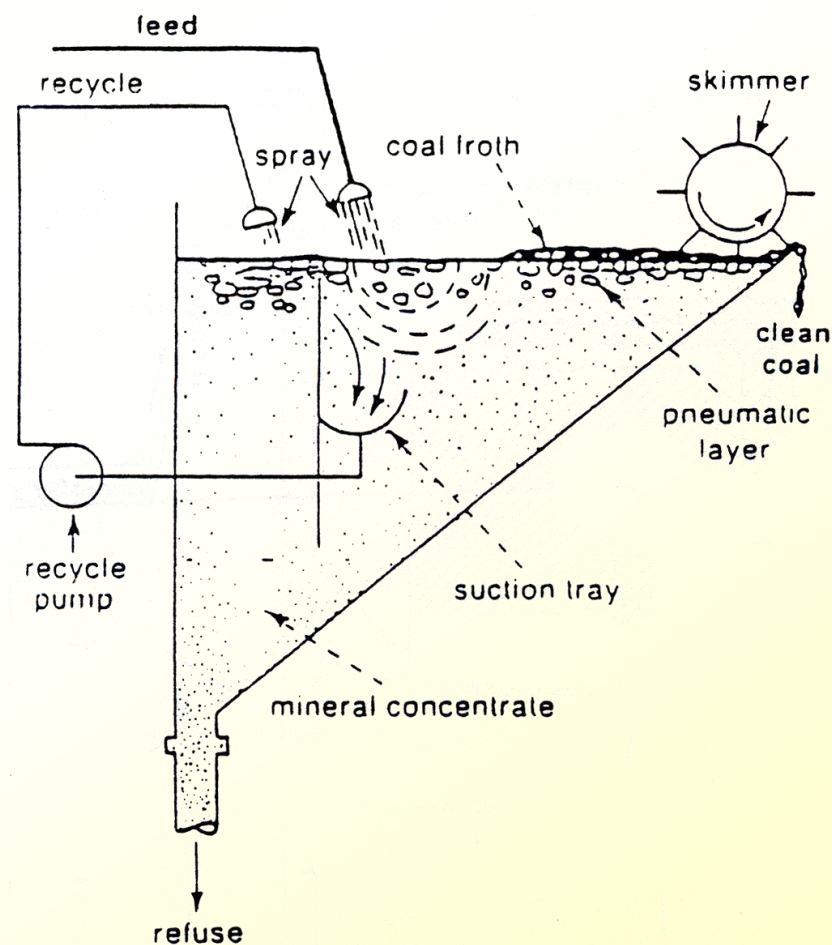
Επίδραση μεγέθους φυσαλλίδων αέρα
στη συλλογή σωματιδίων



Κελλίο επίπλευσης AFT

Στο σύστημα της Advanced Fuels Technology (AFT) η τροφοδοσία αναμιγνύεται με υδρόφοβα πρόσθετα και διασκορπίζεται στην επιφάνεια του κελλίου. Τα σωματίδια καθαρού άνθρακα απλά επιπλέουν κατά μήκος της επιφάνειας και συλλέγονται. Ρευστό από το μέσον του κελλίου ανακυκλώνεται για να αυξηθεί η απόδοση του διαχωρισμού.

Η μέθοδος εφαρμόζεται με επιτυχία από το 1984 στη Σουηδία, σε πιλοτική μονάδα δυναμικότητας 10 t/h, παράγοντας καθαρό καύσιμο άνθρακα σε σκόνη. Το σύστημα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό για τον διαχωρισμό πολύ λεπτόκοκκων σωματιδίων (ultrafines) παρουσιάζοντας ανάκτηση καύσιμου υλικού 90% και μείωση τέφρας από 41% στο 7%.



Κελλίο επίπλευσης AFT



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Η επίπλευση ενός σταδίου, γενικά, έχει σαν αποτέλεσμα ένα χαμηλότερο βαθμό ανάκτησης των χονδρόκοκκων κλασμάτων στο κύκλωμα επίπλευσης. Όμως, η **επίπλευση σε δύο στάδια**, για μεμονωμένα κλάσματα μεγέθους της τροφοδοσίας, παρέχει καλύτερη απόδοση καθαρισμού, ιδίως όταν το ποσοστό του πολύ λεπτόκοκκου υλικού ($-35\mu\text{m}$) στην τροφοδοσία είναι υψηλό.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται συχνά ένα δεύτερο στάδιο επίπλευσης για την απομάκρυνση του λεπτόκοκκου πυρίτη, ο οποίος παραμένει στο συμπύκνωμα του καθαρού άνθρακα του πρώτου σταδίου. Σε αυτό, ο πυρίτης επιπλέει με την προσθήκη αλάτων ξανθογονικών οξέων, ενώ ο άνθρακας καθιζάνει με την βοήθεια ενός υδροφιλικού κολλοειδούς.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Η επίπλευση σε αντιρροή παράγει ένα καθαρότερο προϊόν άνθρακα, με υψηλότερο βαθμό ανάκτησης και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, από ότι η συμβατική επίπλευση. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι **μία στήλη προσομοιάζει ένα κύκλωμα επίπλευσης πολλών σταδίων, σε ένα μόνο στάδιο επίπλευσης.**

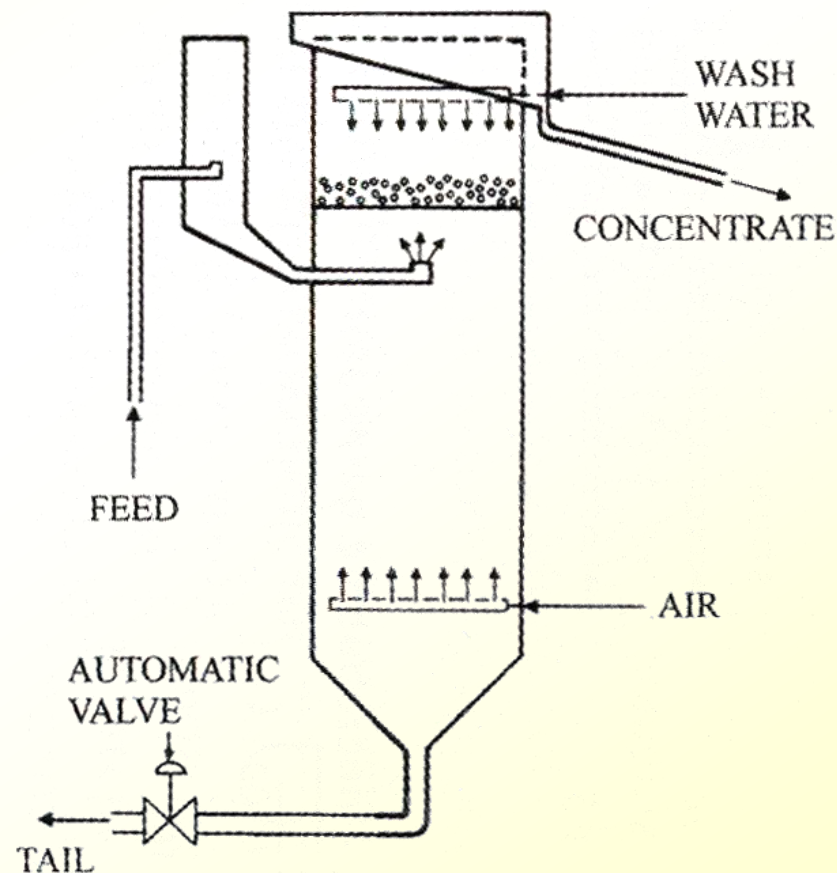
Οι στήλες προωθούν την επαφή σωματιδίου-φυσαλίδας διαμέσου όλου του όγκου τους και, δεδομένου ότι δημιουργούν συνθήκες μικρότερου τυρβώδους, **μπορούν να επιτύχουν την επίπλευση πιο χονδρόκοκκων υλικών από ότι τα συμβατικά κελιά.** Επίσης, είναι ικανές να παράγουν φυσαλίδες με μέγεθος διαμέτρου ενός δεκάτου του μικρομέτρου μόνον, αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το εμβαδόν της επιφάνειας της φυσαλίδας που είναι διαθέσιμο για επαφή και κατά συνέπεια τον ρυθμό επίπλευσης. Στις περισσότερες στήλες, η παράσυρση του λεπτόκοκκου απόβλητου υλικού, από το ύδωρ τροφοδοσίας στον αφρό, αποφεύγεται με την προσθήκη ύδατος έκπλυσης στον αφρό. Τελικά, **οι στήλες επίπλευσης απαιτούν μικρότερο χώρο εγκατάστασης από τα συμβατικά κελιά και ελέγχονται ευκολότερα.**



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στήλες

Η ανάπτυξη των στηλών ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '60 στον Καναδά υπό μορφή στηλών αντirroής. Χρησιμοποιείται στήλη σημαντικού ύψους, συνήθως πάνω από 12 m, στην οποία η τροφοδοσία εισάγεται σε μορφή πολτού και στο ένα πέμπτο του ύψους από την κορυφή. Αέρας τροφοδοτείται στον πυθμένα μέσω δίσκων διάχυσης και στην κορυφή εισάγεται νερό πλύσης. Στήλες έχουν χρησιμοποιηθεί σε συμβατικές εγκαταστάσεις καθαρισμού.



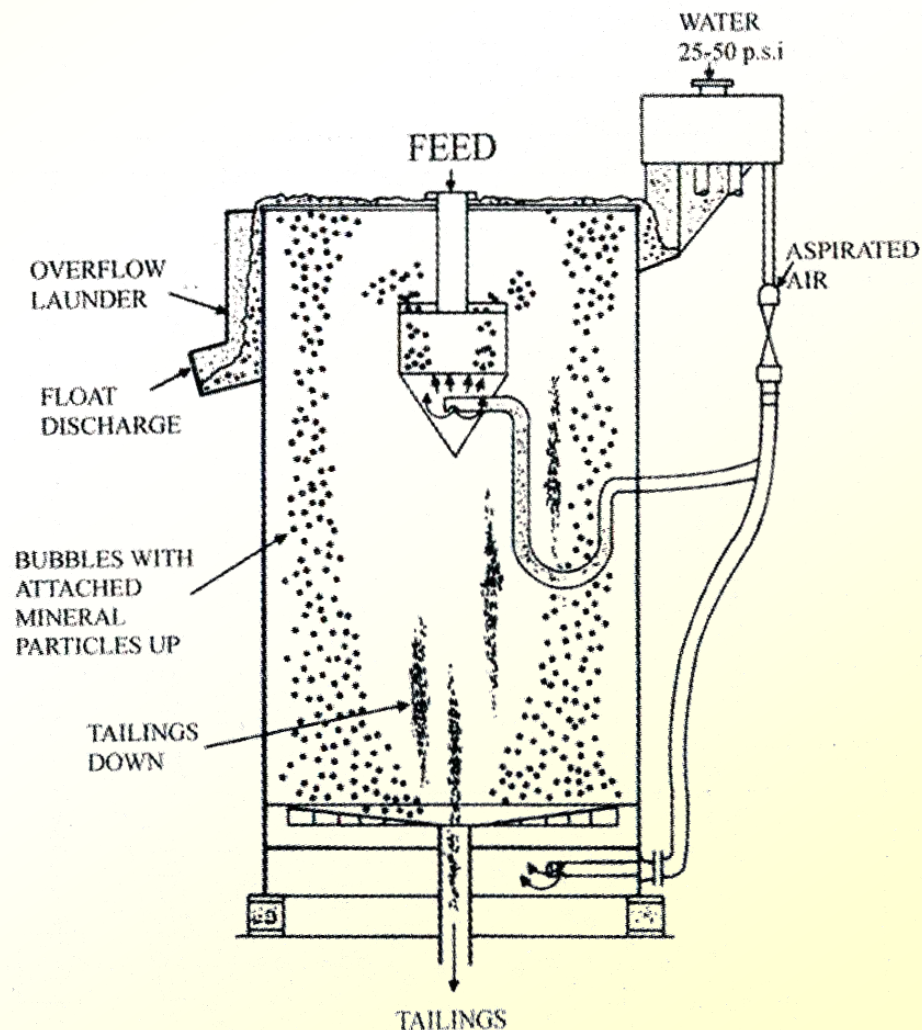
Στήλη επίπλευσης



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στήλες

Το σύστημα είναι ένα κενός αυλός με αντιρροή νερού - αέρα (νερό προς τα κάτω, αέρας προς τα πάνω). Η τροφοδοσία που πρόκειται να διαχωριστεί μαζί με τα κατάλληλα πρόσθετα εισάγεται κοντά στην κορυφή. Τα καθαρά σωματίδια άνθρακα συλλέγονται από τις φυσαλλίδες αέρα και απομακρύνονται μαζί με τον αφρό από την κορυφή της στήλης. Τα βαρύτερα (πλούσια σε τέφρα) σωματίδια έχουν την τάση να καταβυθίζονται και απομακρύνονται από τον πυθμένα. Λεπτόκοκκα πυριτικά σωματίδια πολλές φορές παγιδεύονται στον αφρό.



Στήλη Deister Flotaire



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Στήλες

Η **στήλη επίπλευσης Deister Flotaire** δοκιμάστηκε αρχικά την δεκαετία του 60, ενώ τα μοντέλα δεύτερης γενιάς πρωτοχρησιμοποιήθηκαν το 1986.

Η μονάδα έχει δοκιμαστεί εκτεταμένα και υπάρχει εμπειρία εμπορικής εφαρμογής της με ικανοποιητικά αποτελέσματα ιδιαίτερα σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, αλλά δεν έχει ακόμη υιοθετηθεί ευρέως για καθαρισμό άνθρακα.

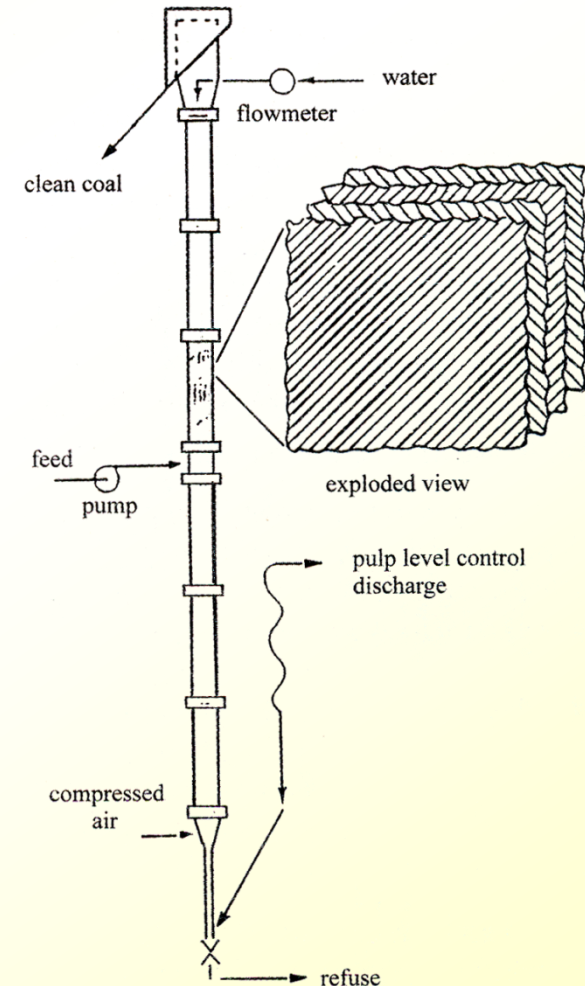


Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στήλες

Πρόκειται για κατακόρυφο αυλό με συμβατικό πληρωτικό υλικό, που φέρει πτυχές κατά μήκος της στήλης, διευκολύνοντας την επαφή σωματιδίων και φυσαλλίδων. Οι ανυψούμενες φυσαλλίδες αέρα έχουν σταθερό μέγεθος και ο διαχωρισμός του καθαρού άνθρακα και της τέφρας γίνεται στο αφρώδες μίγμα.

Η διεργασία αναπτύχθηκε στο Michigan Technological University (MTU) των ΗΠΑ για τον διαχωρισμό των πολύ λεπτόκοκκων (ultrafines), και την υπερνίκηση των προβλημάτων κατακόρυφης ανάμιξης που παρουσιάζουν οι ανοιχτές στήλες.



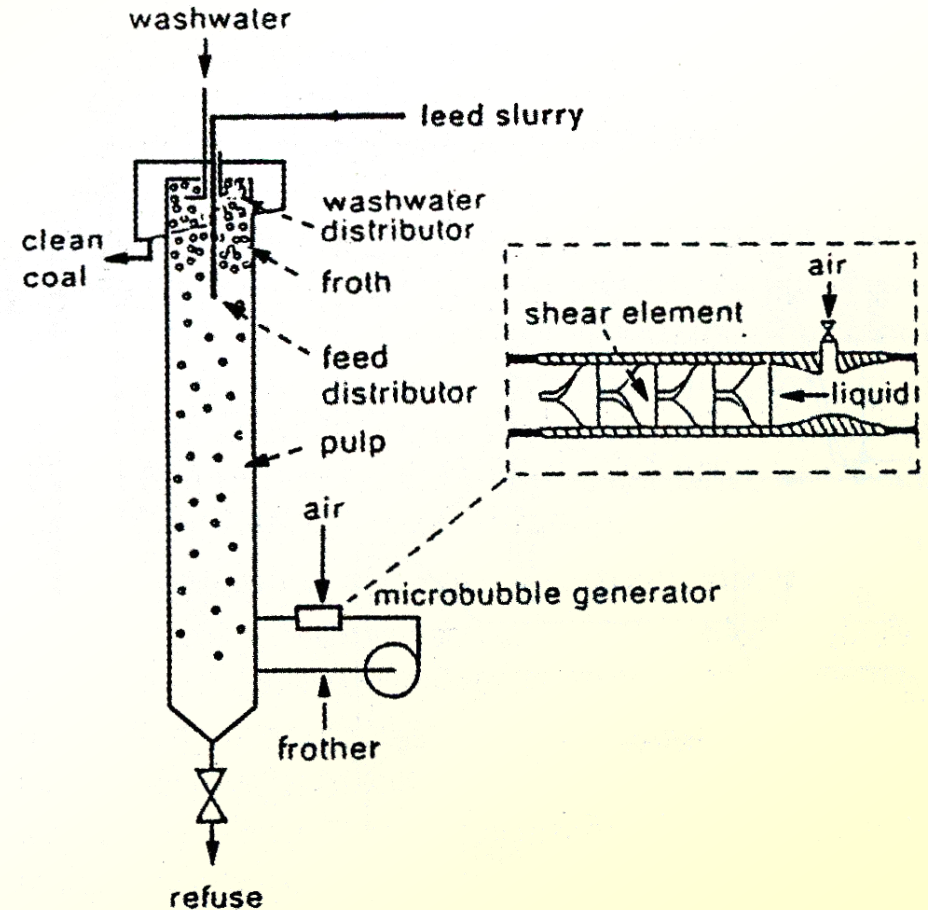
Στήλη με πληρωτικό υλικό (ή Static Tube)



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στήλες

Στην διάταξη αυτή χρησιμοποιείται ένας στατικός αναμίκτης με πτερύγια για την δημιουργία μικροφουσαλλίδων στην τροφοδοσία, στη βάση της στήλης. Από το υψηλό τυρβώδες που προκαλούν τα ακίνητα πτερύγια δημιουργούνται μικρές φουσαλλίδες τυπικού μεγέθους 0,1 – 0,4 mm. Σε αντίθεση με τα συμβατικά κελία επίπλευσης, στη στήλη μικροφουσαλλίδων παράγονται φουσαλλίδες μόνο σε ένα μέρος της στήλης, ενώ στο κεντρικό τμήμα της επικρατεί σχετική ηρεμία.



Στήλη μικροφουσαλλίδων (Microbubble VPI)



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Στήλες

Με τη **στήλη μικροφουσαλίδων** ξεπερνάμε ορισμένα από τα προβλήματα που εμφανίζονται σε άλλες διατάξεις στηλών, και ιδιαίτερα εκείνα που σχετίζονται με την χαμηλή φόρτιση και την απόφραξη των διαχυτικών στοιχείων. Οι μικρές φουσαλλίδες υποβοηθούν τις συγκρούσεις σωματιδίων - φουσαλλίδων και αυξάνουν τον ρυθμό επίπλευσης. Έτσι είναι δυνατή η χρήση στήλης μικρότερου ύψους και συνεπώς η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για δεδομένο διαχωρισμό.

Η διάταξη αυτή αναπτύχθηκε στο Virginia Polytechnic Institute (VPI) των ΗΠΑ. Πιλοτική μονάδα διαμέτρου 2,4 m δοκιμάστηκε σε λειτουργούσα εγκατάσταση καθαρισμού άνθρακα στην West Virginia των ΗΠΑ. Μία άλλη στήλη μικροφουσαλλίδων με δυναμικότητα 0,9 t/h κατασκευάστηκε από την Bergbau-forschung στην Γερμανία και δοκιμάστηκε στο Coal Quality Development Centre (CQDC) στο Homer City των ΗΠΑ. Οι δοκιμές της μεθόδου έδωσαν προϊόν με λιγότερο από 10% τέφρα (σε σχέση με αρχική περιεκτικότητα 45 ως 60%) και ανάκτηση καύσιμων στερεών 65% κατά μέσον όρο.

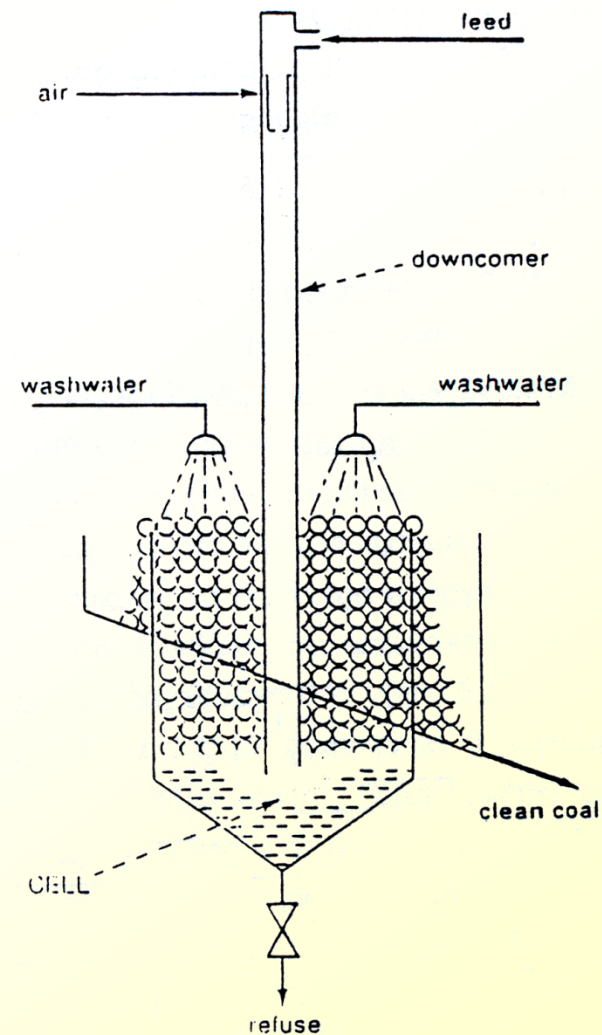


Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στήλες

Το κελλίο Jameson είναι μία στήλη μικρού ύψους με κοινή τροφοδοσία αέρα-άνθρακα που εισάγεται από την κορυφή με κατεύθυνση τον πυθμένα. Στο κατερχόμενο ρεύμα οι παρασυρόμενες φυσαλίδες τείνουν να ανυψωθούν αντίθετα με την ροή του υγρού.

Στο κελλίο αυτό το 60% του διαθέσιμου όγκου καταλαμβάνεται από φυσαλίδες και κατά συνέπεια τα σωματίδια δεν διανύουν μεγάλη απόσταση πριν συναντήσουν φυσαλίδες και προσκολληθούν. Στον πυθμένα οι φυσαλίδες αποκολλώνται και ανυψώνονται στην ζώνη του αφρού για διαχωρισμό. Ο αφρός πρέπει να απομακρύνεται όπως και στα συμβατικά κελλία και στήλες για να δευκολύνεται ο διαχωρισμός. Ο χρόνος παραμονής στο κελλίο είναι μικρός (2-3 min) σε σχέση με 15 - 30 min σε συμβατικά κελλία.



Κελλίο Jameson



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Στήλες

Το **κελλίο Jameson** αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και επιδεικτική μονάδα λειτουργεί με επιτυχία στο Newlands της Αυστραλίας.

Αρχικά αναπτύχθηκε για την ανάκτηση μετάλλων, όπως μόλυβδος, ψευδάργυρος και χαλκός από μεταλλεύματα, και έχει δοκιμαστεί για λεπτόκοκκο άνθρακα. Η τροφοδοσία περιέχει 5 - 8% στερεά με τέφρα 15 ως 40%, για ογκομετρικές παροχές μέχρι 625 m³/h. Η μονάδα λειτούργησε με επιτυχία παρουσιάζοντας ανάκτηση στερεών 92%.



Συσσωμάτωση με Έλαιο

Η διεργασία της συσσωμάτωσης με έλαιο, η οποία αναπτύχθηκε από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας του Καναδά (NRCC), αντιπροσωπεύει **μία εναλλακτική μέθοδο της επίπλευσης για καθαρισμό λεπτόκοκκου άνθρακα (<75μm)**. Όπως και η επίπλευση, βασίζεται στις διαφορετικές επιφανειακές ιδιότητες των οργανικών και των ανόργανων συστατικών του άνθρακα για την επίτευξη του διαχωρισμού.

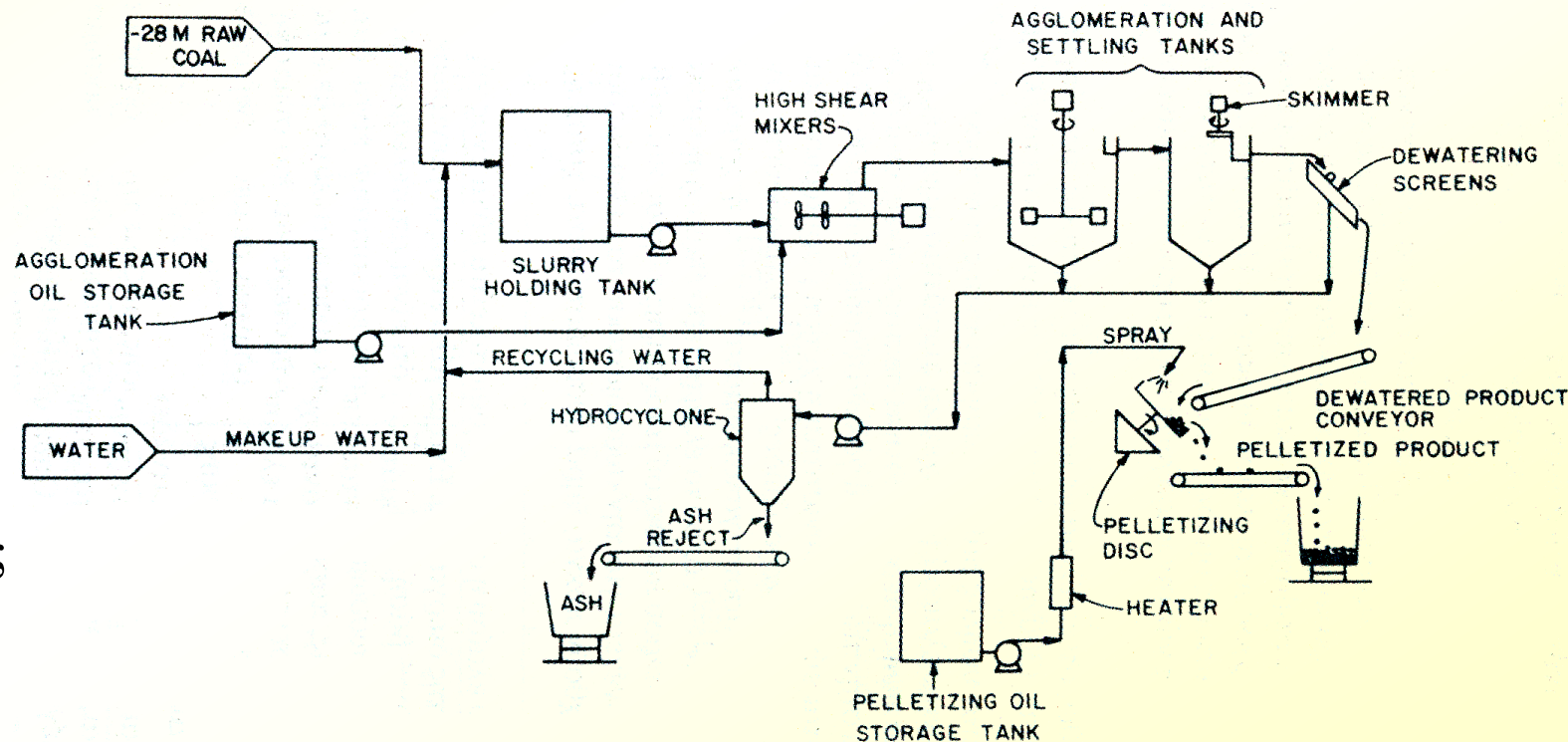
Βασικά, η διεργασία συνίσταται στην συσσωμάτωση των ανθρακούχων συστατικών των λεπτών σωματιδίων του άνθρακα, μέσα σε αναδευόμενα πυκνά υδατικά αιωρήματα, χρησιμοποιώντας έλαια τα οποία δεν είναι αναμίξιμα με το ύδωρ και κατά προτίμηση υγραίνουν τις υδροφοβικές επιφάνειες του άνθρακα, μέσω τριχοειδών διεπιφανειακών δυνάμεων. Τα συσσωματώματα αυτά, όντας πιο χονδρόκοκκα από τα μη επηρεασθέντα υδροφιλικά σωματίδια της ανόργανης ύλης, μπορούν στην συνέχεια να ανακτηθούν με μία διάταξη επίπλευσης και βύθισης, ή με την χρήση κόσκινων.



Συσσωμάτωση με Έλαιο

Η διεργασία της συσσωμάτωσης με έλαιο έχει δύο ξεχωριστές λειτουργίες. Η πρώτη είναι η ικανότητά της να διαχωρίζει εκλεκτικά τον άνθρακα από την ανόργανη ύλη και η δεύτερη είναι η ικανότητά της να αφυδατώνει τα λεπτά σωματίδια του άνθρακα,

παράγοντας ένα εύκολο στην διαχείριση και μεταφορά καθαρό προϊόν (το οποίο ρέει ελεύθερα, δεν παγώνει, και δεν προξενεί σκόνη), το οποίο υπό κανονικές συνθήκες δεν απαιτεί διήθηση ή θερμική ξήρανση.





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Καθαρισμός βάσει μαγνητικών ιδιοτήτων

Τα οργανικά συστατικά του άνθρακα είναι βασικά διαμαγνητικά, ενώ τα περισσότερα ανόργανα συστατικά του άνθρακα είναι παραμαγνητικά.

Αν η παραμαγνητική φύση αυτών των ανόργανων συστατικών, και ειδικότερα του πυρίτη, βελτιώνεται από την μερική μετατροπή τους σε σιδηρομαγνητικά υλικά, τότε ο διαχωρισμός τους από τον άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με συμβατικό μαγνητικό διαχωρισμό χαμηλής εντάσεως πεδίου. Διαφορετικά, τα ασθενώς παραμαγνητικά ανόργανα συστατικά μπορούν να αφαιρεθούν από τον άνθρακα μόνο με μαγνητικό διαχωρισμό υψηλής εντάσεως πεδίου (HGMS).



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Διεργασία Magnex

Η διεργασία Magnex, η οποία αναπτύχθηκε από την Hazen Research Inc., περιλαμβάνει προ-κατεργασία του κονιοποιημένου άνθρακα (με προτιμώμενα μεγέθη σωματιδίων $-1,4\text{mm}$) με αέριο πεντακαρβονυλικό σίδηρο, $\text{Fe}(\text{CO})_5$, σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία περίπου 170°C , για μισή έως μία ώρα, ακολουθούμενη από μαγνητικό διαχωρισμό χαμηλής έντασης, για την απομάκρυνση του πυρίτη και της τέφρας από τον άνθρακα. Η διεργασία βασίζεται στην θερμική αποσύνθεση του πεντακαρβονυλικού σιδήρου, για τον εκλεκτικό σχηματισμό υλικών με υψηλότερα επίπεδα μαγνητικής επιδεκτικότητας, μόνο στην επιφάνεια των ανόργανων σωματιδίων και όχι των σωματιδίων άνθρακα.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Διεργασία Magnex

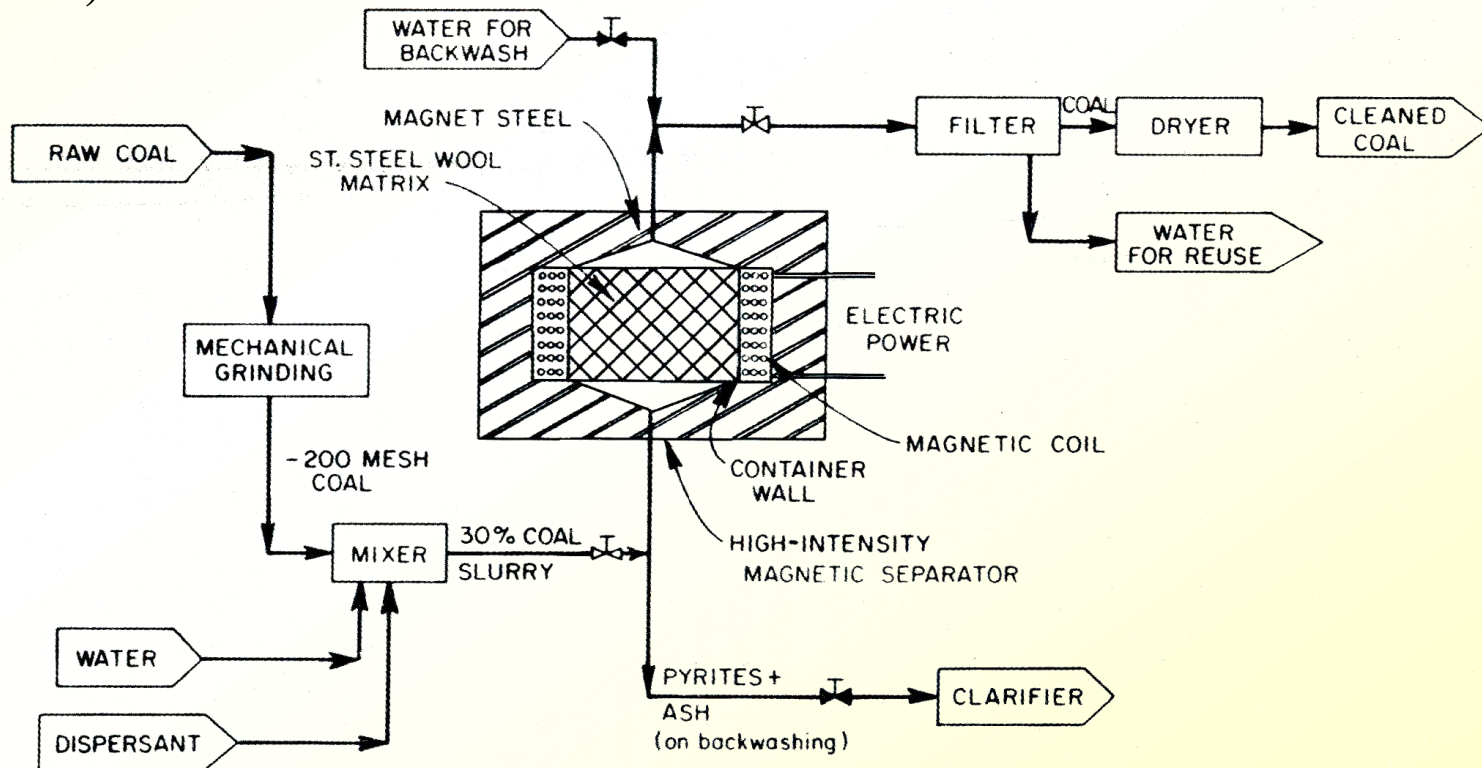
Τα πλεονεκτήματα της διεργασίας Magnex είναι η απλότητά της και η εξάλειψη του κόστους αφυδάτωσης. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι ο πεντακαρβονυλικός σίδηρος είναι πολύ τοξικός και σχετικά δαπανηρός.

Η διεργασία έχει δοκιμασθεί επιτυχώς σε επίπεδο μίας πιλοτική μονάδας δυναμικότητας 90 kg/h για μεγάλο αριθμό ασφαλτούχων ανθράκων, μειώνοντας το πυριτικό θείο και την περιεκτικότητα σε τέφρα κατά περίπου 60% με 90% και 24% με 67% αντίστοιχα, με παράλληλη ανάκτηση 73% με 90% του καθαρού άνθρακα. Όμως, έχει εφαρμοσθεί σπανίως σε άνθρακες χαμηλής τάξης, η περιεκτικότητα των οποίων σε πυριτικό θείο είναι πολύ χαμηλότερη.



Διεργασία Μαγνητικού Διαχωρισμού Υψηλής Εντάσεως (HGMS)

Η διεργασία HGMS κατευθύνεται κυρίως στον διαχωρισμό του πυριτικού θείου, περνώντας ένα υδατικό πυκνό αιώρημα λεπτά κονιοποιημένου άνθρακα (γενικά ενός μεγέθους σωματιδίων $-75\mu\text{m}$), σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ατμοσφαιρική πίεση, μέσω μίας στήλης με πληρωτικό υλικό, όπου υπόκειται σε μαγνητικό πεδίο υψηλής έντασης (20KOe).





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Διεργασία Μαγνητικού Διαχωρισμού Υψηλής Εντάσεως (HGMS)

Το υλικό πλήρωσης είναι βάμβακας ανοξειδωτού χάλυβα, ή μία εσχάρα από ατσάλινο συρματόσχοινο. Όταν τα παραμαγνητικά υλικά στο πυκνό αιώρημα άνθρακα, όπως ο πυρίτης και η ανόργανη ύλη, ρεύσουν διαμέσου αυτού του σιδηρομαγνητικού υλικού πλήρωσης, μαγνητίζονται και εγκλωβίζονται στην μήτρα, ενώ τα διαμαγνητικά σωματίδια του άνθρακα δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό πεδίο και περνούν μέσω της μήτρας.



Διεργασία Μαγνητικού Διαχωρισμού Υψηλής Εντάσεως (HGMS)

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον μαγνητικό διαχωρισμό των ανόργανων συστατικών από τον άνθρακα είναι η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων και η ταχύτητα του πολτού, η ένταση του πεδίου και τα χαρακτηριστικά του πληρωτικού υλικού.

Υπάρχει ένα βέλτιστο μέγεθος σωματιδίων, για το οποίο η πιθανότητα σύλληψης είναι μέγιστη, που κυμαίνεται μεταξύ $75\mu\text{m}$ και $150\mu\text{m}$. Ο μαγνητικός διαχωρισμός μειώνεται όταν η ταχύτητα του πολτού αυξάνεται, ενώ το αντίθετο ισχύει όταν αυξάνεται η ένταση του πεδίου. Το υλικό πλήρωσης ανοξειδωτου χάλυβα είναι πιο αποδοτικό από την εσχάρα, λόγω του μεγαλύτερου εμβαδού της επιφάνειάς του. Ομως, καθώς ο κενός όγκος αυτού του υλικού αυξάνεται, το ποσοστό απομάκρυνσης της ανόργανης ύλης μειώνεται.



Διεργασία Μαγνητικού Διαχωρισμού Υψηλής Εντάσεως (HGMS)

Η διεργασία HGMS είναι σχετικά απλή και οικονομική. Είναι πολύ πιο αποδοτική από την διεργασία Magnex.

Και οι δύο διεργασίες εμφανίζονται πιο αποδοτικές για την αφαίρεση πυριτικού θείου, από ότι η διεργασία επίπλευσης αφρού σε δύο στάδια, αλλά λιγότερο αποδοτικές για την αφαίρεση της ανόργανης ύλης. Έτσι, είναι περισσότερο κατάλληλη για εκτεταμένη αποθείωση ανθράκων χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα και υψηλής περιεκτικότητας σε πυριτικό θείο.



ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΞΗΡΑΝΣΗ

Οι περισσότερες από τις διεργασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του άνθρακα, περιλαμβάνουν την προσθήκη σημαντικών ποσοτήτων ύδατος σε διάφορα στάδια, είτε σαν εγγενές στάδιο της διεργασίας καθαρισμού, είτε σαν μέσο αποφυγής της σκόνης.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία δεν είναι επιθυμητή σε έναν άνθρακα, γιατί μπορεί να οδηγήσει σε συσσωμάτωση ή ψύξη, αυξάνει το κόστος μεταφοράς και μειώνει την θερμογόνο του δύναμη. Έτσι, είναι προφανής η ανάγκη αφαίρεσής της από τον άνθρακα, στον μέγιστο δυνατό βαθμό, πριν αυτός εγκαταλείψει την μονάδα προετοιμασίας.



ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΞΗΡΑΝΣΗ

Η μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία ανθράκων χαμηλής τάξης μπορεί να επιτευχθεί με **μηχανικές ή θερμικές διεργασίες**.

Οι μηχανικές τεχνικές εφαρμόζονται γενικά στην **αφυδάτωση**, ενώ οι θερμικές εφαρμόζονται στην **ξήρανση**. Όμως, πρέπει να δοθεί προσοχή, ώστε να αποφευχθεί ένας υπερβολικός βαθμός ξήρανσης των ανθράκων, επειδή αυτό ενισχύει την φυσική τάση που έχουν στην απομείωση του μεγέθους τους, καθώς τα επίπεδα υγρασίας πέφτουν σε επίπεδα χαμηλότερα από την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας. Επίσης, αυξάνει τον κίνδυνο αυτογενούς θέρμανσης και ρύπανσης από σκόνη.



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Η δυσκολία και το κόστος της αφυδάτωσης αυξάνονται αν το εμβαδόν της επιφάνειας των υπό κατεργασία σωματιδίων είναι μεγάλο, ή αν τα απαιτούμενα επίπεδα τελικής υγρασίας είναι χαμηλά.

Έχουν αναπτυχθεί πολλές μηχανικές συσκευές για την αφυδάτωση ανθράκων διαφόρων μεγεθών, σε διαφορετικά επίπεδα τελικής υγρασίας. Δονούμενα ή στατικά κόσκινα, καθώς και κάποια ειδικά κόσκινα, χρησιμοποιούνται συχνά για την αφυδάτωση χονδρόκοκκων υλικών, μεγέθους συνήθως μεγαλύτερου από 0.5mm. Όμως, για άνθρακες χαμηλής τάξης, οι συσκευές με την μεγαλύτερη εφαρμογή είναι οι συσκευές φυγοκέντρισης και τα φίλτρα.



Φυγοκέντριση

Η αφυδάτωση με φυγοκέντριση βασίζεται σε υψηλές περιστροφικές επιταχύνσεις. Οι συσκευές φυγοκέντρισης αποδέχονται τροφοδοσίες με μέγιστο μέγεθος σωματιδίων μεταξύ 25 mm και 13 mm ή και μικρότερα. Τα προϊόντα τείνουν να είναι ομοιογενή, σταθερά και εύκολα διαχειρίσιμα. Οι βασικοί τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται, σε σύγχρονες μονάδες προετοιμασίας του άνθρακα, είναι

- ✓ οι συσκευές φυγοκέντρισης με διάτρητο κάλαθο,
- ✓ οι συσκευές φυγοκέντρισης με δονούμενο κάλαθο και
- ✓ οι συσκευές φυγοκέντρισης στερεής λεκάνης.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Φυγοκέντριση

Συσκευές φυγοκέντρισης με διάτρητο κάλαθο

Η δυναμικότητα κατεργασίας φθάνει τους 100 tons/h και το ποσοστό ανάκτησης υπερβαίνει το 90%. Με λεπτόκοκκους άνθρακες το τελικό προϊόν έχει επιφανειακή υγρασία 12% με 14%.

Συσκευές φυγοκέντρισης με δονούμενο κάλαθο

Οι μηχανές αυτές μπορούν να τροφοδοτηθούν με άνθρακα με περιεκτικότητα σε υγρασία 60% και μπορούν να σχεδιασθούν μονάδες μίας συσκευής, οι οποίες να διαχειρίζονται μέχρι και 350 tons/h στερεών. Η επιφανειακή υγρασία, για μεγέθη 9,5mm έως 0,5mm τα οποία έχουν καλά διαχωρισθεί με κόσκινο, μπορεί να είναι αρκετά χαμηλή, σε επίπεδα δηλαδή 6% με 7%.

Συσκευές φυγοκέντρισης στερεής λεκάνης

Η απόδοση της συσκευής αυτής βρίσκεται ανάμεσα στην απόδοση των συσκευών φυγοκέντρισης με διάτρητο κάλαθο και των συσκευών φυγοκέντρισης με δονούμενο κάλαθο, όπου η τελευταία προξενεί τον μικρότερο βαθμό υποβάθμισης.



Διήθηση

Τα λεπτά σωματίδια άνθρακα, μεγέθους μικρότερου του 0.5mm, κανονικά αφυδατώνονται με **χρήση φίλτρων κενού**. Τα φίλτρα αυτά κατεργάζονται πυκνά αιωρήματα, τα οποία περιέχουν μεγάλο ποσοστό στερεών και αφαιρούν το νερό για την παραγωγή μίας υγρής επικάθισης (πλακούντα) σωματιδίων, με περιεκτικότητα σε υγρασία που κυμαίνεται μεταξύ 20% και 30% (όταν υποβοηθούνται με ηλεκτρικά μέσα, επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση του ρυθμού και του βαθμού απομάκρυνσης του ύδατος από λεπτόκοκκους άνθρακες).

Τα φίλτρα ενεργούν έλκοντας το πυκνό αιώρημα μέσω μίας λεπτής μεμβράνης, η οποία υποστηρίζεται από ένα κατάλληλα κατασκευασμένο δίκτυο αποχέτευσης, που προσαρμόζεται σε ένα σύστημα δημιουργίας κενού. Μετά το πέρασμα του νερού μέσω της επιφάνειας του φίλτρου, η επικάθιση αφαιρείται, αντιστρέφοντας την πίεση ή και με την χρήση μηχανικών ξέστρων.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Διήθηση

Οι δύο βασικοί τύποι σχεδιασμού φίλτρων είναι τα φίλτρα δίσκου και τα φίλτρα τυμπάνου.

Το φίλτρο τυμπάνου είναι ένας κύλινδρος, γύρω από τον οποίο τυλίγεται το ύφασμα του φίλτρου. Το τύμπανο βυθίζεται στο αιώρημα, ή το αιώρημα τροφοδοτείται από μία δεξαμενή πάνω στο τύμπανο. Καθώς το τύμπανο περιστρέφεται, σχηματίζεται η επικάλυψη του φίλτρου, η οποία αφαιρείται είτε με μία μηχανική ξέστρα ή με πνευματικά μέσα (εκφόρτιση με αντίστροφη εμφύσηση αέρα).

Τα **φίλτρα δίσκων** αποτελούν το 90% του συνόλου των φίλτρων τα οποία βρίσκονται σε χρήση. Είναι ιδιαίτερα πιο οικονομικά από τα φίλτρα τυμπάνου, έχουν μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας (μέχρι 400m²) καταλαμβάνοντας μικρότερο χώρο και είναι ευκολότερα στην διαχείριση και στην συντήρησή τους. Από την άλλη πλευρά, τα φίλτρα τυμπάνου είναι σε θέση να λειτουργούν υπό συνθήκες μεταβλητής ροής τροφοδοσίας, μπορούν να διαχειρισθούν ευκολότερα τροφοδοσίες υψηλότερης περιεκτικότητας σε τέφρα που περιέχουν μεγάλο ποσοστό λεπτών σωματιδίων (-45μm) και έχουν καθαρότερη εκροή, όταν παράγονται λεπτές επικαθίσεις φίλτρου.



ΞΗΡΑΝΣΗ

Η θερμική ξήρανση είναι μία διεργασία η οποία συνίσταται στην επιτάχυνση της εξάτμισης της επιφανειακής υγρασίας.

Εφαρμόζεται σε κυκλώματα προετοιμασίας για επεξεργασία των λεπτών σωματιδίων του άνθρακα (6 mm), τα οποία έχουν την τάση να συγκρατούν μεγαλύτερο μέρος του ύδατος λόγω του σχετικά μεγαλύτερου εμβαδού της επιφάνειάς τους, ελαττώνοντας τα επίπεδα υγρασίας σε ένα ποσοστό 6% έως 12%.



ΞΗΡΑΝΣΗ

Τα **πλεονεκτήματα** από τις διεργασίες θερμικής ξήρανσης περιλαμβάνουν

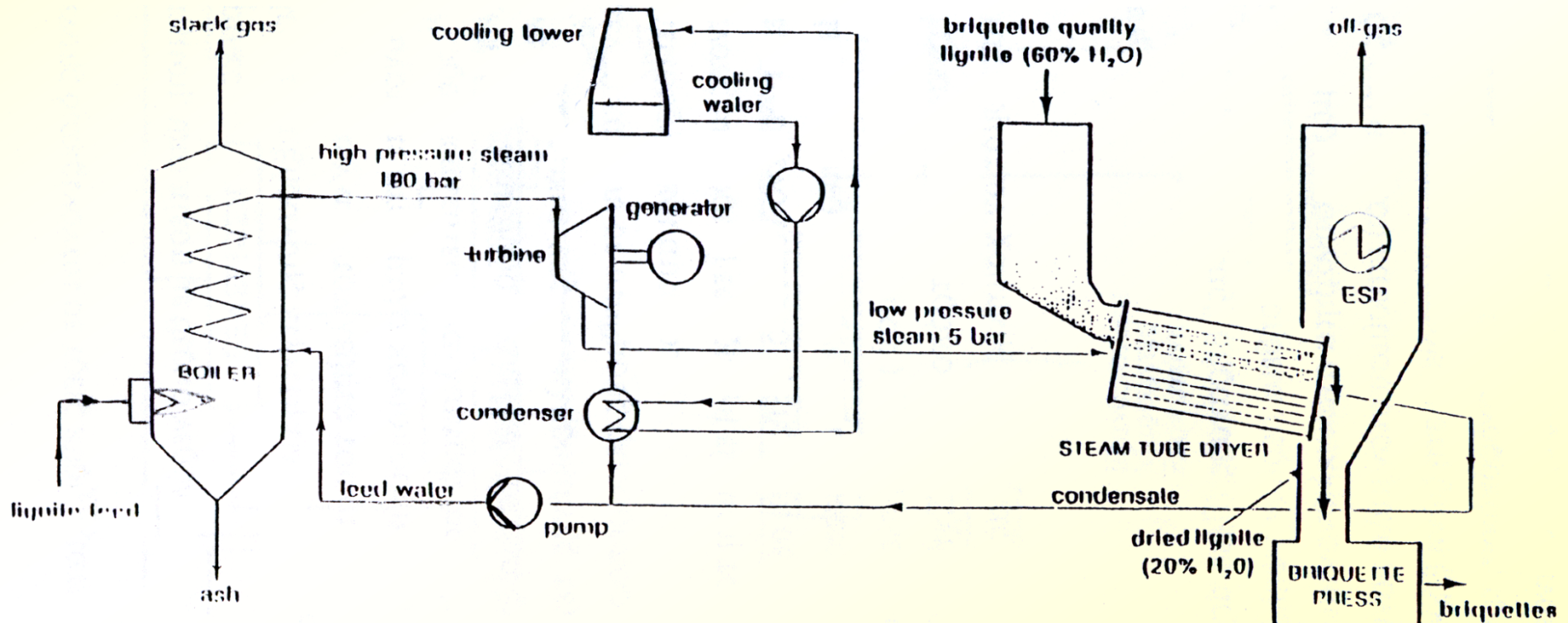
- την βελτίωση των οικονομικών παραμέτρων της μεταφοράς, σαν αποτέλεσμα της αύξησης της θερμαντικής αξίας και της μείωσης της πιθανότητας προβλημάτων παγώματος σε άσχημες καιρικές συνθήκες και
- την βελτίωση του κόστους εκμετάλλευσης, λόγω της μεγαλύτερης αποδοτικότητας του λέβητα, των μικρότερων απαιτήσεων δυναμικότητας και της αυξημένης χωρητικότητας του κονιοποιητή.

Το **κύριο μειονέκτημα** της θερμικής ξήρανσης είναι το πρόβλημα των εκπομπών σωματιδιακής ύλης.



ΞΗΡΑΝΣΗ

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ξήρανση του λιγνίτη επιτυγχάνεται με την **χρησιμοποίηση ατμού χαμηλής πίεσης από παρακείμενο σταθμό παραγωγής ενέργειας**. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αξιοποίηση της ενέργειας ρευμάτων χαμηλής ενθαλπίας που διαφορετικά θα απορριπτόταν.



Διάταξη αξιοποίησης ατμού χαμηλής πίεσης για ξήρανση



ΞΗΡΑΝΣΗ

Υπάρχουν δύο τύποι θερμικής ξήρανσης

- η **άμεση** ξήρανση (ταχεία ή ακαριαία ξήρανση, ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη, ξήρανση περιστρεφόμενου τυμπάνου κ.ά.)
- η **έμμεση** ξήρανση.

Ιδιαίτερα διαδεδομένες είναι και η μέθοδοι ξήρανσης Fleissner και Koppelman, οι οποίες εντάσσονται στις **διεργασίες ξήρανσης με ταυτόχρονη θερμική αναβάθμιση.**



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



ΑΜΕΣΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

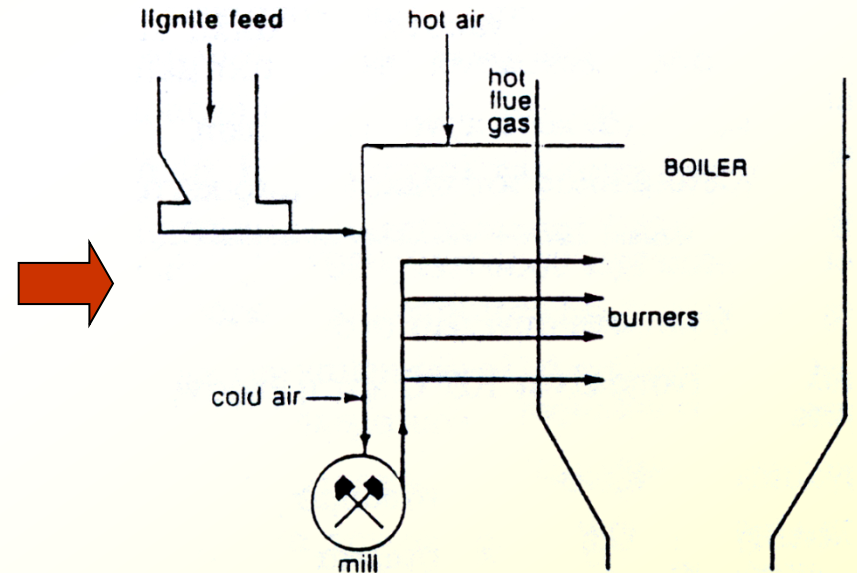
Οι θερμικοί ξηραντές άμεσης ξήρανσης χρησιμοποιούν την **μεταγωγή, σαν το κύριο μέσο μεταφοράς θερμότητας**. Τα θερμά αέρια, τα οποία γενικά αποτελούνται από προϊόντα καύσης, έρχονται σε άμεση επαφή με υγρό άνθρακα σε μία βάση συνεχούς ροής αερίου και τροφοδοσίας άνθρακα. Η εξάτμιση της υγρασίας από την επιφάνεια του άνθρακα πρέπει να γίνει προσεκτικά, έτσι ώστε ούτε ο άνθρακας να αναφλεγεί, ούτε να αποδεσμεύσει τα πτητικά του, ούτε και να οξειδωθεί.

Οι κυριότεροι **παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση των ξηραντών**, είναι η θερμοκρασία ξήρανσης, η θερμοκρασία εισόδου, ο όγκος του αέρα, το μέγεθος του ξηραντή και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Η θερμοκρασία στην ζώνη ξήρανσης πρέπει να είναι πάντα αρκετά υψηλή, αλλά όσο επιτρέπουν οι προδιαγραφές ασφαλείας. Χαμηλότερες θερμοκρασίες συνεπάγονται μικρότερη θερμική αποδοτικότητα, αυξημένες απώλειες αισθητής θερμότητας στο αέριο εκτόνωσης, υψηλότερες απαιτήσεις σε καύσιμα και ισχύ και αυξημένες ποσότητες μεταφοράς σκόνης.



Ταχεία ή ακαριαία ξήρανση

Θερμά καυσαέρια από το άνω μέρος του λέβητα ανακυκλώνονται και τροφοδοτούνται στον αγωγό μεταφοράς του λιγνίτη στον μύλο κονιοποίησης. Αν και ο χρόνος παραμονής των στερεών στη ζώνη ξήρανσης είναι πολύ μικρός ($\sim 1s$), μπορεί να χρησιμοποιηθεί αρκετά χονδρόκοκκη τροφοδοσία, καθώς ο λιγνίτης συγχρόνως υφίσταται άλεση. Για την αποφυγή αυτανάφλεξης ή έκρηξης απαιτείται η διατήρηση αδρανούς ατμόσφαιρας αερίων, με περιεκτικότητα οξυγόνου κάτω από 14%.



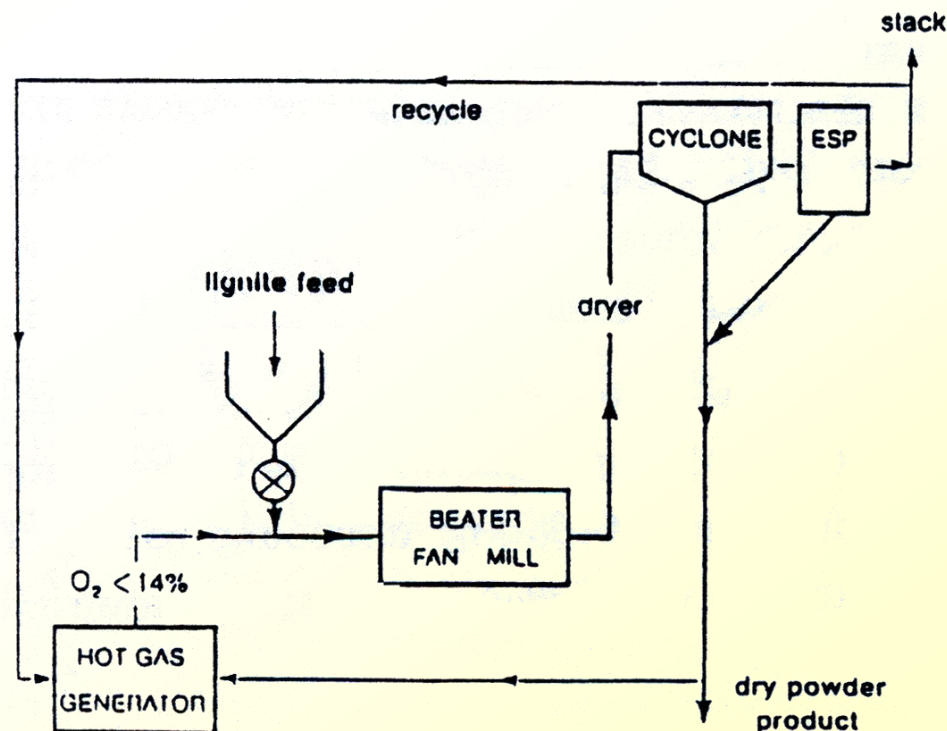
Εισαγωγή τροφοδοσίας λιγνίτη σε θερμά ανακυκλούμενα αέρια



Ταχεία ή ακαριαία ξήρανση

Πρόκειται για δοκιμασμένη τεχνολογία, που αναπτύχθηκε αρχικά στην Γερμανία στην δεκαετία του 1930, και εφαρμόζεται ευρέως σαν τμήμα των ολοκληρωμένων διεργασιών παραγωγής ενέργειας με λέβητες κονιοποιημένου λιγνίτη.

Η διεργασία ταχείας ξήρανσης μπορεί να εφαρμοστεί και αυτόνομα σε συνδυασμό με μύλους θραύσης για παραγωγή ξηρής σκόνης, αλλά με χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Για την κατακράτηση των λεπτών σωματιδίων τα αέρια υφίστανται καθαρισμό δύο σταδίων, σε διάταξη πολλαπλών κυκλώνων και ηλεκτρόφιλτρο. Μέρος του παραγόμενου ξηρού προϊόντος μπορεί να ανακυκλωθεί στην μονάδα παραγωγής θερμών αερίων. Το φέρον αέριο διαιρείται σε δύο ρεύματα, από τα οποία το ένα αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα και το άλλο ανακυκλώνεται.



Διάταξη ταχείας ξήρανσης



Ταχεία ή ακαριαία ξήρανση

Η διεργασία ταχείας ξήρανσης είναι σχετικά απλή και η μόνη διεργασία καθαρισμού που απαιτείται είναι η απομάκρυνση της σκόνης από τα αέρια της καπνοδόχου. Οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι τυπικές των διεργασιών εξάτμισης νερού, δηλ. περίπου 3.4 MJ/kg απομακρυνόμενου νερού. Η συνολική απόδοση του συστήματος μειώνεται στο 70-80% αν μέρος της τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή της απαιτούμενης θερμότητας.

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλους τους άνθρακες χαμηλής τάξης, με περιεκτικότητα σε υγρασία μεταξύ 35% και 70%. Λιγνίτες με υψηλή υγρασία συνήθως τροφοδοτούνται στη ροή των θερμών ανακυκλούμενων καυσαερίων, Σχήμα 5.3. Λιγνίτες με περιεχόμενη υγρασία 35-40%, όπως αυτοί της Ντακότα ΗΠΑ, απλά εισάγονται σε ρεύμα προθερμανθέντος αέρα. Η θερμική αποδοτικότητα της μονάδας Lurgi-Krupp έχει αναφερθεί να είναι της τάξεως του 85%.

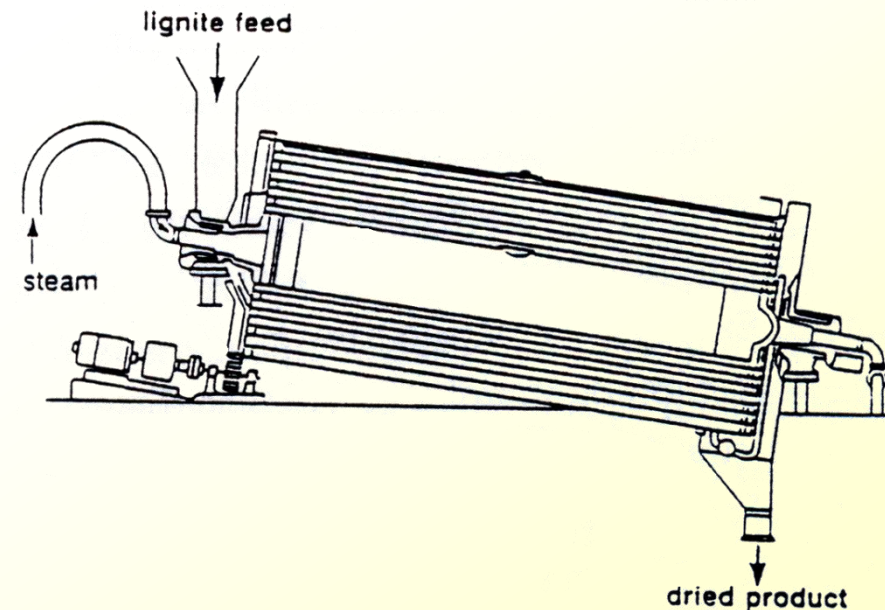


Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Ξήρανση με ατμό σε εναλλάκτη αυλών

Στην τεχνολογία αυτή η ξήρανση επιτυγχάνεται με έμμεση εξάτμιση του νερού σε περιστρεφόμενο εναλλάκτη κελύφους-αυλών. Η απαιτούμενη θερμότητα λαμβάνεται από ατμό χαμηλής πίεσης.

Η τροφοδοσία του στερεού καυσίμου θραύεται σε μέγεθος μικρότερο από 6 mm και εισάγεται στη πλευρά των αυλών του εναλλάκτη, ενώ ατμός χαμηλής πίεσης συμπυκνώνεται από την πλευρά του κελύφους. Το μέγεθος του παραγόμενου ξηρού προϊόντος είναι κατάλληλο για περαιτέρω άλεση, μπρικεττοποίηση ή απευθείας τροφοδοσία λέβητα ρευστοστερεάς κλίνης. Μέριμνα πάντως, πρέπει να ληφθεί για την αποφυγή ανάφλεξης ή έκρηξης του ξηρού προϊόντος. Τα αέρια από τον ξηραντήρα καθαρίζονται σε ηλεκτρόφιτρα και αποβάλλονται.



Ξηραντήρας κελύφους-αυλών
για ξήρανση λιγνίτη με ατμό



Ξήρανση με ατμό σε εναλλάκτη αυλών

Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα ελκυστική στην περίπτωση που μπορεί να αξιοποιηθεί φθηνός ατμός χαμηλής πίεσης, που διαφορετικά θα έμενε αχρησιμοποίητος, από σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η απαιτούμενη ενέργεια για την ξήρανση είναι περίπου 2,9 έως 3,6 MJ/kg απομακρυνόμενου νερού, και απαιτείται σημαντικού μεγέθους εγκατάσταση για την μείωση της υγρασίας σε ποσοστό -15%.

Η περιεκτικότητα του προϊόντος σε υγρασία μπορεί να ρυθμιστεί, αν είναι απαραίτητο, μεταβάλλοντας είτε το μέγεθος σωματιδίων της τροφοδοσίας είτε τον χρόνο παραμονής στον ξηραντήρα. Η μέθοδος εφαρμόζεται στην Γερμανία για την προετοιμασία φαιού άνθρακα, ο οποίος στη συνέχεια κονιοποιείται. Η κύρια μάζα της παραγόμενης ξηρής σκόνης περιορίζεται στο 12-15%, ενώ τα λεπτόκοκκα σωματίδια που συλλέγονται στα ηλεκτρόφιλτρα περιέχουν μόνο 8% υγρασία.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Ξήρανση με ατμό σε εναλλάκτη αυλών

Η απόδοση της μεθόδου σε προϊόν είναι θεωρητικά 100% όταν χρησιμοποιείται ατμός χαμηλής πίεσης από γειτονικό σταθμό παραγωγής ενέργειας. Σημαντικοί χρήστες της μεθόδου αναφέρουν απόδοση σε προϊόν μεγαλύτερη του 95% συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων που συλλέγονται στα ηλεκτρόφιλτρα.

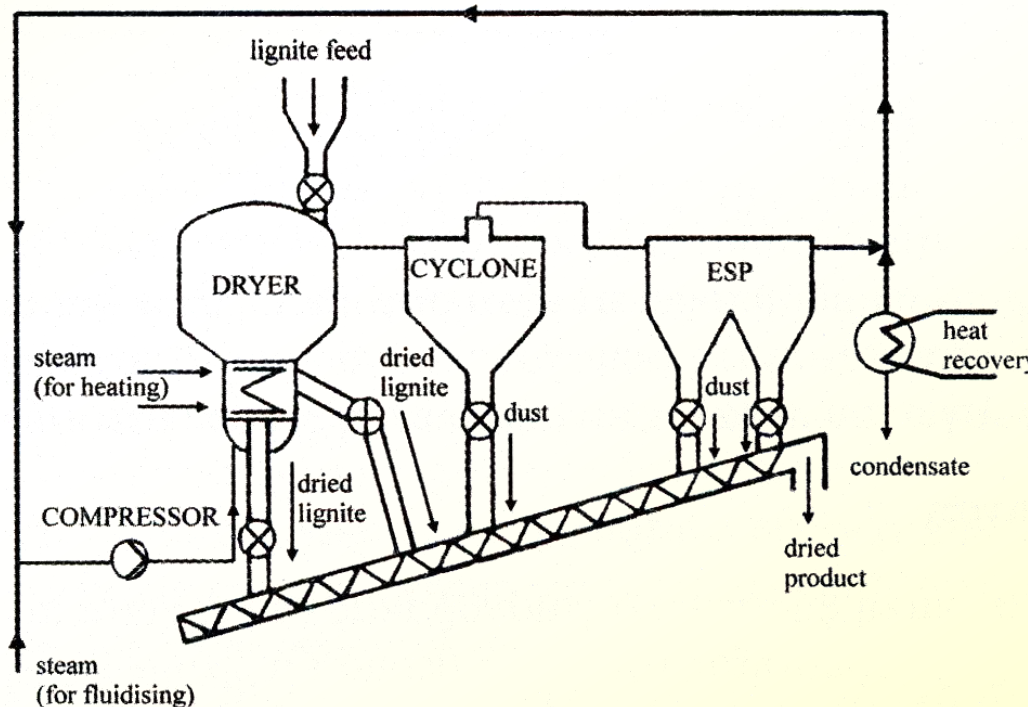
Πρόκειται για ώριμη δοκιμασμένη τεχνολογία που εφαρμόζεται ευρέως σε εγκαταστάσεις μπρικεττοποίησης στην Αυστραλία, Γερμανία και Ινδία. Η μέθοδος εφαρμόζεται σχεδόν για ένα αιώνα, και στις μονάδες μπρικεττοποίησης από την δεκαετία του 1920.



Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη

Στους ξηραντήρες ρευστοστερεάς κλίνης τα σωματίδια ρευστοποιούνται από ένα ρεύμα θερμού αέρα ή αερίου το οποίο περνά δια μέσου της κλίνης, η ταχύτητα του οποίου είναι αρκετή για να υποστηρίξει το βάρος των μεμονωμένων συστατικών της κλίνης. Το τυρβώδες περιβάλλον της κλίνης έχει σαν αποτέλεσμα πολύ υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας και μάζας, οι οποίοι γενικά βελτιώνουν την δυναμικότητα ξήρανσης της μονάδας.

Ο χρόνος παραμονής μπορεί να μεταβληθεί, ώστε να ελέγχεται η περιεκτικότητα σε υγρασία του προϊόντος της ξήρανσης. Τα χονδροκομμένα υλικά που έχουν ξηρανθεί, κατά κανόνα, απομακρύνονται μηχανικά με ένα μεταφορέα-δοσομετρητή. Τα λεπτόκοκκα, που βρίσκονται στο αέριο ρεύμα, συγκεντρώνονται σε συλλέκτες σκόνης και συνήθως επανασυνδέονται με τα χονδρόκοκκα υλικά, παράγοντας ένα προϊόν με ελάχιστη απώλεια σκόνης.





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ξηραντήρων ρευστοστερεάς κλίνης είναι η μεγάλη τους δυναμικότητα, ο μεγάλος βαθμός ελέγχου της περιεκτικότητας σε υγρασία του προϊόντος, ο χαμηλός βαθμός αποσύνθεσης του άνθρακα και η υψηλή θερμική αποδοτικότητα. Οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι μειωμένες, αν στην διεργασία χρησιμοποιηθεί ατμός από μία θερμοηλεκτρική μονάδα.

Μία μελέτη σκοπιμότητας και μία οικονομική αξιολόγηση διαφόρων εναλλακτικών διατάξεων, σε θερμοηλεκτρικές μονάδες, έχει δείξει ότι ένας λέβητας, συνδυαζόμενος με ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη με χρήση ατμού, θα είχε μία μικτή επίδοση υψηλότερη κατά 20% και παραγωγή ηλεκτρισμού κατά 15% οικονομικότερη από ότι ένας συμβατικός λέβητας άνθρακα. Επιπρόσθετα, αν το μέσο ξήρανσης είναι ατμός, τα προβλήματα οξείδωσης των ανθράκων χαμηλής τάξης υπερνικούνται. Αυτή η μέθοδος δεν έχει ακόμη τύχει εμπορικής εφαρμογής σε λιγνίτες, λόγω της σχετικής περιπλοκότητάς της.



Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη

Δοκιμές πιλοτικής κλίμακας έχουν γίνει σε μία σειρά εγκαταστάσεων στην Γερμανία, ΗΠΑ, Δανία, Πολωνία. Στις ΗΠΑ έχει εξεταστεί η ξήρανση βιτουμινικών ανθράκων με υγρασία έως 30%. Στην Δανία και Πολωνία έχουν γίνει δοκιμές μικρής κλίμακας, με αέρα ως μέσο ρευστοαιώρησης.

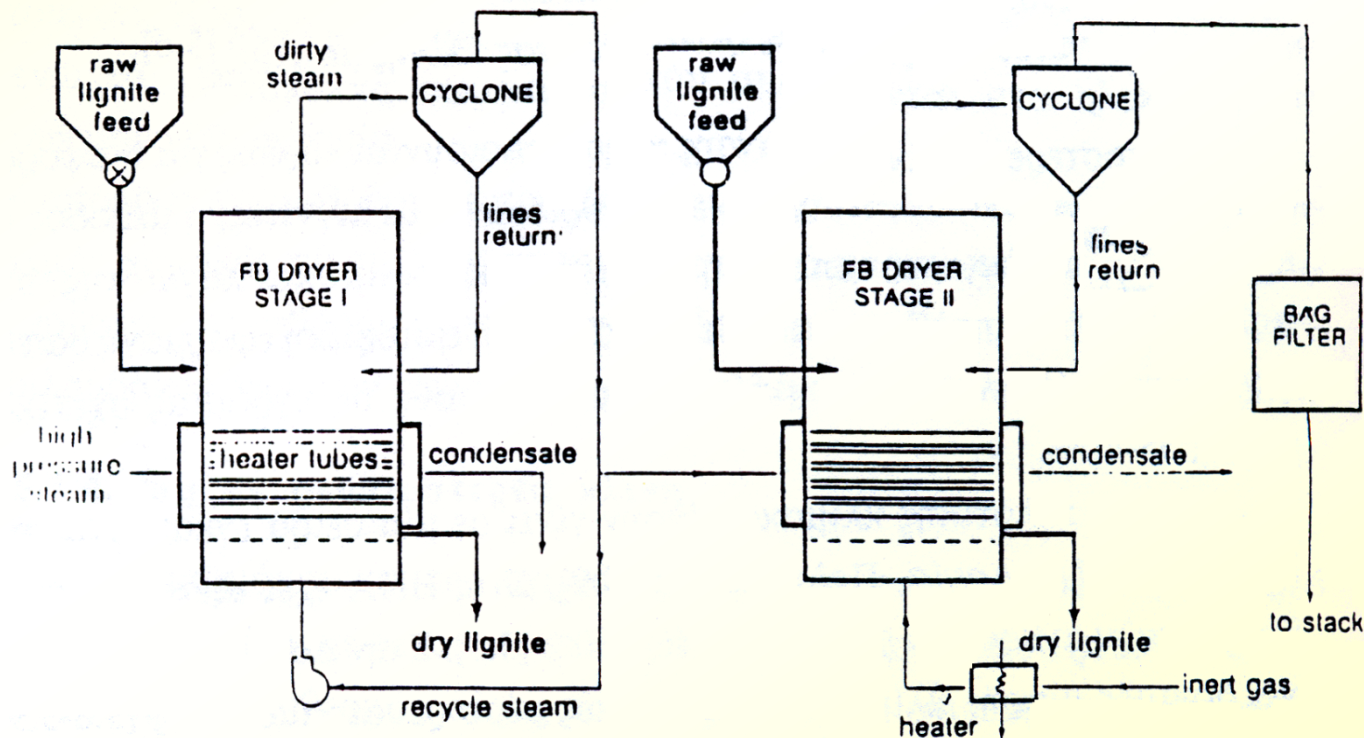
Στην Γερμανία έχει κατασκευαστεί πιλοτική εγκατάσταση δυναμικότητας 10 t/h και η ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας προσεγγίζει το εμπορικό επίπεδο. Η πιλοτική μονάδα της Boma, Γερμανίας, λειτούργησε το 1986, χρησιμοποιώντας ατμό για την ρευστοαιώρηση και ανασυμπίεση του ατμού για ανάκτηση θερμότητας. Η απαιτούμενη θερμότητα (MJ/kg απομακρυνόμενου νερού) είναι ανάλογη της χρησιμοποιούμενης σε ξηραντήρα κελύφους-αυλών με ατμό, αλλά η εγκατάσταση είναι μικρότερου μεγέθους και έχει χαμηλότερο πάγιο κόστος επένδυσης.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη

Ξήρανση σε ρευστοστερεές κλίνες δύο ή τριών βαθμίδων έχει μελετηθεί στην Αυστραλία, λόγω των πιθανών πλεονεκτημάτων της για εξοικονόμηση ενέργειας. Ιδιαίτερα στο Πανεπιστήμιο Monash, στην Μελβούρνη της Αυστραλίας, έχει γίνει θεωρητικός σχεδιασμός και περιορισμένος αριθμός εργαστηριακών δοκιμών.



Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη δύο σταδίων



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη

Το στερεό υλικό κονιοποιείται σε μέγεθος κόκκων κάτω από 1 mm και τροφοδοτείται στον πρώτο ξηραντήρα ρευστοστερεάς κλίνης. Στο στάδιο αυτό γίνεται έμμεση θέρμανση από ατμό υψηλής πίεσης και ταυτόχρονα παράγεται ατμός, από την απομακρυνόμενη υγρασία, που χρησιμοποιείται για την θέρμανση στο δεύτερο στάδιο. Στο πρώτο στάδιο η ρευστοαιώρηση γίνεται με ανακύκλωση ατμού, ενώ στο δεύτερο στάδιο γίνεται με θερμό αδρανές αέριο. Οι ενεργειακές απαιτήσεις υπολογίζονται σε 2.5 MJ/kg εξατμιζόμενου νερού. Για αυτόνομη λειτουργία, με ανακύκλωση μέρους του ξηρού προϊόντος για παραγωγή ατμού, η συνολική απόδοση εκτιμάται στο 85%.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Ξήρανση σε ρευστοστερεά κλίνη

Ξηραντήρες ρευστοστερεάς κλίνης χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα για την ξήρανση βιτουμινικών ανθράκων με υψηλές ταχύτητες αερίων και χρόνο παραμονής μικρότερο από ένα λεπτό. Η ξήρανση όμως ανθράκων χαμηλής τάξης απαιτεί όγκο αερίων αρκετές φορές μεγαλύτερο της ελάχιστης ταχύτητας ρευστοποίησης, καθώς η απομάκρυνση της υγρασίας από τους λιγνίτες είναι σχετικά αργή διαδικασία. Η απομάκρυνση του νερού εξαρτάται από τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό των σωματιδίων και τον ρυθμό μεταφοράς μάζας στο εξωτερικό τους.

Επιπλέον περιορισμοί τίθενται από τις απαιτήσεις για ρευστοαιώρηση της κλίνης και από την μέγιστη θερμοκρασία για το μέσο ρευστοαιώρησης και για το υλικό της κλίνης. Οι παράγοντες αυτοί καθιστούν δύσκολη την μεταφορά της τεχνολογίας από πιλοτική σε εμπορική κλίμακα, ιδιαίτερα στις διεργασίες πολλών σταδίων. Έτσι, οι λιγότερο πολύπλοκες διεργασίες ξήρανσης ενός σταδίου, όπως αυτές που έχουν χρησιμοποιηθεί στην Γερμανία, εμφανίζονται να πλεονεκτούν για εμπορική βιομηχανική εφαρμογή.



Ξήρανση σε περιστρεφόμενο τύμπανο

Ο ξηραντήρας τύπου τυμπάνου είναι ουσιαστικά ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, με κλίση περίπου 3 mm ανά μέτρο κατά το μήκος του, όπου τα υγρά σωματίδια άνθρακα εισάγονται στην μία άκρη και ο ξηραμένος άνθρακας εξάγεται από την άλλη. Η ροή των αερίων μπορεί να είναι στην ίδια ή στην αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με την κατεύθυνση της ροής του άνθρακα.

Οι εγκαταστάσεις ξήρανσης σε περιστρεφόμενο τύμπανο απαιτούν εκτεταμένες προφυλάξεις για την αποφυγή έκρηξης, πράγμα που συνεπάγεται υψηλό κόστος. Ο κίνδυνος είναι σημαντικά μεγαλύτερος, συγκριτικά με την μέθοδο ταχείας ξήρανσης, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας κατακρατούμενου υλικού στον ξηραντήρα και της δημιουργούμενης λεπτόκοκκης σκόνης. Η μέθοδος χρησιμοποιούταν μέχρι πρόσφατα στην Βουλγαρία για την ξήρανση λιγνίτη πριν την καύση του αλλά έχει εγκαταληφθεί λόγω του υψηλού λειτουργικού κόστους και προβλημάτων καθαρισμού των απαερίων.



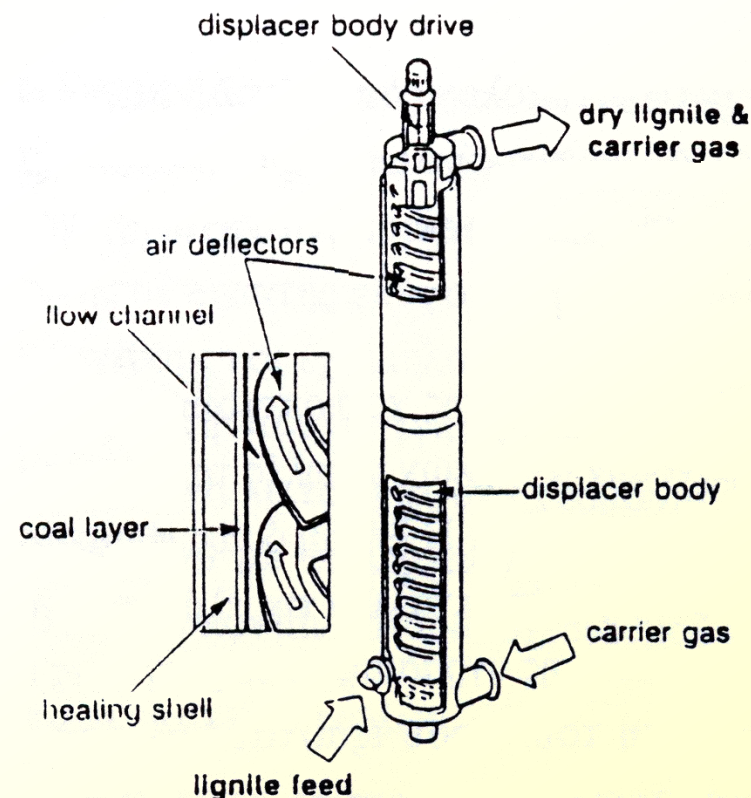
Ξήρανση περιστρεφόμενου άξονα

Για την βελτίωση του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας έχει εφαρμοστεί η χρήση ενός αυλωτού ξηραντήρα με περιστρεφόμενο άξονα (swirl tube dryer), που συνδυάζει μεταφορά θερμότητας τόσο με συναγωγή όσο και με επαφή με θερμαινόμενη επιφάνεια. Πρόκειται για μια αρκετά πολύπλοκη μηχανολογικά μονάδα, που έχει όμως δοκιμαστεί σε εγκατάσταση εξαερίωσης.



Ξήρανση περιστρεφόμενου άξονα

Η τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση προϊόντος από ξηραντήρα κελύφους-αυλών με ατμό, με περιεχόμενη αρχική υγρασία 10-20%, σε τελική υγρασία 2-5%. Ο λιγνίτης και το φέρον αέριο τροφοδοτούνται από τον πυθμένα της μονάδας. Ο λεπτόκοκκος λιγνίτης παρασύρεται και έρχεται σε επαφή με τα θερμαινόμενα τοιχώματα, όπου και ανυψώνεται σχηματίζοντας λεπτή στοιβάδα. Θερμότητα μεταφέρεται κατά κύριο λόγο από την επαφή με τα τοιχώματα, και σε μικρότερο βαθμό από το φέρον αέριο. Ο εσωτερικός άξονας που είναι εφοδιασμένος με πτερύγια περιστρέφεται διαρκώς, προκαλώντας συνεχή κίνηση σε σπειροειδή κανάλια και εμποδίζοντας τις αποθέσεις. Λόγω της κίνησης του άξονα και των υλικών εντός του αυλού, υπάρχουν σημαντικά μηχανολογικά προβλήματα κίνησης και φραγής.



Ξηραντήρας περιστρεφόμενου άξονα



ΕΜΜΕΣΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

Στην έμμεση θερμική ξήρανση, **ο άνθρακας δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με το μέσον μεταφοράς θερμότητας** (συνήθως θερμό έλαιο, ατμός, θερμό ύδωρ). Οι έμμεσοι εναλλάκτες θερμότητας είναι συνήθως περιβεβλημένες μεταφορικές ταινίες, εξοπλισμένες με ελικοειδείς κοχλίες, πτερύγια, ή δίσκους. Το θερμικό ρευστό κυκλοφορεί μέσω τόσο του μανδύα, όσο και των κοχλίων.

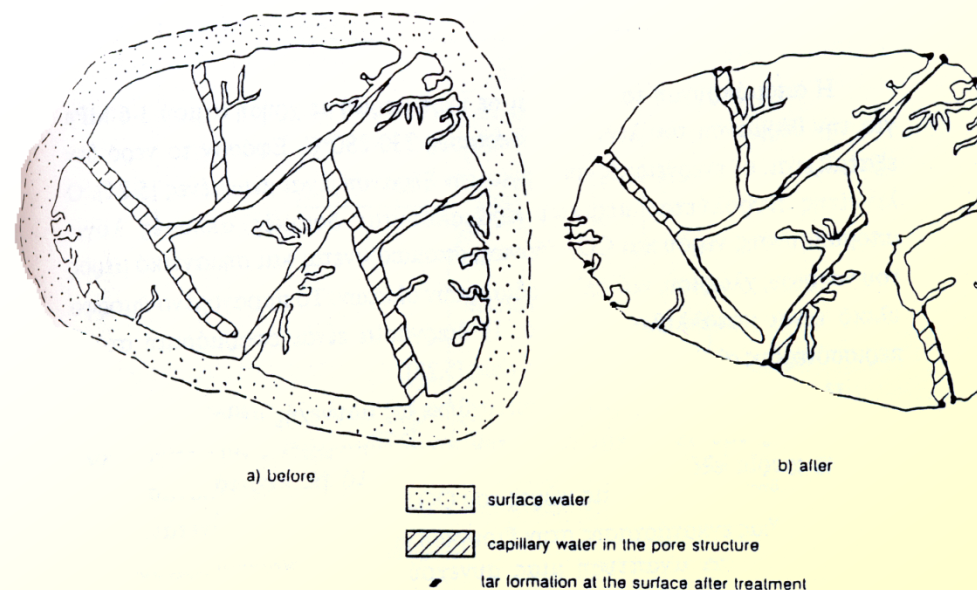
Τα κύρια πλεονεκτήματα της έμμεσης εναλλαγής θερμότητας είναι ο ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας, η αποτελεσματική ξήρανση των λεπτών σωματιδίων με ελάχιστη υποβάθμισή τους, η αποφυγή κινδύνων έκρηξης και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Τα κύρια μειονεκτήματα είναι η απαίτηση ενός συστήματος διαχείρισης του δευτερογενούς μέσου μεταφοράς ενέργειας και το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος.



ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ

Στις διεργασίες αυτές γίνεται θέρμανση σε σχετικά υψηλές πιέσεις ($\sim 3\text{MPa}$), με κορεσμένο ατμό ή νερό (θερμοκρασίας $230\text{-}350^\circ\text{C}$). Η κατεργασία αυτή προξενεί συρρίκνωση μεγέθους, μειώνει το επίπεδο της περιεκτικότητας σε ύδωρ στο 10% περίπου και σταθεροποιεί τα μεγάλα τεμάχια, βελτιώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις ιδιότητες διαχείρισής τους και την αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες.

Κατά την ξήρανση εκλύονται αέρια, λόγω της θερμικής καταστροφής των ομάδων καρβοξυλικών οξέων, οι οποίες παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Ένα μέρος του ύδατος αφαιρείται χωρίς εξάτμιση, σαν υγρό και ένα μέρος εξατμίζεται ακαριαία, όταν το δοχείο το οποίο περιέχει τον άνθρακα αποσυμπιέζεται.



Μεταβολή της δομής του λιγνίτη κατά την ξήρανση υπό πίεση σε θερμοκρασίες πάνω από 230°C



ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ

Οι μεταβλητές, οι οποίες επηρεάζουν την διεργασία της θερμικής ξήρανσης με ατμό, είναι η θερμοκρασία του ατμού, το μέγεθος των σωματιδίων, ο τύπος του χρησιμοποιούμενου άνθρακα και ο χρόνος αποστράγγισης. Η πίεση δεν επηρεάζει την απομάκρυνση του ύδατος, η οποία όμως είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τουλάχιστον μέχρι το σημείο τερματισμού της θερμικής διάσπασης των καρβοξυλικών οξέων. Αν εφαρμόζονται πρακτικές ανάκτησης της ενέργειας, η διεργασία είναι πιο αποδοτική από την ξήρανση με εξάτμιση και αποφεύγει τον κίνδυνο εκρήξεων.

Επιπρόσθετα, πέρα από τα θετικά αποτελέσματα στον όγκο και τις επιφανειακές ιδιότητες των λιγνιτών, έχει παρατηρηθεί και η απομάκρυνση της μισής περίπου ποσότητας νατρίου και χλωρίου στους 200°C και σχεδόν του συνόλου τους στους 300°C.



Διεργασία Fleissner

Η απομάκρυνση του νερού γίνεται σε υγρή μορφή με χρήση ατμού 3-6 MPa για την θέρμανση του λιγνίτη σε θερμοκρασίες 230-280°C. Εφόσον το νερό δεν εξατμίζεται, οι ενεργειακές απαιτήσεις για την ξήρανση είναι μειωμένες. Ο λιγνίτης πυρολύεται μερικώς και προκαλούνται δομικές αλλαγές λόγω απομάκρυνσης νερού και CO₂. Συγχρόνως, απομακρύνεται και σημαντικό μέρος του νατρίου, χλωρίου, και άλλων υδατοδιαλυτών αλάτων. Το παραγόμενο άμορφο υλικό είναι κατάλληλο για μεταφορά. Η διεργασία είναι εφαρμόσιμη στους περισσότερους αλλά όχι σε όλους τους λιγνίτες.

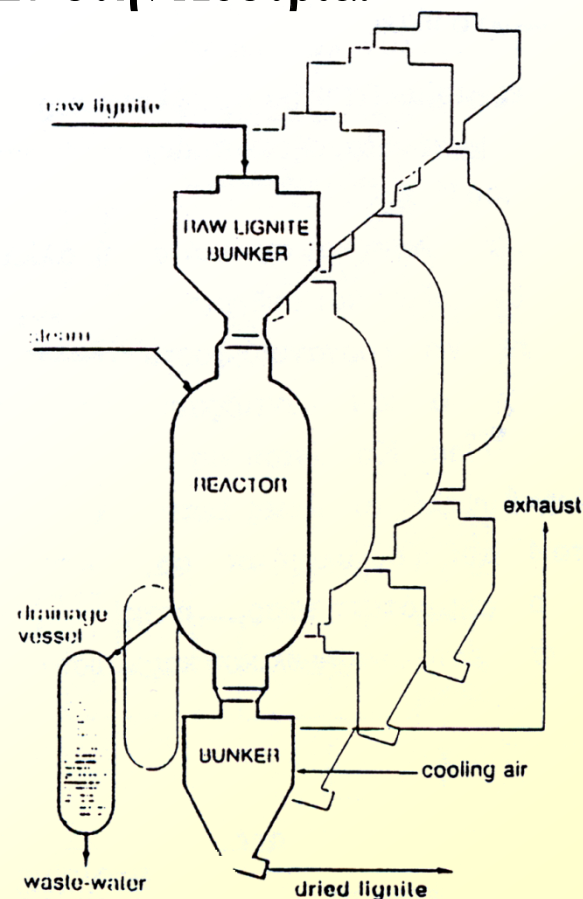
Η διεργασία Fleissner αρχικά αναπτύχθηκε ως ασυνεχής μέθοδος στα τέλη της δεκαετίας του 1920, και αποτελεί την μόνη εμπορικά ώριμη τεχνολογία ξήρανσης χωρίς εξάτμιση. Έχει όμως υψηλό κόστος εγκατάστασης και σημαντικές απώλειες πρώτης ύλης. Ως εκ τούτου δεν αναμένεται σήμερα η εφαρμογή της στις χώρες του ΟΟΣΑ, παρότι πρόσφατα άρχισε η λειτουργία μιας νέας εγκατάστασης στην Γιουγκοσλαβία.



Ασυνεχής Διεργασία Fleissner

Η αρχική διεργασία Fleissner αναπτύχθηκε στην Αυστρία από την Voest-Alpine AG, και εφαρμόστηκε σε εμπορική κλίμακα στην Αυστρία, Γιουγκοσλαβία, Τουρκία και Ουγγαρία. Η πρώτη εγκατάσταση κατασκευάστηκε το 1927 στην Αυστρία.

Ο θραυσμένος και κοσκινισμένος λιγνίτης τροφοδοτείται στον αντιδραστήρα και θερμαίνεται με ατμό υψηλής πίεσης σε ασυνεχή κύκλο 2-3 ωρών. Στο τέλος του κύκλου εκτονώνεται η πίεση και το υλικό ψύχεται με αέρα που ταυτόχρονα απομακρύνει και επιπλέον υγρασία. Λειτουργία 4 αντιδραστήρων σε σειρά, με αξιοποίηση του εκτονωμένου ατμού για προθέρμανση του στερεού υλικού του επόμενου αντιδραστήρα, βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση της διάταξης. Ο όγκος των αντιδραστήρων μπορεί να φθάσει τα 50 m³ και η τυπική χρονική διάρκεια του κύκλου είναι 160 min.





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Ασυνεχής Διεργασία Fleissner

Ο κύκλος της διεργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Φόρτωση
- Προθέρμανση
- Κατεργασία με ατμό υπό πίεση
- Αποσυμπίεση
- Εκκένωση και διαχωρισμό του νερού



Ασυνεχής Διεργασία Fleissner

Η μέθοδος είναι αυτόνομη και σχετικά απλή, αλλά η ασυνεχής λειτουργία εισάγει λειτουργικές δυσκολίες και αυξημένο πάγιο κόστος.

Επιπλέον τα υγρά απόβλητα περιέχουν σημαντικό οργανικό φορτίο και το κόστος κατεργασίας τους είναι υψηλό. Η λειτουργία όμως του αντιδραστήρα απαιτεί σχετικά χονδρόκοκκο υλικό τροφοδοσίας, +10 mm. Κοσκίνιση για την επίτευξη αυτού του κλάσματος σωματιδίων οδηγεί σε υψηλές απώλειες λεπτόκοκκου υλικού που μπορούν να φθάσουν και στο 40%. Έτσι, η συνολική απόδοση της εγκατάστασης μειώνεται στο 55% περίπου. Γι' αυτό προτιμάται η εφαρμογή της διεργασίας παράλληλα με άλλη μέθοδο για ξήρανση του λεπτόκοκκου υλικού και καύση σε μονάδα κονιοποιημένου καυσίμου.



Συνεχής Διεργασία Fleissner

Η μέθοδος αναπτύσσεται από τον Voest-Alpine σε μονάδα πιλοτικής κλίμακας από το 1983. Αντικείμενο της έρευνας είναι η μείωση του λειτουργικού κόστους και η χρησιμοποίηση περισσότερο λεπτόκοκκης τροφοδοσίας, Ανάλογα με το είδος της τροφοδοσίας παράγεται προϊόν σε κομμάτια, που μπορεί εύκολα να κονιοποιηθεί.

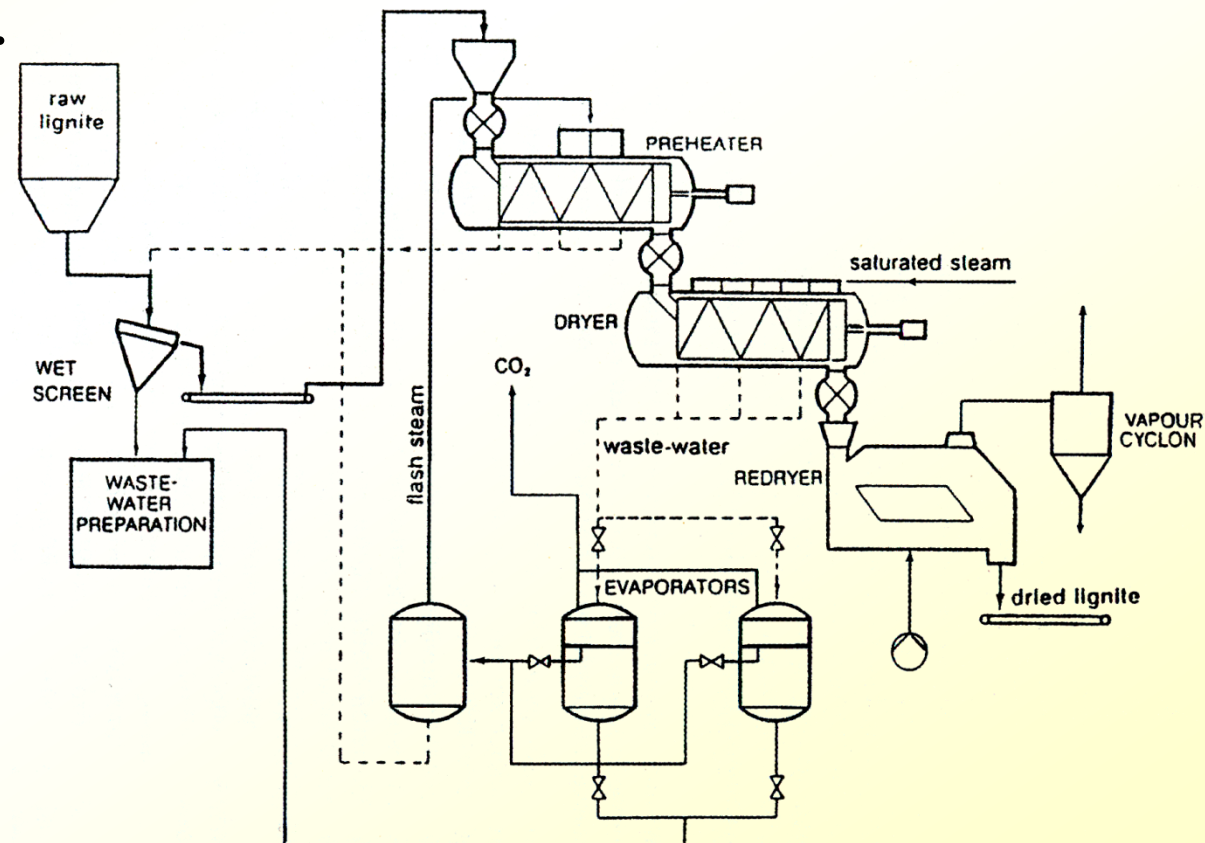
Καθώς η συνεχής διεργασία δέχεται σωματίδια μικρότερου μεγέθους από την ασυνεχή (3 mm συγκριτικά με 10 mm), η συνολική απόδοση της συνεχούς διεργασίας φθάνει το 65%. Η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος κυμαίνεται από 1,3 ως 1,7 MJ/kg νερού που απομακρύνεται. Αν όμως η επιθυμητή υγρασία του προϊόντος πρέπει να είναι κάτω από 20%, η ενεργειακή κατανάλωση είναι υψηλότερη. Επιπλέον απαιτείται κατεργασία του απαβαλλόμενου νερού για την απομάκρυνση των οργανικών.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Η εγκατάσταση ξήρανσης αποτελείται από δύο οριζόντια δοχεία που περιέχουν περιστρεφόμενα κόσκινα και μεταφορικούς κοχλίες. Η τροφοδοσία του άνθρακα γίνεται μέσω δονούμενου τροφοδότη και κόσκινου. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια απομακρύνονται και ο άνθρακας θερμαίνεται στους 70°C . Στον προθερμαντή περιστρεφόμενου κόσκινου η θερμοκρασία ανεβαίνει στους 120°C .

Εκτονωμένος ατμός από το στάδιο της αφύγρανσης προσδίδει την απαιτούμενη θερμότητα στον προθερμαντή. Στον ξηραντήρα ο άνθρακας θερμαίνεται απευθείας με ατμό και μεταφέρεται κατά μήκος του δοχείου με κοχλία μεταφοράς. Η απομάκρυνση του αποβαλλόμενου νερού γίνεται με σωληνώσεις προς δοχεία απομάστευσης.



Διάγραμμα ροής συνεχούς διεργασίας Fleissner



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Το αφυγρανθέν υλικό μπορεί να απαιτεί περαιτέρω ξήρανση που μπορεί να γίνει με αέρα, αξιοποιώντας την αισθητή θερμότητα του στερεού, ή με καυσαέρια. Η διεργασία γίνεται στον δεύτερο ξηραντήρα, και το προϊόν παράγεται με διάμετρο κόκκων μέχρι 40 mm.



Διεργασία Evans-Siemon

Είναι παρόμοια με την μέθοδο Fleissner και η απομάκρυνση του νερού γίνεται σε υγρή μορφή, υπό υψηλή πίεση (4-9 MPa) και θερμοκρασία 250-300°C. Η μέθοδος βασίζεται στην χρησιμοποίηση του νερού σαν μέσου εναλλαγής θερμότητας, αντί του ατμού, γεγονός που επιτρέπει ημισυνεχή λειτουργία και ταυτόχρονα αποφεύγονται οι ενεργειακές απώλειες στους κύκλους συμπίεσης αποσυμπίεσης της ασυνεχούς διεργασίας Fleissner. Όπως και η μέθοδος Fleissner, η διεργασία Evans-Siemon **έχει το μειονέκτημα ότι χρησιμοποιεί μόνο χονδρόκοκκο υλικό (+ 6mm), και πρέπει να βρεθεί τρόπος αξιοποίησης των λεπτόκοκκων σωματιδίων.**

Η ενεργειακή κατανάλωση της διεργασίας είναι μικρή, κυμαινόμενη από 0,6 ως 1,2 MJ/kg απομακρυνόμενου νερού. Η συνολική απόδοση της μεθόδου είναι χαμηλή, περίπου 50%, λόγω απωλειών λιγνίτη στο αποβαλλόμενο νερό και στα λεπτόκοκκα σωματίδια. Επιπλέον απαιτείται κατεργασία του νερού που αποβάλλεται για απομάκρυνση των οργανικών.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Υδροθερμική διεργασία ξήρανσης

Η υδροθερμική διεργασία ξήρανσης έχει αναπτυχθεί από την διεργασία ξήρανσης με ατμό Fleissner και την διεργασία θερμικής αφυδάτωσης Evans-Siemon. Αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ενεργειακής Τεχνολογίας Grand Forks, με στόχο την παραγωγή ενός πολτού άνθρακα-ύδατος από λιγνίτη, κατάλληλου για μεταφορά με σωληνώσεις σε θερμοηλεκτρικό σταθμό.

Μία πιλοτική μονάδα δυναμικότητας 1t/h τροφοδοσίας πολτού έχει κατασκευασθεί στο Mulgrave. Η μονάδα χρησιμοποιεί ένα σύστημα ανακύκλωσης θερμού ελαίου για την θέρμανση του πολτού, καθώς και την ανάκτηση ενέργειας κατά την ψύξη του. Η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του συστήματος είναι 325°C και 15 MPa αντίστοιχα, και ο μέγιστος χρόνος παραμονής είναι 20 λεπτά.



Υδροθερμική διεργασία ξήρανσης

Η διεργασία, επειδή κατεργάζεται τον άνθρακα σε μορφή πολτού, **δεν υφίσταται ανάγκη ξεχωριστής κατεργασίας της ροής των λεπτών σωματιδίων του άνθρακα**. Το μικρό μέγεθος των σωματιδίων του άνθρακα ελαχιστοποιεί τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής, για την εκτέλεση των αντιδράσεων αφυδάτωσης.

Η διεργασία δεν είναι μόνο ενεργειακά αποδοτική, μειώνοντας την περιεκτικότητα σε υγρασία των ανθράκων χαμηλής τάξης, χωρίς εξάτμιση του ύδατος, αλλά επιτρέπει επίσης την εκχύλιση του μεγαλύτερου μέρους των διαλυτών ανόργανων συστατικών του άνθρακα, μειώνοντας έτσι τις επικαθίσεις τέφρας, όταν το καύσιμο καίγεται.

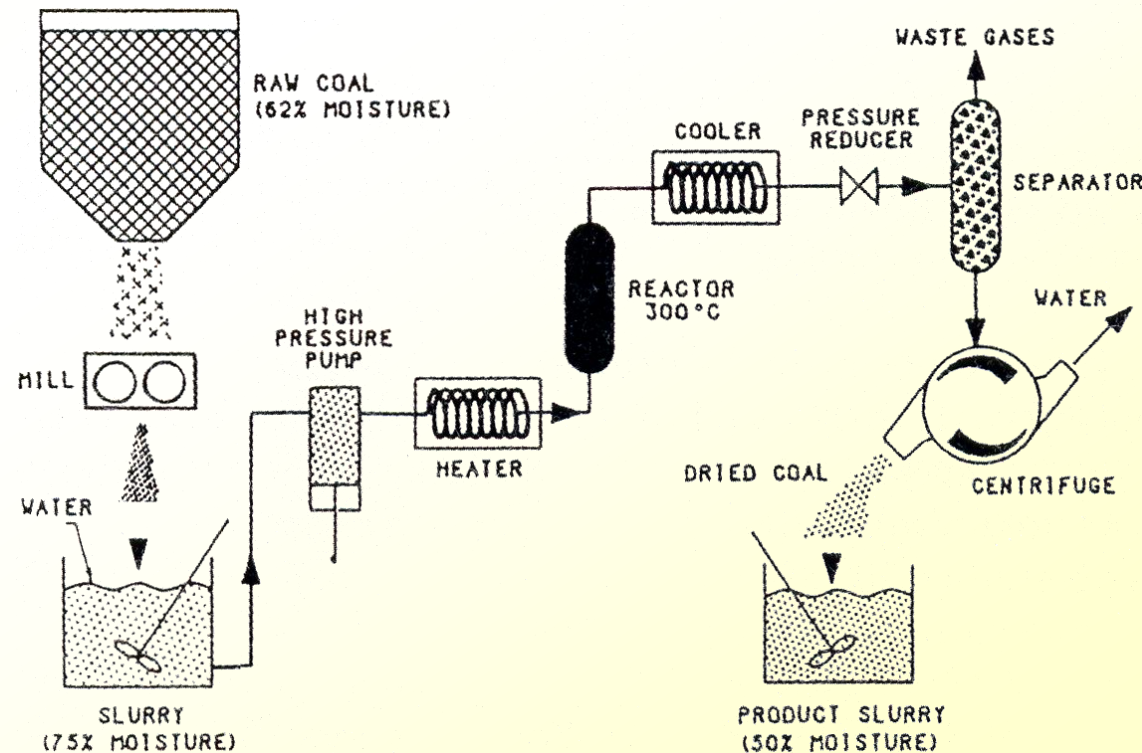
Η ενεργειακή κατανάλωση της μεθόδου υπολογίζεται στα 1.4 MJ/kg απομακρυνόμενου νερού και απόδοση σε προϊόν ανέρχεται στο 80%.



Υδροθερμική διεργασία ξήρανσης

Ως τροφοδοσία χρησιμοποιείται κονιοποιημένος άνθρακας, τυπικού μεγέθους $< 90 \mu\text{m}$ (για το 75%), που πολτοποιείται με ανακυκλωμένο νερό σε αναλογία 50:50 κ.β. Ο πολτός τροφοδοτείται σε προθερμαντές όπου προθερμαίνεται στην θερμοκρασία αντίδρασης. Κατόπιν διέρχεται από κατακόρυφο αντιδραστήρα με χρόνο παραμονής μερικά λεπτά.

Το μίγμα τριών φάσεων από τον πυθμένα του αντιδραστήρα αποσυμπιέζεται σε ατμοσφ. πίεση, εκτονώνοντας τα αέρια και τον ατμό που συμπυκνώνεται και ανακυκλώνεται. Ο παραγόμενος πολτός συμπυκνώνεται περίπου στα 50% του νερού και αποθηκεύεται, ενώ τα αέρια υφίστανται καθαρισμό πριν αποβληθούν στο περιβάλλον.



Υδροθερμική διεργασία ξήρανσης



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Διεργασία υγρής ανθρακοποίησης του IGT (Institute of Gas Technology, Chicago)

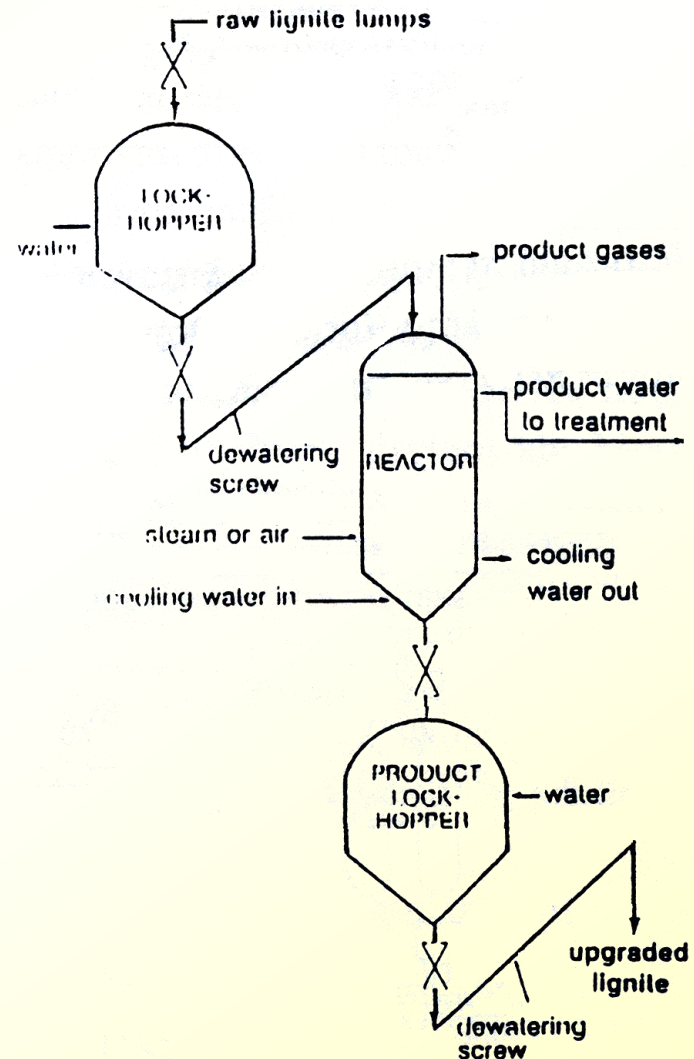
Η διεργασία βασίζεται σε αντιδραστήρα στερεού - υγρού κινούμενης κλίνης. Κατά την κατεργασία γίνεται μικρή μείωση του μεγέθους του υλικού και το τελικό προϊόν είναι περισσότερο εύθρυπτο από το αρχικό. Έχει όμως αυξημένο θερμικό περιεχόμενο και μικρότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας και νατρίου.



Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Διεργασία υγρής ανθρακοποίησης του IGT

Ο λιγνίτης τροφοδοτείται σε κομμάτια και θερμαίνεται παρουσία νερού σε θερμοκρασίες 200-350°C και πιέσεις μέχρι 155 bar. Η τροφοδοσία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 6-12 mm, αλλά η αναβάθμιση του υλικού φαίνεται να είναι ανεξάρτητη του μεγέθους. Είναι όμως απαραίτητο να αξιοποιηθούν τα λεπτόκοκκα σωματίδια για να βελτιωθεί ο βαθμός απόδοσης της διεργασίας. Η υγρασία ισορροπίας κυμαίνεται γύρω από το 15%.





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων



Διεργασία υγρής ανθρακοποίησης του IGT

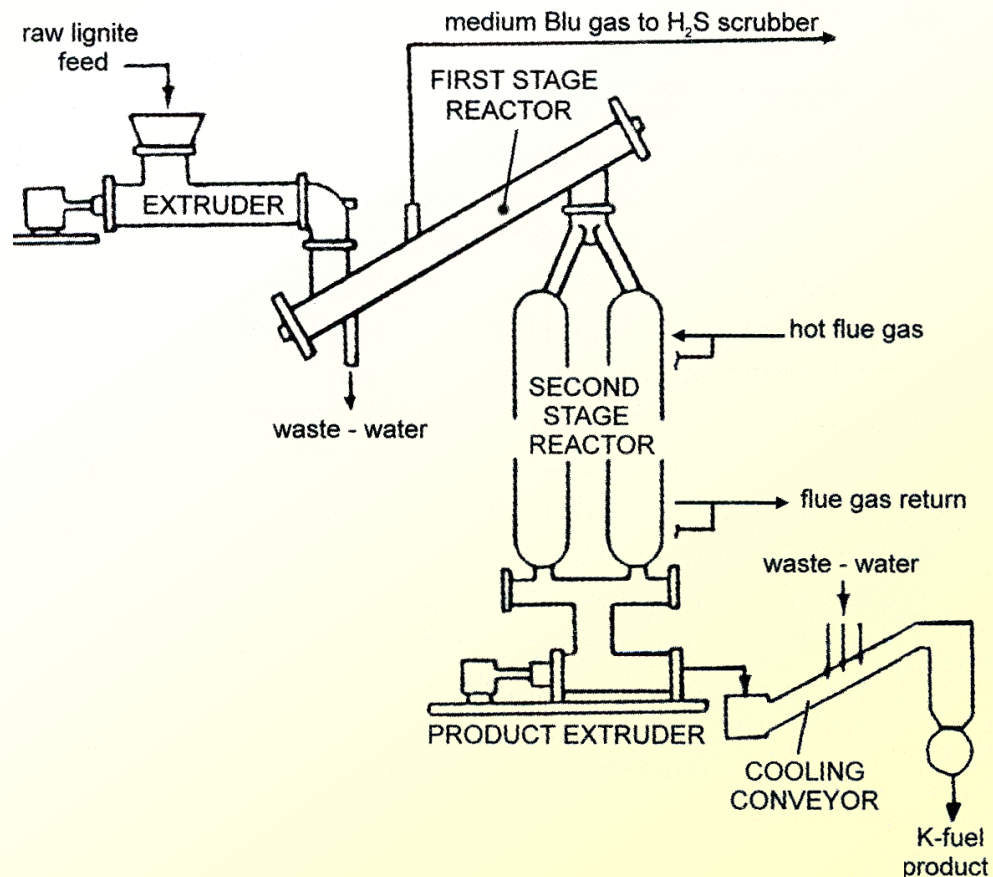
Για θερμοκρασία αντιδραστήρα 340°C η θερμογόνος δύναμη του προϊόντος αυξάνεται κατά 15% και η απόδοση της μεθόδου είναι 85%. Στην θερμοκρασία αυτή εκλύονται CO_2 , υγρά (tars) και συμπυκνώσιμοι υδρογονάνθρακες. Η απόδοση της μεθόδου πέφτει γύρω στο 50% αν ληφθεί υπόψη και το μέρος του λεπτόκοκκου υλικού που απομακρύνεται στην κοσκίνιση.



Διεργασία Koppelman

Πρόκειται για διεργασία που περιλαμβάνει ξήρανση και μερική πυρόλυση που γίνεται σε δύο στάδια σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες μέχρι 430°C . Η μέθοδος παράγει προϊόν σε πελλέτες. Η μέθοδος αξιοποιεί όλο τον εξορυσσόμενο λιγνίτη που προθραύεται σε μέγεθος κάτω από 12 mm.

Η τροφοδοσία εισέρχεται στον πρώτο αντιδραστήρα που είναι κεκλιμένος κύλινδρος με εσωτερικό κοχλία μεταφοράς. Η θερμοκρασία διατηρείται περίπου στους 250°C και η πίεση στα 7 MPa. Για την θέρμανση του άνθρακα χρησιμοποιούνται σε αντιρροή τα θερμά αέρια του δεύτερου σταδίου. Στο τέλος του πρώτου σταδίου ο άνθρακας έχει μερικώς αφυγρανθεί λόγω της θερμοκρασίας και της πίεσης, όπως και στην διεργασία θέρμανσης με ατμό.





Διεργασίες αναβάθμισης ανθράκων

Στο δεύτερο στάδιο η θέρμανση γίνεται με πολλαπλούς εξωτερικούς αυλούς και ο άνθρακας θερμαίνεται στους 430°C. Στις συνθήκες αυτές απελευθερώνονται πτητικοί υδρογονάνθρακες, πίσσες, υδρατμοί και οξείδια του άνθρακα (CO, CO₂).

Σε κάθε αντιδραστήρα υπάρχει ήπια ανάδευση για την διατήρηση της ροής. Στην πιο πρόσφατη μορφή του ο αντιδραστήρας του δεύτερου σταδίου είναι κατακόρυφος, με δίσκους για τα στερεά, και περιστρέφεται για να υποβοηθήσει την ροή προς τα κάτω. Τα παραγόμενα θερμά αέρια παρασύρουν σωματίδια προς τα πάνω που απομακρύνονται στην έξοδο του πρώτου σταδίου. Τα παραγόμενα υγρά απόβλητα απαιτούν κατεργασία για την απομάκρυνση των οργανικών. Επιπλέον, τα αερίδια πρέπει να υποστούν αποθείωση.

Το προϊόν του δεύτερου αντιδραστήρα μορφοποιείται σε πελλέτες και ψύχεται με νερό. Λόγω της φυσικοχημικής αναδόμησης του υλικού, οι πελλέτες δεν έχουν την τάση να επαναρροφήσουν υγρασία. Το παραγόμενο προϊόν είναι καύσιμο υψηλής τάξης σταθερού μεγέθους και θερμογόνου δύναμης. Δεν παρουσιάζει τάση αυτανάφλεξης, δεν δημιουργεί σκόνη και πρακτικά δεν περιέχει καθόλου υγρασία. Επιπλέον έχει μειωμένη περιεκτικότητα σε θείο και νάτριο.



Διεργασία Koppelman

Σαν ένα παράδειγμα της απόδοσης της διεργασίας, ένας λιγνίτης με θερμογόνο δύναμη περίπου 16,3 MJ/kg μπορεί να υποστεί κατεργασία σε πίεση 7-10 MPa και θερμοκρασία 400 - 675°C για την παραγωγή ενός προϊόντος με θερμογόνο δύναμη σε ένα εύρος 27,9 - 30,2 MJ/kg.

Η διεργασία Koppelman αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970, και εκτεταμένη ερευνητική εργασία έχει γίνει σε πιλοτική κλίμακα με αμερικανικούς υποβιτουμινικούς άνθρακες. Επιδεικτική μονάδα με πρώτη ύλη υποβιτουμινικό άνθρακα, δυναμικότητας 100.000 t/yr, βρίσκεται στο στάδιο του σχεδιασμού, ενώ έχει αναφερθεί και η λειτουργία εγκατάστασης εμπορικής κλίμακας με πρώτη ύλη τύρφη της Β. Καρολίνας.



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Το θείο στον άνθρακα εμφανίζεται υπό δύο μορφές, αυτήν του ανόργανου και αυτήν του οργανικού θείου. Το ανόργανο θείο είναι ενσωματωμένο στον άνθρακα κυρίως σαν πυρίτης, με μικρές ποσότητες θεικών αλάτων, όπως ο μελαντερίτης, ο γιαροσίτης και ο γύψος. Το οργανικό θείο είναι χημικά συνδεδεμένο στην δομή του άνθρακα και αποτελείται κυρίως από μερκαπτάνες, σουλφίδια, δισουλφίδια και θειοφένια. Ο χονδροκομμένος πυρίτης μπορεί να αφαιρεθεί άμεσα και οικονομικά από τον άνθρακα, με μεθόδους φυσικού καθαρισμού. Ομως, ο λεπτόκοκκος διεσπαρμένος πυρίτης δεν μπορεί να αφαιρεθεί με φυσικό καθαρισμό χωρίς υπερβολική απώλεια άνθρακα.

Από την άλλη πλευρά, **οι μέθοδοι χημικού καθαρισμού είναι σε θέση να επιτύχουν απομάκρυνση μέχρι και του 99% του πυρίτη και ανάκτηση του άνθρακα πάνω από 85%.** Επιπρόσθετα, με την μερική κατάτμηση της δομής του άνθρακα, μπορούν να αφαιρεθούν μέχρι το 40% περίπου του οργανικού θείου ή/και η ανόργανη ύλη που είναι συνδεδεμένη με την δομή του άνθρακα και που δεν μπορεί να διαχωριστεί με φυσικούς τρόπους.



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η οικονομοτεχνική βιωσιμότητα μίας διεργασίας χημικής αποθείωσης εξαρτάται κυρίως από τις **ιδιότητες των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται**. Αυτά, θα πρέπει να είναι εκλεκτικά και να μην αντιδρούν σε μεγάλο βαθμό με τα άλλα συστατικά του άνθρακα. Πρέπει να είναι αναγεννήσιμα και είτε διαλυτά, είτε πτητικά, ώστε να μπορούν να ανακτηθούν από την δομή του άνθρακα. Τέλος, τα αντιδραστήρια δεν πρέπει να είναι δαπανηρά, αφού ένα μέρος τους θα χαθεί, είτε λόγω μη αναστρέψιμης προσρόφησης στην δομή του άνθρακα, είτε λόγω αντίδρασης.

Οι διεργασίες χημικού καθαρισμού του άνθρακα βρίσκονται σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Οι διεργασίες αυτές έχουν εστιασθεί σε μεγάλο βαθμό στους ασφατούχους άνθρακες και κατά συνέπεια υπάρχουν πολύ λίγα δεδομένα, όσον αφορά στην αποδοτικότητά τους για την αναβάθμιση ανθράκων χαμηλής τάξης. Να σημειωθεί, ότι διεργασίες με τις οποίες απομακρύνεται μόνο το πυριτικό θείο, παρουσιάζουν μικρό ενδιαφέρον όταν πρόκειται για εφαρμογές με άνθρακες χαμηλής τάξης.



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Μερικές από τις διεργασίες χημικού καθαρισμού άνθρακα, καθώς και το εκτιμώμενο κόστος τους είναι:

- ❑ **Διεργασία εκχύλισης με αλκάλια (BATTELITE).** Χρησιμοποιούνται υδατικά διαλύματα αλκαλίων για την εξαγωγή του μεγαλύτερου μέρους του ανόργανου θείου και μέρους του οργανικού θείου από τον άνθρακα (το κόστος είναι περίπου 31 \$/τόνο καθαρού άνθρακα).
- ❑ **Διεργασία Meyers.** Περιλαμβάνει χημική εκχύλιση του πυρίτη του άνθρακα με υδατικό διάλυμα τρισθενούς θεικού σιδήρου σε θερμοκρασίες 90-130°C, πιέσεις 0,1-10 MPa και χρόνους παραμονής 1-16 ώρες (το κόστος εκτιμάται σε 18,4 \$/τόνο καθαρού άνθρακα).



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

- ❑ **Διεργασίες οξυαποθείωσης.** Βασίζονται στην οξείδωση του πυριτικού θείου του άνθρακα σε υδατικό διάλυμα για τον σχηματισμό διαλυτών θεικών αλάτων σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, χρησιμοποιώντας σαν μέσον οξείδωσης οξυγόνο ή αέρα (ανάλογα με τις επιμέρους διεργασίες, το κόστος κυμαίνεται 17-26 \$/τόνο καθαρού άνθρακα).
- ❑ **Διεργασία χλωρινόλυσης της Jet Propulsion Laboratory.** Είναι μια διεργασία καθαρισμού άνθρακα σε 3 στάδια, που είναι η χλωρινόλυση άνθρακα σε χαμηλή θερμοκρασία, ακολουθούμενη από υδρόλυση και αποχλωρίωση. Έχει σαν στόχο την απομάκρυνση τόσο των πυριτικών όσο και των οργανικών ενώσεων του θείου (το κόστος εκτιμάται σε 21 \$/τόνο καθαρού άνθρακα).



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Διεργασία μικροκυμάτων της **General Electric**. Αποτελείται από τα εξής βήματα: α) κονιοποίηση του άνθρακα, β) ανάμειξη του άνθρακα με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου για την παραγωγή πυκνού πολτού, γ) μερική ξήρανση του πολτού, δ) ακτινοβολία μικροκυμάτων για 30-60 sec σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου, ε) έκπλυση και ξήρανση του άνθρακα για χρησιμοποίηση και στ) μετατροπή των σουλφιδίων σε στοιχειακό θείο και ανάκτηση του υδροξειδίου του νατρίου (το κόστος εκτιμάται σε 16,8 \$/τόνο καθαρού άνθρακα).



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

- **Διεργασία χημικής κατάτμησης.** Είναι μια εναλλακτική ξηρή διεργασία μηχανικής κατάτμησης και καθαρισμού του άνθρακα, καθιστώντας ταυτόχρονα το δαπανηρό βήμα της αφυδάτωσης μη αναγκαίο.

Η διεργασία συνίσταται στη ταχεία διεϊσδυση μερικών ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους μέσα στις φυσικές ρωγμές που δημιουργούνται από ελαττώματα, πόρους και άλλες ασυνέχειες της δομής του άνθρακα. Η χημική ουσία εξουδετερώνει τις εσωτερικές δυνάμεις δεσμού, επενεργώντας στις επιφάνειες που ορίζουν αυτά τα όρια, προξενώντας έτσι τεμαχισμό του άνθρακα. Μ' αυτόν τον τρόπο τα ανόργανα συστατικά τα οποία περιέχουν τη τέφρα αποδεσμεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι με την μηχανική άλεση, όσο αφορά άνθρακες του ίδιου μεγέθους (το κόστος εκτιμάται 12 \$/τόνο καθαρού άνθρακα).



ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

- **Διεργασία εναλλαγής ιόντων.** Χρησιμοποιείται σε άνθρακες χαμηλής τάξης με υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο (που προκαλούν σοβαρές επικαθίσεις) για την μείωση της περιεκτικότητά τους σε νάτριο.

Επειδή έχει αποδειχθεί ότι το νάτριο σε άνθρακες με περιεκτικότητα σε Na_2O 0,4% ή υψηλότερη είναι ιοντικά συνδεδεμένο με τα ομοιογενώς κατανομημένα χουμικά οξέα στις ουσίες του άνθρακα, οι τεχνικές φυσικού διαχωρισμού δεν είναι αποδοτικές. Ο μηχανισμός ιοντικής εναλλαγής επιτρέπει την αντικατάσταση του νατρίου με ιόντα μεγαλύτερου βάρους, υψηλότερου σθένους ή/και υψηλότερης συγκέντρωσης. Έτσι, το νάτριο μπορεί να αντικατασταθεί από το κάλιο, το ασβέστιο, τον σίδηρο, τα μαγνήσιο ή το υδρογόνο, ανάλογα με τις συνθήκες της διεργασίας.