



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



“Energy resources: Technologies & Management”

“Εξαερίωση Άνθρακα”

Δρ. Γεώργιος Σκόδρας
Αν. Καθηγητής



Εξαερίωση άνθρακα



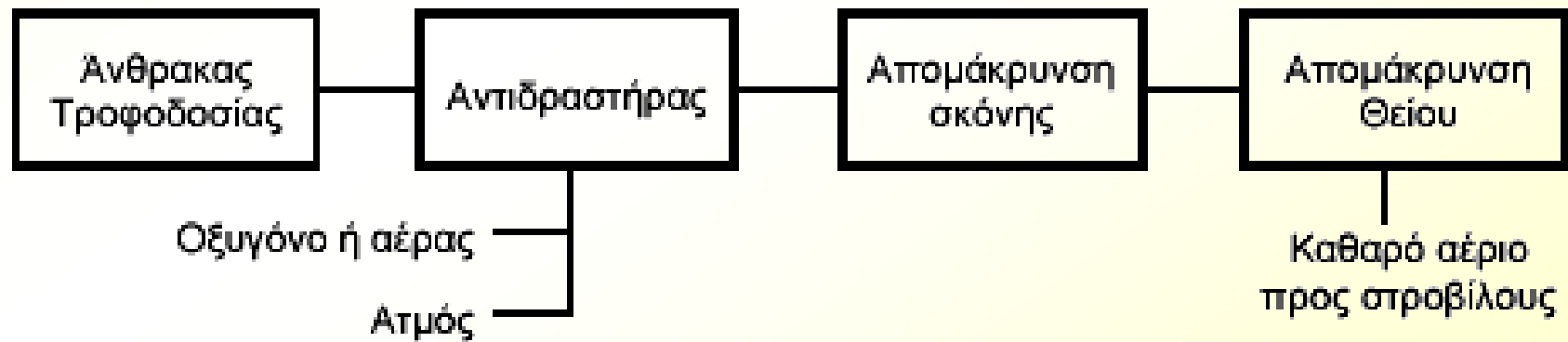
- Χαρακτηριστικά του άνθρακα που επηρεάζουν την εξαερίωση
- Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα
- Εξαερίωση σταθερής κλίνης
- Εξαερίωση ρευστοστερεάς κλίνης
- Εξαερίωση παρασυρόμενης κλίνης
- Εξαερίωση τήγματος



Εξαερίωση άνθρακα

Ένα τυπικό σύστημα εξαερίωσης άνθρακα αποτελείται από τις μονάδες τροφοδοσίας του άνθρακα, τον αντιδραστήρα εξαερίωσης και την μονάδα απομάκρυνσης σκόνης και θείου.

Στη μονάδα τροφοδοσίας, το στερεό καύσιμο αλέθεται και ξηραίνεται στον βαθμό που απαιτείται από τον τύπο του εξαεριωτή. Η μονάδα περιλαμβάνει είτε σύστημα τροφοδοσίας ξηρού άνθρακα ή διατάξεις ανάμιξης του άνθρακα με νερό για το σχηματισμό πολτού τροφοδοσίας που είναι δυνατόν να αντληθεί.



Απλοποιημένο διάγραμμα ροής συστήματος εξαερίωσης



Εξαερίωση άνθρακα



Εκτός από τον άνθρακα, στον αντιδραστήρα τροφοδοτούνται οξειδωτικά μέσα, αέρας ή οξυγόνο και ατμός σε αναλογίες που καθορίζονται από τη διαδικασία.

Στον αντιδραστήρα λαμβάνουν χώρα σε υψηλή θερμοκρασία ταυτόχρονες αντιδράσεις όπως **αποπτητικοποίηση του άνθρακα, μερική οξείδωση και εξαερίωση.**

Το αέριο που παράγεται είναι εμπλουτισμένο σε υδρογόνο και μονοξείδιο, ενώ περιέχει ακόμη διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο καθώς και ατμό που δεν αντέδρασε.

Σε συστήματα που χρησιμοποιείται αέρας σαν οξειδωτικό μέσο, το παραγόμενο αέριο ρεύμα θα περιέχει επίσης και σημαντική αναλογία αδρανούς αζώτου.



Εξαερίωση άνθρακα



Τα αέρια που εξέρχονται από τον αντιδραστήρα παρασύρουν λεπτότατα διαμερισμένα σωματίδια τα οποία αποτελούνται από τέφρα και εξανθράκωμα, καθώς και ανεπιθύμητες αέριες ενώσεις όπως υδρόθειο και αμμωνία.

Τα στερεά σωματίδια απομακρύνονται από τα αέρια στο σύστημα απομάκρυνσης σκόνης, το οποίο περιλαμβάνει κυκλώνες, φίλτρα και πύργους απορρόφησης με νερό.

Τα αέρια, απαλλαγμένα από στερεά, οδηγούνται στο σύστημα απομάκρυνσης θείου που είναι συνήθως στήλες υγρής απορρόφησης. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται και η ταυτόχρονη κατακράτηση της εναπομένουσας αμμωνίας. Τα καθαρισμένα αέρια μπορούν να επαναθερμανθούν και σε ορισμένες περιπτώσεις να κορεστούν με ατμό για χρήση σε αεριοστροβίλους.



Εξαερίωση άνθρακα



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΕΡΙΩΣΗ

Τα χαρακτηριστικά του άνθρακα είναι, ίσως, ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή και τον σχεδιασμό των διεργασιών εξαερίωσης.

Γενικά, οι άνθρακες χαμηλής τάξης είναι οι προτιμώμενες πρώτες ύλες τροφοδοσίας των υφιστάμενων εμπορικών διεργασιών εξαερίωσης, σε σύγκριση με τους ασφαλούχους άνθρακες οι οποίοι έχουν τάσεις συσσωμάτωσης. Οι κύριες ιδιότητες των ανθράκων χαμηλής τάξης, που επηρεάζουν την επιλογή του εξαεριωτή ή την εφαρμογή της διεργασίας, είναι **η αντιδραστικότητα, η περιεκτικότητα σε υγρασία και οξυγόνο, η περιεκτικότητα σε πτητικά, τα χαρακτηριστικά της τέφρας και η περιεκτικότητα σε θείο.**



Εξαερίωση άνθρακα



Αντιδραστικότητα

Διάφορες μελέτες, για την εξαερίωση του εξανθρακώματος του άνθρακα, έδειξαν ότι οι άνθρακες χαμηλής τάξης μπορούν να έχουν αντιδραστικότητα έως και 100 φορές μεγαλύτερη από αυτή των ανθράκων υψηλότερης τάξης, αποσυνθέτοντας τον ατμό ταχύτερα και συντηρώντας την αποσύνθεσή του σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

Αυτή η αυξημένη αντιδραστικότητα των ανθράκων χαμηλής τάξης αποδίδεται

- ❑ στα περισσότερα ενεργά κέντρα που οι άνθρακες αυτοί διαθέτουν, λόγω των μικρότερων μεγεθών κρυσταλλιτών,
- ❑ το υψηλότερο πορώδες, που ευνοεί την πρόσβαση του αερίου της αντίδρασης και
- ❑ την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ασβέστιο της τέφρας, η καταλυτική επίδραση του οποίου στην εξαερίωση του εξανθρακώματος είναι γνωστή.



Εξαερίωση άνθρακα



Αντιδραστικότητα

Λόγω της ιδιότητας αυτής των ανθράκων χαμηλής τάξης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες χωρικές ταχύτητες, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα χαμηλότερο κεφαλαιουχικό κόστος στον τομέα της εξαερίωσης.

Επίσης, η κατανάλωση οξυγόνου και ατμού μπορεί να μειωθεί και να επιτευχθούν υψηλότερα ποσοστά μετατροπής του άνθρακα, πράγμα σημαντικό για τους εξαεριωτές οι οποίοι έχουν μικρότερους χρόνους παραμονής, όπως ο τύπος της παρασυρόμενης κλίνης.

Επιπρόσθετα, η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας είναι πλεονεκτική για τις μονάδες σταθερής κλίνης με απομάκρυνση τέφρας υπό ξηρή μορφή.



Εξαερίωση άνθρακα



Περιεκτικότητα σε υγρασία και οξυγόνο

Η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία των ανθράκων χαμηλής τάξης ενεργεί σαν διαλύτης κατά την διεργασία εξαερίωσης, απαιτώντας **μεγαλύτερες ποσότητες τροφοδοσίας στον εξαεριωτή**, για την επίτευξη της ίδιας παροχής ενέργειας με τους άνθρακες υψηλότερης τάξης.

Ο αυξημένος ρυθμός τροφοδοσίας άνθρακα δημιουργεί μεγαλύτερες ποσότητες στερεών, υγρών και αερίων και κατά συνέπεια απαιτεί εξοπλισμό μεγαλύτερων διαστάσεων.



Εξαερίωση άνθρακα



Περιεκτικότητα σε υγρασία και οξυγόνο

Οι εξαεριωτές σταθερής κλίνης μπορούν να λειτουργήσουν με επίπεδα υγρασίας μέχρι και 35%, υπό την προϋπόθεση ότι η περιεκτικότητα σε τέφρα δεν υπερβαίνει το 10%. Οι εξαεριωτές πλήρους παράσυρσης ή ρευστοστερεάς κλίνης απαιτούν την μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία, με ξήρανση, σε επίπεδα γενικά μικρότερα από 5%.

Σε εξαεριωτές με απομάκρυνση ρευστής σκωρίας, αν το επίπεδο υγρασίας της τροφοδοσίας είναι υψηλό, η παραγόμενη θερμότητα στην χαμηλότερη περιοχή του αντιδραστήρα δεν θα είναι αρκετή για την εξάτμισή της. Σαν αποτέλεσμα, η θερμοκρασία της κλίνης θα πέσει και η ροή της τηγμένης σκωρίας μπορεί να σταματήσει, θέτοντας την μονάδα εκτός λειτουργίας. Το πρόβλημα αυτό παρατηρήθηκε στην πιλοτική μονάδα εξαερίωσης με λιγνίτη Gascoyne (North Dakota), ο οποίος είχε περιεκτικότητα σε υγρασία πάνω από 40%.



Εξαερίωση άνθρακα



Περιεκτικότητα σε υγρασία και οξυγόνο

Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο των ανθράκων χαμηλής τάξης επηρεάζει την διεργασία εξαερίωσης, κατά τρόπο παρόμοιο με την περιεκτικότητα σε υγρασία.

Δεδομένου ότι οι άνθρακες χαμηλής τάξης υπόκεινται σε μερική οξείδωση, το περιεχόμενο ενέργειας του αέριου προϊόντος είναι χαμηλότερο. Έτσι, για την παραγωγή ενός ισοδύναμου περιεχόμενου ενέργειας σε σύγκριση με τους άνθρακες υψηλότερης τάξης, η τροφοδοσία θα πρέπει να αυξηθεί.



Εξαερίωση άνθρακα



Περιεκτικότητα σε πτητικά

Η χημική σύνθεση των πτητικών ουσιών, που παράγονται από άνθρακες χαμηλής τάξης κατά την διάρκεια της διεργασίας εξαερίωσης, είναι αρκετά διαφορετική από αυτή των ανθράκων υψηλότερης τάξης. Έτσι, η κατεργασία διαχωρισμού και η χρήση αυτών των υπο-προϊόντων θα είναι διαφορετική.

Σε εξαεριωτές σταθερής κλίνης, παράγεται μία μεγάλη ποσότητα πίσσας, ελαίων, φαινολών και άλλων συστατικών, ενώ σε συστήματα ρευστοστερεάς και παρασυρόμενης κλίνης, που λειτουργούν σε θερμοκρασίες πάνω από 800°C, τέτοια υγρά οργανικά προϊόντα διασπώνται σε άνθρακα και υδρογόνο, απαλείφοντας έτσι την ανάγκη σύνθετων εγκαταστάσεων κατεργασίας.



Εξαερίωση άνθρακα



Χαρακτηριστικά της τέφρας

Οι διάφορες διεργασίες στις μονάδες εξαερίωσης του άνθρακα θέτουν ορισμένες απαιτήσεις, όσον αφορά στις φυσικές και χημικές ιδιότητες της ανόργανης ύλης του άνθρακα.

Για τον εξαεριωτή, τα κύρια χαρακτηριστικά της τέφρας είναι

- ✓ οι καταλυτικές επιπτώσεις στους ρυθμούς εξαερίωσης,
- ✓ η συμπεριφορά θερμοκρασίας-ιξώδους και
- ✓ η διαβρωτική δράση στις πυρίμαχες επιφάνειες.



Εξαερίωση άνθρακα



Χαρακτηριστικά της τέφρας

Η υψηλότερη αντιδραστικότητα των ανθράκων χαμηλής τάξης στην εξαερίωση, θεωρείται ότι οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, στην παρουσία εναλλάξιμων μεταλλικών κατιόντων στην επιφάνειά τους. Οι καταλυτικές επιδράσεις αυτών των μεταλλικών κατιόντων παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με την ατμόσφαιρα εξαερίωσης.

Σε μια οξειδωτική ατμόσφαιρα, το νάτριο, το κάλιο και το ασβέστιο βελτιώνουν την αντιδραστικότητα του εξανθρακώματος. Σε μία αναγωγική ατμόσφαιρα, το νάτριο είναι ο πιο αποδοτικός καταλύτης για καύση άνθρακα κάτω από 45%, ενώ ο σίδηρος είναι ένας καλύτερος καταλύτης για υψηλότερα επίπεδα καύσης. Σε ατμόσφαιρα ατμού, το κάλιο και το ασβέστιο είναι καλύτεροι καταλύτες, από ότι το νάτριο και ο σίδηρος. Έχει βρεθεί ότι ο ασβεστόλιθος και ο τακολίτης βελτιώνουν τους ρυθμούς εξαερίωσης των εξανθρακωμάτων των ανθράκων χαμηλής τάξης κατά 2-10 φορές, σε σχέση με τους ρυθμούς των αντιδράσεων χωρίς κατάλυση.



Εξαερίωση άνθρακα



Χαρακτηριστικά της τέφρας

Αν και η θερμοκρασία τήξης της τέφρας είναι σχετική με την λειτουργία του εξαεριωτή με απομάκρυνση ρευστής σκωρίας (σταθερής και παρασυρόμενης κλίνης), μία σημαντικότερη σχέση είναι αυτή **μεταξύ της θερμοκρασίας και του ιξώδους**, αφού αυτά είναι τα κρίσιμα χαρακτηριστικά της σκωρίας.

Η τέφρα μπορεί να έχει χαμηλό σημείο τήξης, αλλά και μία επίπεδη καμπύλη ιξώδους-θερμοκρασίας, που να απαιτεί την προσθήκη ρευμάτων αέρα, για ικανοποιητική απομάκρυνση της σκωρίας. Οι τέφρες από άνθρακες χαμηλής τάξης έχουν μία διαφορετική σχέση ιξώδους-θερμοκρασίας, από ότι οι τέφρες από άνθρακες υψηλής τάξης και κατά συνέπεια, απαιτούν διαφορετικές θερμοκρασίες εξαερίωσης, για την διατήρηση συνθηκών σκωρίας ή μη.



Εξαερίωση άνθρακα



Χαρακτηριστικά της τέφρας

Η συμπεριφορά της τέφρας ανθράκων χαμηλής τάξης, στον εξαεριωτή, αναμένεται επίσης να είναι διαφορετική από αυτήν των ανθράκων υψηλής τάξης, ως προς τα πυρίμαχα υλικά.

Μερικοί άνθρακες χαμηλής τάξης έχουν στην ανόργανη ύλη τους υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο, κάτι που έχει αποδειχθεί ότι έχει διαβρωτική δράση σε επενδύσεις πυρίμαχων υλικών καρβιδίου του πυριτίου. Όμως, οι άνθρακες χαμηλής τάξης έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε σίδηρο, ο οποίος σε μερικές περιπτώσεις είναι επίσης ένα διαβρωτικό μέσο.



Εξαερίωση άνθρακα



Περιεκτικότητα σε θείο

Οι άνθρακες χαμηλής τάξης περιέχουν, γενικά, μικρότερες ποσότητες θείου, από ότι οι άνθρακες υψηλότερης τάξης, πράγμα που μειώνει τις απαιτήσεις απομάκρυνσής του για την ικανοποίηση των περιβαλλοντικών προτύπων.

Έτσι, αναμένεται ένα χαμηλότερο κόστος για τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.



Εξαερίωση άνθρακα



Αντιδραστήρες εξαερίωσης και τύποι άνθρακα

Στον Πίνακα συνοψίζονται οι τιμές μεγέθους σωματιδίων και οι ποιότητες άνθρακα που είναι αποδεκτές από τους 4 κύριους τύπους εξαεριωτών:

- Σταθερής κλίνης
- Ρευστοστερεάς κλίνης
- Παρασυρόμενης κλίνης
- Λουτρού τήγματος

Μέγεθος, mm	Τύπος άνθρακα
40 - 5	Λιγνίτης, Υποβιτουμινικοί, Βιτουμινικοί
3 – 0,5	Λιγνίτης, Υποβιτουμινικοί
< 0,1	Όλοι οι τύποι
< 3	Όλοι οι τύποι



Εξαερίωση άνθρακα



Αντιδραστήρες εξαερίωσης και τύποι άνθρακα

Η χρησιμοποίηση λιγνίτη σε εξαεριωτές κινούμενης κλίνης ξηρής τέφρας απαιτεί προκατεργασία με πελλετοποίηση. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η τάση αποσύνθεσης του άνθρακα κατά την ξήρανσή του στον εξαεριωτήρα και συνεπώς η παρεμπόδιση της ροής του αερίου δια μέσου της κλίνης. Οι μονάδες ρευστοστερεάς κλίνης, και ιδίως του τύπου Winkler σχεδιάστηκαν ειδικά για χρήση λιγνίτη, ο οποίος όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξ ίσου καλά και σε αντιδραστήρες παράσυρσης.

Οι εξαεριωτές κινούμενης κλίνης σχεδιάστηκαν κυρίως για τροφοδοσία υποβιτουμινικών ανθράκων αν και υπάρχει πρόβλεψη και για χρήση βιτουμινικών ανθράκων. Σε αυτούς τους τύπους εξαεριωτών τα φαινόμενα συσσωμάτωσης που προαναφέρθηκαν μπορούν να αντιμετωπιστούν με την τοποθέτηση εντός του αντιδραστήρα διατμητικών διατάξεων που περιστρέφονται από την κορυφή της κλίνης. Η χρήση όμως συστημάτων ανάδευσης έχει σαν αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή και μεταφορά σκόνης που μπορεί να φθάσει μέχρι και το 2% του άνθρακα τροφοδοσίας.



Εξαερίωση άνθρακα



Αντιδραστήρες εξαερίωσης και τύποι άνθρακα

Οι εξαεριωτές παράσυρσης και τηγμένης τέφρας μπορούν να λειτουργήσουν με τους περισσότερους τύπους ,ανθράκων. Η υψηλή θερμοκρασία εξαερίωσης καθώς και η μεγάλη ειδική επιφάνεια του άνθρακα, που οφείλεται στο μικρό μέγεθος σωματιδίων, διευκολύνουν τις αντιδράσεις εξαερίωσης να λάβουν χώρα σε μικρό χρονικό διάστημα, χωρίς πιθανότητα να συμβεί συσσωμάτωση.

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα έχει στραφεί προς την ανάπτυξη αντιδραστήρων και συνθηκών εξαερίωσης των οποίων η απόδοση δεν θα εξαρτάται ισχυρά από την ποιότητα του άνθρακα. Η απαίτηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία αν ληφθεί υπόψη ότι και σήμερα η παραγωγή ενέργειας από καύση βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο διεθνές εμπόριο διαφόρων τύπων ανθράκων.



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Τα πρώτα συστήματα εξαερίωσης στερεών καυσίμων προς αέριο και τέφρα αναπτύχθηκαν σε εμπορικό επίπεδο το 1857 στη Γερμανία από την Siemens. Η τεχνολογία αυτή σταδιακά βελτιώθηκε με την ταυτόχρονη ανάπτυξη συστημάτων καθαρισμού του αερίου και την ρύθμιση του απαιτούμενου αέρα ή ατμού. Ένα τέτοιο εξελιγμένο σύστημα αναπτύχθηκε από την Mond και εφαρμόστηκε στην παραγωγή αμμωνίας το 1883.

Μεταξύ των πρώτων βελτιώσεων ήταν και η εισαγωγή των μηχανικών ξέστρων. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε η συνεχής απομάκρυνση τέφρας σε εξαεριωτές σταθερής κλίνης, που απετέλεσε την βάση για την ανάπτυξη εξαεριωτών κινούμενης κλίνης.



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Το 1901, η παράλληλη ανάπτυξη μηχανών εσωτερικής καύσης έχει φτάσει στο επίπεδο που η λειτουργία τους με αέριο να είναι η πιο αποδοτική μέθοδος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στην Αγγλία ιδρύεται η Power Gas Company με σκοπό την μελέτη αυτής της τεχνολογίας. Παρά το γεγονός ότι οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ατμό ξεπέρασαν γρήγορα τις μηχανές που λειτουργούσαν με αέριο, η εξέλιξη των μονάδων εξαερίωσης κινούμενης κλίνης συνεχίστηκε και προς άλλες κατευθύνσεις.

Αρχικά, η πιο γνωστή μέθοδος εξαερίωσης ήταν αυτής της Lurgi. Σύντομα όμως αναπτύχθηκαν και άλλες τεχνολογίες από τις Tully, Power Gas Corporation, Bamag, Strache, Kreisa και Vergasung Industrie AG.



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Με την πάροδο του χρόνου, διαπιστώθηκε ότι τα συστήματα εξαερίωσης του άνθρακα κινούμενης κλίνης είχαν αρκετά μειονεκτήματα με αποτέλεσμα η έρευνα να στραφεί προς τις εξής κατευθύνσεις :

- διεύρυνση του είδους ανθράκων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μια συγκεκριμένη μονάδα
- βελτίωση της ποιότητας του αερίου με τη μείωση των αδρανών, όπως αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα
- αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος με την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας
- απλοποίηση των συστημάτων τροφοδοσίας άνθρακα και απομάκρυνσης τέφρας
- ευελιξία λειτουργίας



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Το 1930, αναπτύχθηκε στη Γερμανία μία νέα τεχνολογία από τη Winkler για την εξαερίωση του άνθρακα σε ρευστοστερεές κλίνες.

Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου ήταν η ικανότητα διαχείρισης λεπτότατα διαμερισμένου άνθρακα με αποτέλεσμα την ευρεία χρήση στη βιομηχανία παραγωγής αμμωνίας. Η απευθείας χρήση οξυγόνου ως οξειδωτικού μέσου οδήγησε στην παραγωγή αερίου χωρίς άζωτο. Ως εκ τούτου, η ποιότητα του αερίου βελτιώθηκε, η θερμογόνο δύναμή του αυξήθηκε και η λειτουργία των μονάδων έγινε πιο αποδοτική.



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Σταδιακά η πίεση λειτουργίας των εξαεριωτών αυξήθηκε στα επίπεδα που σήμερα θεωρούνται ως κοινή πρακτική. Στη συνέχεια η έρευνα στράφηκε στη λειτουργία εξαεριωτών σε υψηλή θερμοκρασία, με σκοπό την τήξη της τέφρας και τη διαχείρισή της στις μονάδες απομάκρυνσης σαν ρευστό υψηλού ιξώδους. Οι βελτιώσεις αυτές οδήγησαν κατά τη δεκαετία του 50 στην ανάπτυξη, από την Koppers-Totzek Γερμανίας, συστημάτων εξαερίωσης συμπαρασυρμού, με ικανότητα διαχείρισης λεπτότατα διαμερισμένου άνθρακα σε θερμοκρασίες πάνω από αυτές στις οποίες επέρχεται η τήξη της τέφρας.

Αυτοί οι τρεις τύποι εξαεριωτών, δηλαδή **κινούμενης, ρευστοστερεάς κλίνης και παράσυρσης**, χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε διάφορα κράτη για την παραγωγή αερίου σύνθεσης ή καυσίμου, για την παραγωγή αμμωνίας και μεθανόλης και διάφορες άλλες εφαρμογές. Συνήθως, οι τεχνολογίες αυτές αναφέρονται ως **εξαεριωτές πρώτης γενιάς**.



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Οι ερευνητικές προσπάθειες για την βελτίωση της απόδοσης, την αντιμετώπιση των σχεδιαστικών προβλημάτων και τη συμβατότητα των μονάδων εξαερίωσης πρώτης γενιάς με το περιβάλλον είχαν σαν αποτέλεσμα τα συστήματα **εξαερίωσης δεύτερης γενιάς**.

Οι κυριότερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών ήταν η επικράτηση της υψηλής πίεσης στους εξαεριωτές ρευστοστερεάς κλίνης και παράσυρσης καθώς και η ανάπτυξη αντιδραστήρων κινούμενης κλίνης υψηλής θερμοκρασίας. Ορισμένα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούνται ήδη για την παραγωγή αερίου σύνθεσης και την παρασκευή μεθανόλης, αμμωνίας, οξο-χημικών, όπως επίσης και για την παραγωγή καυσίμου αερίου στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου.



Εξαερίωση άνθρακα



Ανάπτυξη της εξαερίωσης άνθρακα

Εκτός από τις τρεις βασικές κατηγορίες, που αναφέρθηκαν, αναπτύχθηκε και ένας νέος τύπος εξαερίωσης δεύτερης γενιάς που έγινε γνωστός ως **αντιδραστήρας τήγματος** (molten bath).

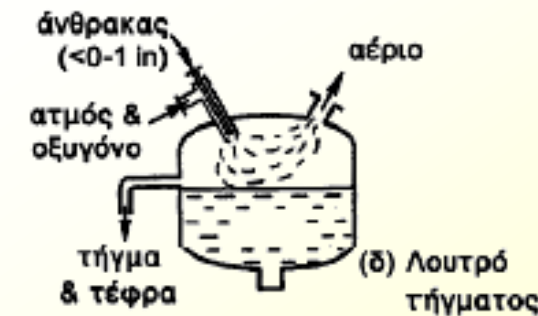
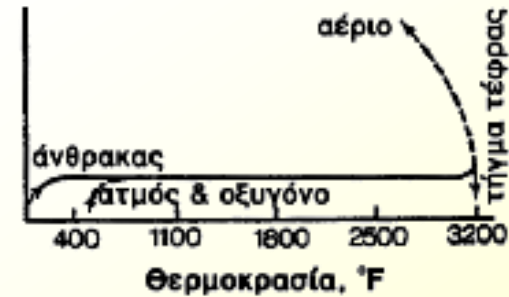
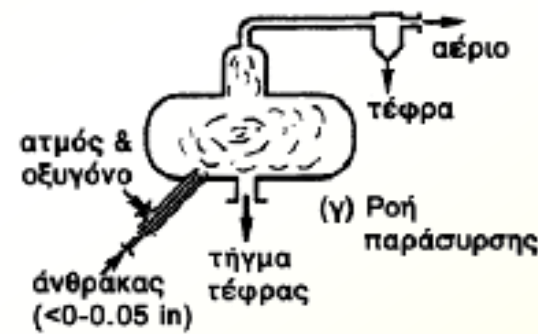
Πρωτοεμφανίστηκε το 1956 στη Γερμανία από την Otto-Rummel και ονομάζεται έτσι επειδή ο λεπτότατα διαμερισμένος άνθρακας διοχετεύεται σε «λουτρό» τηγμένης τέφρας όπου και εξαεριώνεται. Διάφοροι τύποι αυτού του είδους εξαεριωτή αναπτύχθηκαν στην Γερμανία, Αγγλία, Ηνωμένες Πολιτείες και Ιαπωνία χωρίς όμως κάποια από τις παραπάνω τεχνολογίες να έχει εφαρμοστεί σε εμπορικό επίπεδο. Συνεπώς, αρκετοί ερευνητές δικαιολογημένα συγκαταλέγουν αυτόν τον τύπο εξαεριωτή στην τρίτη γενιά αντιδραστήρων εξαερίωσης.



Εξαερίωση άνθρακα

ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΕΞΑΕΡΙΩΣΗΣ

Στο Σχήμα παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι αντιδραστήρων εξαερίωσης μαζί με τις κρατούσες θερμοκρασίες αντίδρασης.



Κύριοι τύποι αντιδραστήρων εξαερίωσης



ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΕΞΑΕΡΙΩΣΗΣ

Η επιλογή του εξαεριωτή εξαρτάται γενικά από:

- ✓ τον ρυθμό παραγωγής ενέργειας,
- ✓ τις απαιτήσεις για χρόνο εκτός λειτουργίας,
- ✓ την θερμογόνο δύναμη του αερίου

(αέριο μικρής θερμαντικής αξίας με θερμογόνο δύναμη 3,8-7,6 MJ/m³ για χρήση σαν βιομηχανικό καύσιμο και καύσιμο παραγωγής ισχύος, αέριο μέσης θερμαντικής αξίας με θερμογόνο δύναμη 10,5-16 MJ/m³ για χρήση σαν τροφοδοσία στις διεργασίες χημικής σύνθεσης και καύσιμο αέριο υψηλής θερμαντικής αξίας με θερμογόνο δύναμη πάνω από 21 MJ/m³ για χρήση σαν υποκατάστατο του φυσικού αερίου),



Εξαερίωση άνθρακα



ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ ΕΞΑΕΡΙΩΣΗΣ

Η επιλογή του εξαεριωτή εξαρτάται γενικά από:

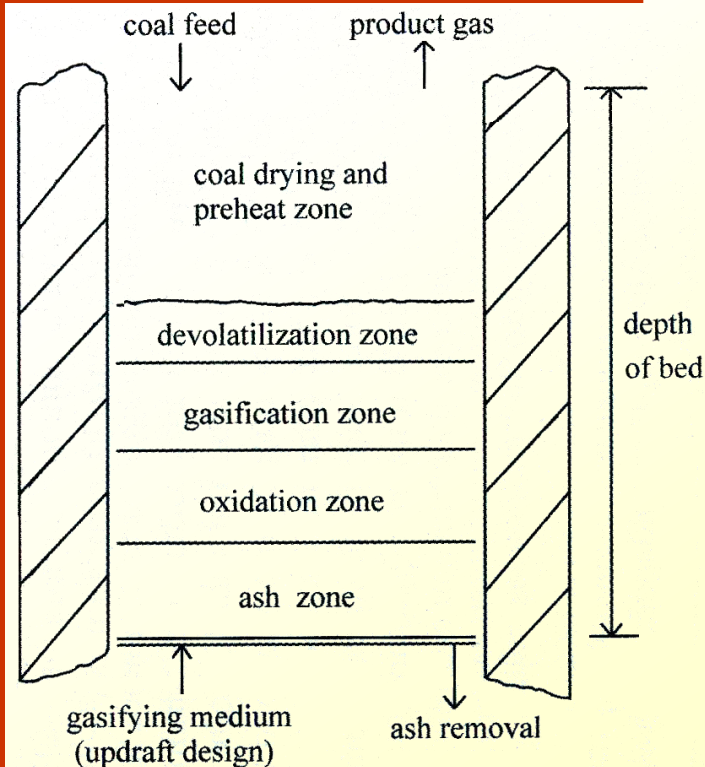
- ✓ την θερμοκρασία και την πίεση,
- ✓ την επιτρεπόμενη καθαρότητα του αερίου όσον αφορά θείο, διοξείδιο του άνθρακα, κλπ,
- ✓ την επιτρεπόμενη καθαρότητα του αερίου όσον αφορά πίσσες, κάπνα, τέφρα,
- ✓ την διαθεσιμότητα, τον τύπο και το κόστος του άνθρακα,
- ✓ τις τοποθεσίες εγκατάστασης του εξαεριωτή και της τελικής χρήσης των προϊόντων και των επιδράσεών τους, και
- ✓ τους περιορισμούς μεγέθους.

Μετά από ξήρανση, ο άνθρακας πυρολύεται στην ζώνη

Στην λειτουργία χωρίς απομάκρυνση ρευστής σκωρίας, το μέσον εξαερίωσης, το οποίο αποτελείται από ατμό και αέρα ή οξυγόνο, προθερμαίνεται από την θερμή τέφρα στην ζώνη τέφρας, πριν εισέλθει στην ζώνη καύσης, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία περιορίζεται κάτω από το σημείο τήξης της τέφρας, με την παροχή επιπρόσθετου ατμού.

διεργασία λαμβάνει χώρα υπό πίεση, λαμβάνουν χώρα οι αντίδραση ύδατος-αερίου (water-gas shift reaction) και η αντίδραση εξανθρακώματος-υδρογόνου, οι οποίες συνεισφέρουν σε θερμότητα, που υποστηρίζει τις ενδόθερμες αντιδράσεις εξαερίωσης.

Όταν ο άνθρακας φθάσει στην ζώνη εξαερίωσης καταναλώνεται τελικά, προσφέροντας θερμότητα στην διεργασία και αφήνοντας ένα μη καύσιμο υπόλειμμα, την τέφρα. Η τέφρα εξάγεται από την βάση, είτε μέσω μιας εσχάρας εφόσον είναι σε ξηρή μορφή, ή μέσω κάποιας μορφής απορροής σκωρίας.



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης
ξηρού πυθμένα



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης

Γενικά, τα συστήματα εξαερίωσης σταθερής κλίνης είναι απλά και αξιόπιστα, προσφέροντας υψηλή θερμική αποδοτικότητα και αποδοτικότητα χρησιμοποίησης του άνθρακα, λόγω των μικρών απωλειών θερμότητας και της ελάχιστης παράσυρσης λεπτόκοκκου άνθρακα και τέφρας στο αέριο ρεύμα.

Είναι κατάλληλα για μεγάλα κομμάτια άνθρακα, στο εύρος μεγεθών 50 mm έως 6 mm και έχουν περιορισμένη μόνο δυνατότητα αποδοχής υλικών μικρότερων από 3 mm. Οι άνθρακες οι οποίοι έχουν τάσεις συσσωμάτωσης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς μία προ επεξεργασία, μετά την οποία δεν θα δημιουργούν συσσωρεύσεις. Ο χρόνος παραμονής του στερεού μπορεί να είναι αρκετές ώρες, ενώ ο χρόνος παραμονής του αερίου είναι της τάξεως των δευτερολέπτων.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης

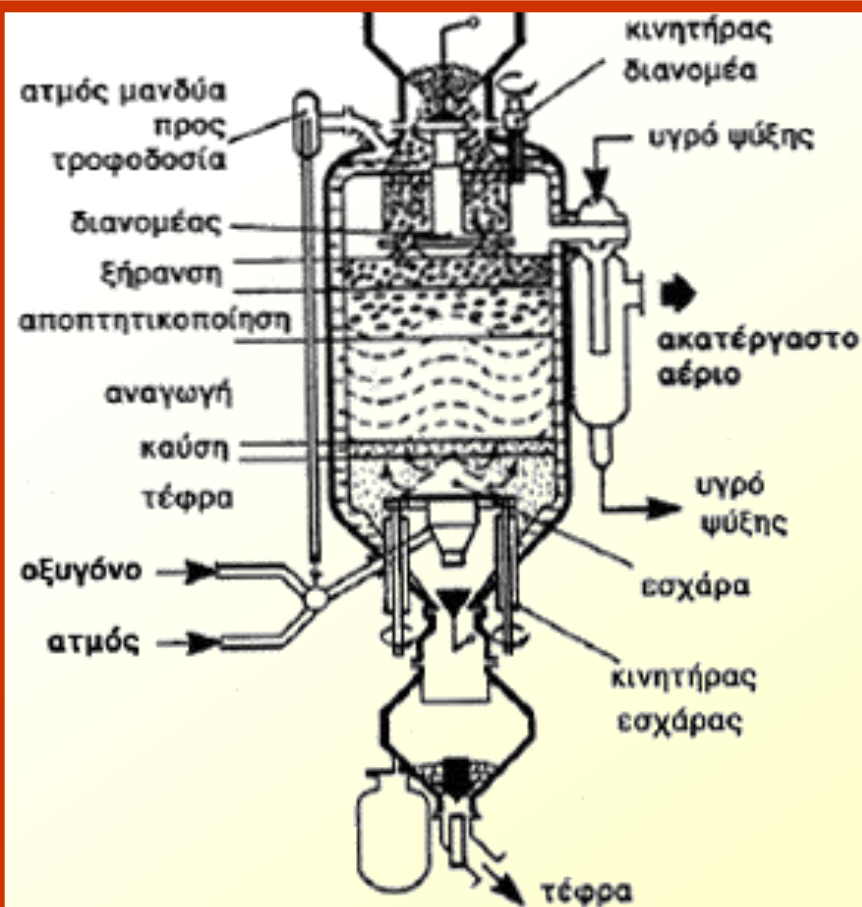
Τα προϊόντα αποπτητικοποίησης εκλύονται σε περιοχή σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών και έλλειψης ελεύθερου οξυγόνου, έτσι ώστε οι πίσσες, τα έλαια και οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες ούτε διασπώνται, ούτε οξειδώνονται, αλλά προστίθενται στο αέριο προϊόν.

Στην λειτουργία **με απομάκρυνση ρευστής σκωρίας**, όπου οι μέγιστες θερμοκρασίες είναι σημαντικά υψηλότερες (1500°C-1800°C) από αυτές στην λειτουργία χωρίς απομάκρυνση ρευστής σκωρίας (1200°C-1300°C), η συγκέντρωση οξυγόνου είναι υψηλότερη. Σαν αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται υψηλότερη παραγωγή, με χαμηλότερη κατανάλωση ατμού.

Η συνεχής παραγωγή νέου εξανθρακώματος έχει σαν αποτέλεσμα το πλεόνασμα του εξανθρακώματος ανακυκλοφορίας, το οποίο συνεχώς απομακρύνεται από το σύστημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επαφή άνθρακα και εξανθρακώματος κατά το στάδιο της μίξης αποτρέπει τον σχηματισμό συσσωματώσεων με αποτέλεσμα να **είναι εφικτή η διαχείριση ανθράκων που εμφανίζουν τάση συσσωμάτωσης.**

αντιδραστήρα διαμέσου σωλήνα μεταφοράς όπου και ανυψώνεται από καυσαέρια μαζί με ταυτόχρονη θέρμανση. Τα καυσαέρια παράγονται στον ίδιο τον σωλήνα μεταφοράς, στον οποίο προθερμαινόμενος αέρας προκαλεί μερική καύση του εξανθρακώματος.

Τέλος, εξανθράκωμα και καυσαέρια διαχωρίζονται και τα αέρια μετά τον καθαρισμό τους απομακρύνονται. Το θερμό εξανθράκωμα συλλέγεται σε δοχείο και επανέρχεται στον μίκτη για το κλείσιμο του κύκλου.



Εξαεριοτής τύπου Lurgi

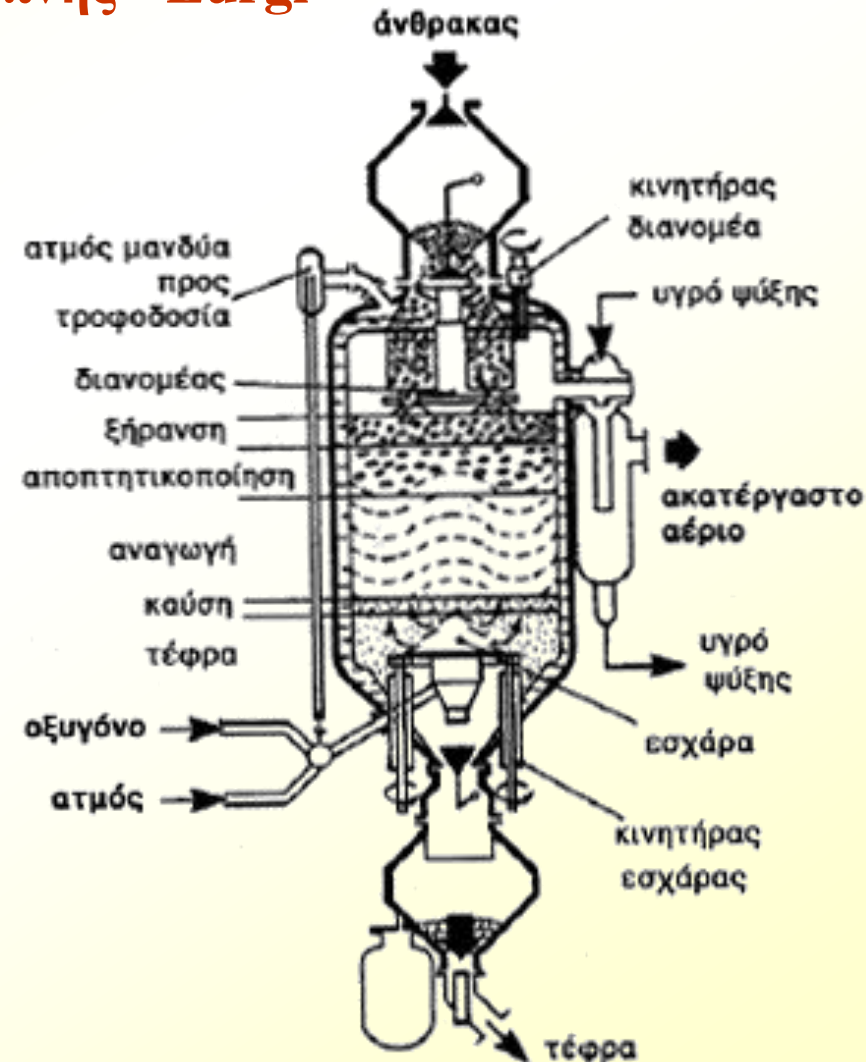


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής σταθερής κλίνης - Lurgi

Ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εξαεριωτών σταθερής κλίνης είναι η **τεχνολογία Lurgi**, η οποία αναπτύχθηκε από την εταιρία Lurgi Kohle und Minerolltechnik GmbH της Φρανκφούρτης, το 1936.

Η μονάδα αποτελείται από ένα κατακόρυφο υδρόψυκτο δοχείο πίεσης, όπου άνθρακας, τυπικών διαστάσεων 5-50 mm, μαζί με κάποιο μέσο μεταφοράς θερμότητας, όπως εξανθράκωμα υψηλής θερμοκρασίας, τροφοδοτούνται κατά διαστήματα από πάνω, μέσω ενός δοσομετρητή, και οδηγούνται ταυτόχρονα σε συσκευή ταχείας ανάμειξης επιτυγχάνοντας έτσι γρήγορη εξισορρόπηση της θερμοκρασίας των συστατικών του μίγματος.



Εξαεριωτής τύπου Lurgi



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης - Lurgi

Η κίνηση του άνθρακα ελέγχεται από ένα διανομέα, ή ένα μίκτη και μία περιστρεφόμενη εσχάρα. Ατμός και οξυγόνο (ή αέρας) εγχύονται μέσω μίας περιστρεφόμενης εσχάρας στον πυθμένα, η οποία χρησιμοποιείται ταυτόχρονα για την εξαγωγή της υπολειμματικής ξηρής τέφρας σε ένα άλλο δοσομετρητή.

Τα παραγόμενα **αέρια πυρόλυσης** απομακρύνονται από το αέριο του μίκτη, διέρχονται από κυκλώνα για την απομάκρυνση της σκόνης και τέλος οδηγούνται στη μονάδα συμπύκνωσης. Η παραγόμενη πίσσα υποβάλλεται σε διαδικασία απομάκρυνσης της σκόνης ενώ τελικά υδρογονώνεται προς παραγωγή μεγάλης ποικιλίας υγρών προϊόντων. Το αέριο, μετά τον καθαρισμό του έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 1800 kcal/m^3 (200 Btu/ft^3) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή υδρογόνου κατά το στάδιο υδρογόνωσης της πίσσας.



Εξαερίωση άνθρακα



Το αρχικό εξανθράκωμα, όπως και αυτό που παράγεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης, παραλαμβάνεται στον πυθμένα του αντιδραστήρα όπου και λαμβάνει χώρα επιπλέον εξισορρόπηση της θερμοκρασίας. Στη συνέχεια εξέρχεται του αντιδραστήρα διαμέσου σωλήνα μεταφοράς όπου και ανυψώνεται από καυσαέρια μαζί με ταυτόχρονη θέρμανση. Τα καυσαέρια παράγονται στον ίδιο τον σωλήνα μεταφοράς, στον οποίο προθερμαινόμενος αέρας προκαλεί μερική καύση του εξανθρακώματος.

Τέλος, εξανθράκωμα και καυσαέρια διαχωρίζονται και τα αέρια μετά τον καθαρισμό τους απομακρύνονται. Το θερμό εξανθράκωμα συλλέγεται σε δοχείο και επανέρχεται στον μίκτη για το κλείσιμο του κύκλου.

Η συνεχής παραγωγή νέου εξανθρακώματος έχει σαν αποτέλεσμα το πλεόνασμα του εξανθρακώματος ανακυκλοφορίας, το οποίο συνεχώς απομακρύνεται από το σύστημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επαφή άνθρακα και εξανθρακώματος κατά το στάδιο της μίξης αποτρέπει τον σχηματισμό συσσωματωμάτων με αποτέλεσμα να **είναι εφικτή η διαχείριση ανθράκων που εμφανίζουν τάση συσσωμάτωσης.**



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης - Lurgi

Μία κανονική μονάδα Lurgi έχει διάμετρο 4m και ονομαστική δυναμικότητα ξηρού αερίου 55.000 m³/h, που ισοδυναμεί με 600 t/d άνθρακα ελεύθερου από τέφρα και υγρασία.

Μία μεγαλύτερη μονάδα, διαμέτρου 5 m έχει ονομαστική δυναμικότητα ξηρού αερίου 85.000 m/h, που ισοδυναμεί περίπου με 1.000 t/d άνθρακα ελεύθερου από τέφρα και υγρασία.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης - Lurgi

Πάνω από 16 μονάδες Lurgi έχουν κατασκευασθεί σε όλον τον κόσμο. Οι πιο σημαντικές είναι οι τρεις μονάδες SASOL στην Νότια Αφρική. Οι μονάδες αυτές έχουν παραπάνω από 90 εξαεριωτές Lurgi, καταναλώνουν περίπου 90.000 t/d υποασφαλτούχου άνθρακα και παράγουν περίπου το 90% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής αερίου από άνθρακα. Το αέριο σύνθεσης χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή υγρού καυσίμου μεταφορών, μέσω της σύνθεσης Fischer-Tropsch. Όμως, ένα ευρύτερο μείγμα προϊόντων περιλαμβάνει βενζίνη, κλάσματα απόσταξης καύσιμου ελαίου, ελαφρές ολεφίνες, ελαφρές αλκοόλες, φαινόλες, πίσσες και αέριο πόλης.

Μία άλλη σημαντική μονάδα είναι το έργο "Great Plains Coal Gasification", κοντά στην Beulah, της North Dakota. Η μονάδα αυτή έχει 14 εξαεριωτές και έχει σχεδιασθεί για να παράγει 162.000 m³/h συνθετικού φυσικού αερίου το οποίο μπορεί να διατεθεί στο εμπόριο (SNG), από μία τροφοδοσία 12.000 t/d λιγνίτη.

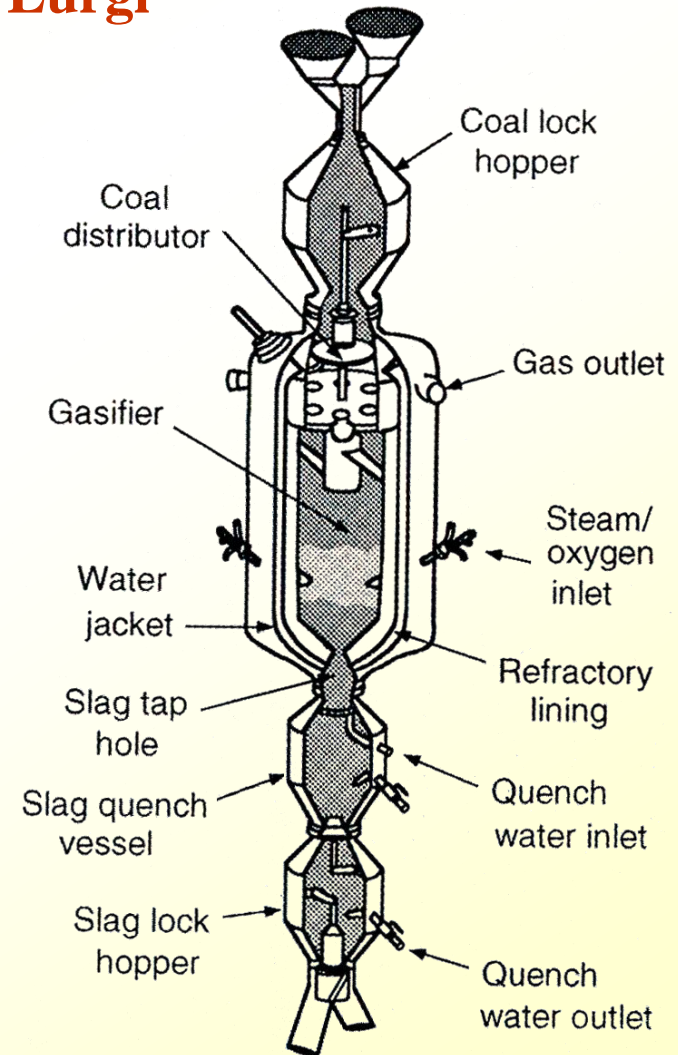


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής σταθερής κλίνης - Lurgi

Οι εταιρείες British Gas Corporation και Lurgi (BGILurgi) ανέπτυξαν έναν εξαεριωτή με δυνατότητα απομάκρυνσης της ρευστής σκωρίας, για να ξεπεράσουν τους περιορισμούς της λειτουργίας σε χαμηλή θερμοκρασία και να αποφύγουν, έτσι, την τήξη της τέφρας και την συσσωμάτωση.

Η μονάδα αυτή είναι σταθερής κλίνης, χρησιμοποιεί οξυγόνο και λειτουργεί υπό πίεση και υψηλές θερμοκρασίες, έτσι ώστε η ιπτάμενη τέφρα να λειώνει και να σχηματίζει υγρή σκωρία. Η σκωρία απομακρύνεται κατά διαστήματα από μία οπή στον πυθμένα της κλίνης, κάτω από την οποία ψύχεται με ύδωρ και απομακρύνεται μέσω ενός δοσομετρητή σκωρίας.



Εξαεριωτής Lurgi της BGC



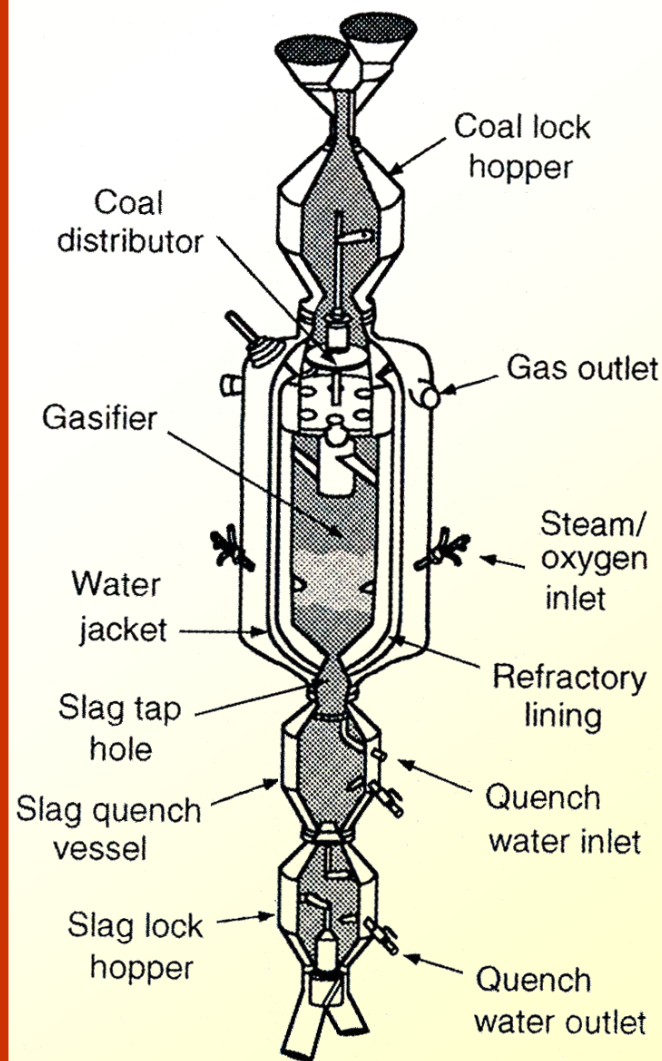
Εξαερίωση άνθρακα

Το αέριο προϊόν περνά μέσω μίας πλυντιρήδας ψυχόμενης με ύδωρ σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας.

Η σωματιδιακή ύλη και οι συμπυκνωμένες πίσσες ανακυκλώνονται στην κορυφή του εξαεριωτή, ή επανεισάγονται μέσω των αγωγών εμφύσησης. Τα λεπτά σωματίδια άνθρακα μπορούν επίσης να τροφοδοτηθούν μέσω των αγωγών εμφύσησης.

Το καθαρισμένο και ψυγμένο αέριο προϊόν, στην συνέχεια, υφίσταται αποθείωση σε ένα σύστημα απομάκρυνσης θείου. Το αέριο αυτό έχει μεγαλύτερη θερμαντική αξία από αυτό που παράγεται από την μονάδα ξηρής τέφρας, λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης ($\text{CO} + \text{H}_2$) στο αέριο σύνθεσης.

Η λειτουργία με απομάκρυνση ρευστής σκωρίας μειώνει σημαντικά την ποσότητα ατμού που πρέπει να παραχθεί.



Εξαεριωτής Lurgi της BGC



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης - Lurgi

Οι άνθρακες χαμηλής τάξης, καθώς δεν έχουν τάσεις συσσωμάτωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στους δύο τύπους του εξαεριωτή Lurgi, χωρίς μηχανικά μέσα ανάδευσης.

Οι εξαεριωτές Lurgi οι οποίοι χρησιμοποιούν οξυγόνο έχουν αποδειχθεί **κατάλληλοι για χρήση λιγνίτη**. Η απουσία τάσης συσσωμάτωσης των λιγνιτών καθιστά την μεταφορά τους μέσω του εξαεριωτή ευκολότερη, από ότι στην περίπτωση ανθράκων που έχουν τάση συσσωμάτωσης και η υψηλή τους αντιδραστικότητα επιτρέπει υψηλότερες παροχές, με σχεδόν πλήρη μετατροπή του άνθρακα. Επιπρόσθετα, ο ατμός ο οποίος παράγεται στον μανδύα ύδατος του εξαεριωτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την διεργασία και έτσι, ουσιαστικά, στο αέριο προϊόν συγκρατείται ένα ποσοστό 95% της δυναμικής ενέργειας του λιγνίτη. Οι χαμηλές θερμοκρασίες του αερίου (230-315°C) στην έξοδο του εξαεριωτή δεν επιτρέπουν την μεταφορά αλκαλίων.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Riley Morgan

Μία δεύτερη τεχνολογία εξαερίωσης σταθερής κλίνης είναι αυτή της Riley-Morgan. Ο πρώτος εξαεριωτής κυλινδρικής μορφής κατασκευάστηκε στις ΗΠΑ το 1880 από τον C.H. Morgan. Μέχρι το 1964 είχαν κατασκευαστεί παγκοσμίως πάνω από 9000 μονάδες του παραπάνω τύπου. Από το 1971 η Riley-Stoker Corporation απέκτησε τα αποκλειστικά δικαιώματα κατασκευής μονάδων εξαερίωσης τύπου Morgan.

Παράλληλα, έγιναν διάφορες τροποποιήσεις στον σχεδιασμό, όπως (α) αύξηση του ύψους του εξαεριωτή για τη διαχείριση ανθράκων με τάση συσσωμάτωσης, (β) εγκατάσταση πλευρικών τοιχωμάτων με νερό για την λειτουργία του εξαεριωτή υπό πίεση εξόδου έως 150 mbar και (γ) τοποθέτηση αναδευτήρων μεγάλου βάθους. Ο νέος τύπος εξαεριωτή που αναπτύχθηκε έγινε γνωστός με το όνομα Riley-Morgan και αποτελείται από υδρόψυκτο χαλύβδινο κέλυφος, πυρίμαχη επίστρωση στην κορυφή και στον πυθμένα, περιστρεφόμενο τύμπανο τέφρας και τον κύλινδρο που περιέχει την κλίνη του καυσίμου.

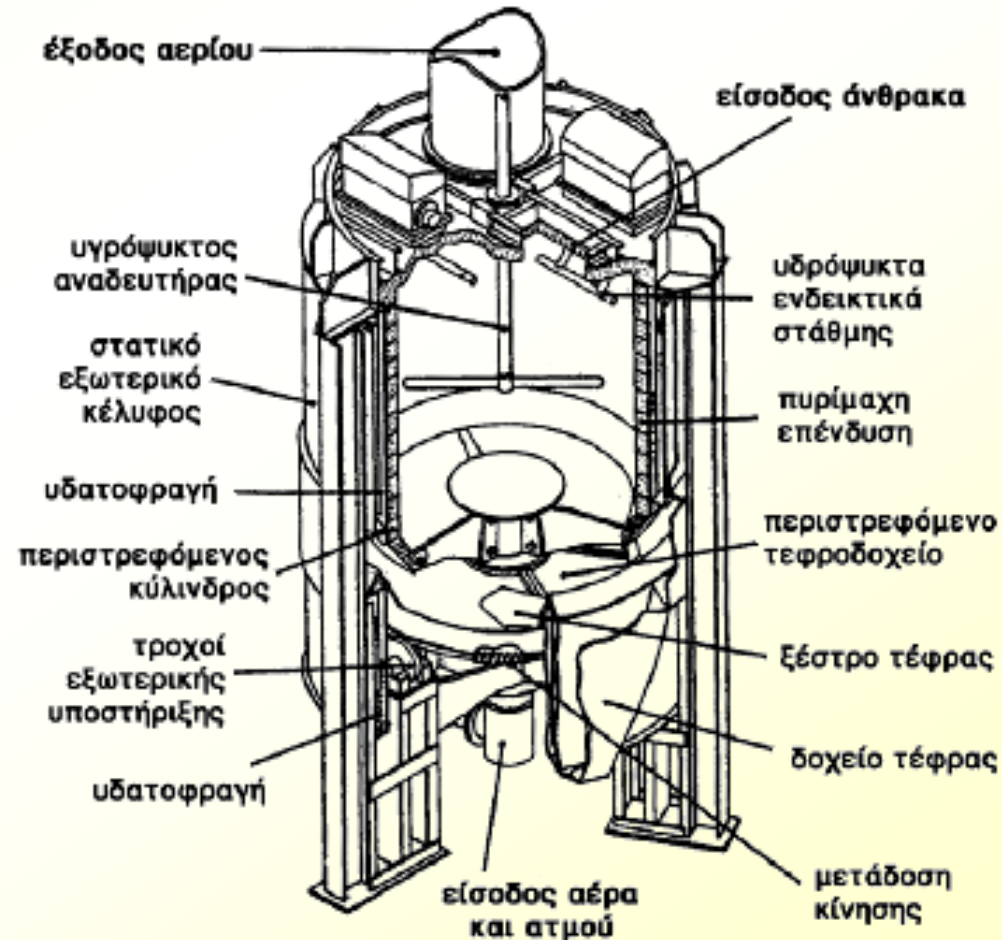


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Rilley Morgan

Ο άνθρακας τροφοδοτείται στην κορυφή της περιστρεφόμενης κλίνης και διανέμεται ομοιόμορφα με τη βοήθεια σταθερών βραχιόνων.

Αέρας (ή οξυγόνο) και ατμός εισάγονται στον πυθμένα του περιστρεφόμενου τυμπάνου τέφρας και κατανέμονται στην κλίση της τέφρας που ουσιαστικά στηρίζει την κλίση του καυσίμου. Η θερμοκρασία της ζώνης εξαερίωσης, που είναι περίπου 1150°C , διατηρείται κάτω από τη θερμοκρασία τήξης της τέφρας, η οποία απομακρύνεται περιοδικά.



Εξαεριωτής Rilley-Morgan



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Riley Morgan

Το παραγόμενο αέριο έχει θερμοκρασία 540-760°C και θερμογόνο δύναμη περίπου 1335 kcal/m³. Στην κορυφή της κλίνης παράγονται επίσης ποσότητες πίσσας που δημιουργούν προβλήματα στο σύστημα καθαρισμού του αερίου. Το αέριο υφίσταται ψύξη, αποθείωση, αποκονίωση και τέλος απομάκρυνση ελαφρών ελαίων.

Το κύριο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εξαεριωτή είναι **η χρήση υδρόψυκτου αναδευτήρα** που μπορεί να μετακινείται περιστροφικά και κάθετα στην κλίνη. Ένα τέτοιο σύστημα όχι μόνο αποτρέπει τη δημιουργία συσσωματωμάτων αλλά και οδηγεί στην παραγωγή αερίου ομοιόμορφης και σταθερής ποιότητας.

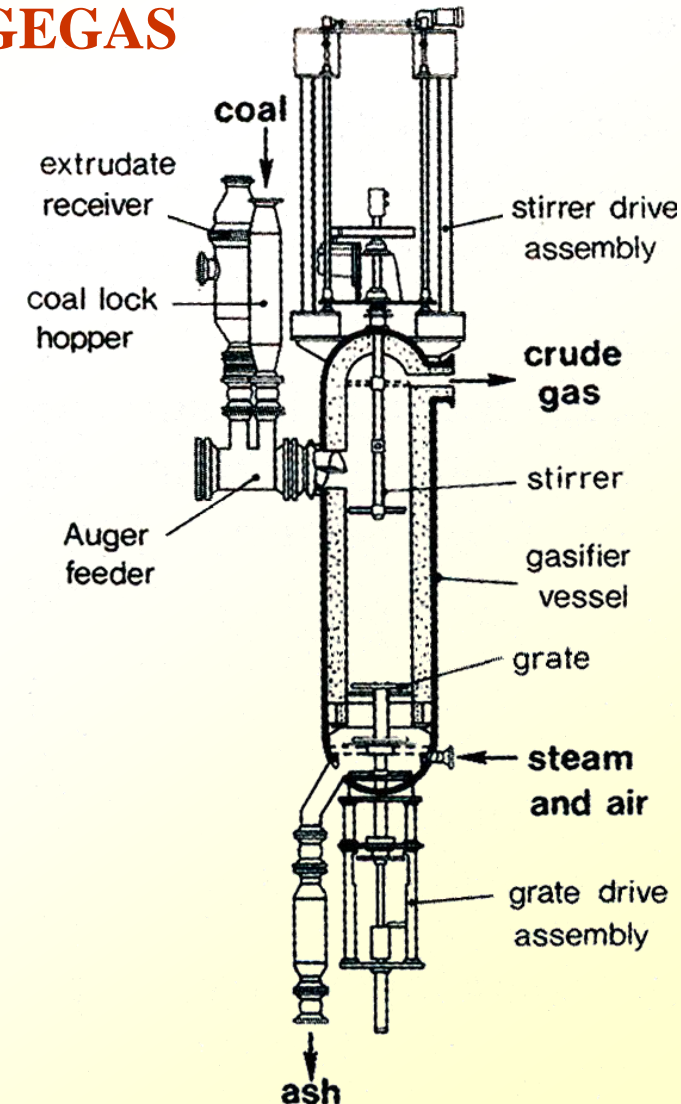


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – GEGAS

Η διεργασία της εταιρίας General Electric, GEGAS, είναι σχεδιασμένη για να επεξεργάζεται όλους τους τύπους άνθρακα, συμπεριλαμβανομένων και των λεπτόκοκκων, με μειωμένες απαιτήσεις σε ατμό. Το κύριο μέρος της εργασίας αφορά σε ένα εξαεριωτή, ο οποίος χρησιμοποιεί αέρα και παράγει αέριο μικρής θερμαντικής αξίας, κυρίως για χρήση σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου.

Ο πιλοτικός εξαεριωτής είναι σε θέση να λειτουργήσει σε πιέσεις μέχρι 2 MPa. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι ένα σύστημα τροφοδοσίας κοχλίου, ένα σύστημα ανάδευσης και ένας νέος σχεδιασμός της εσχάρας.

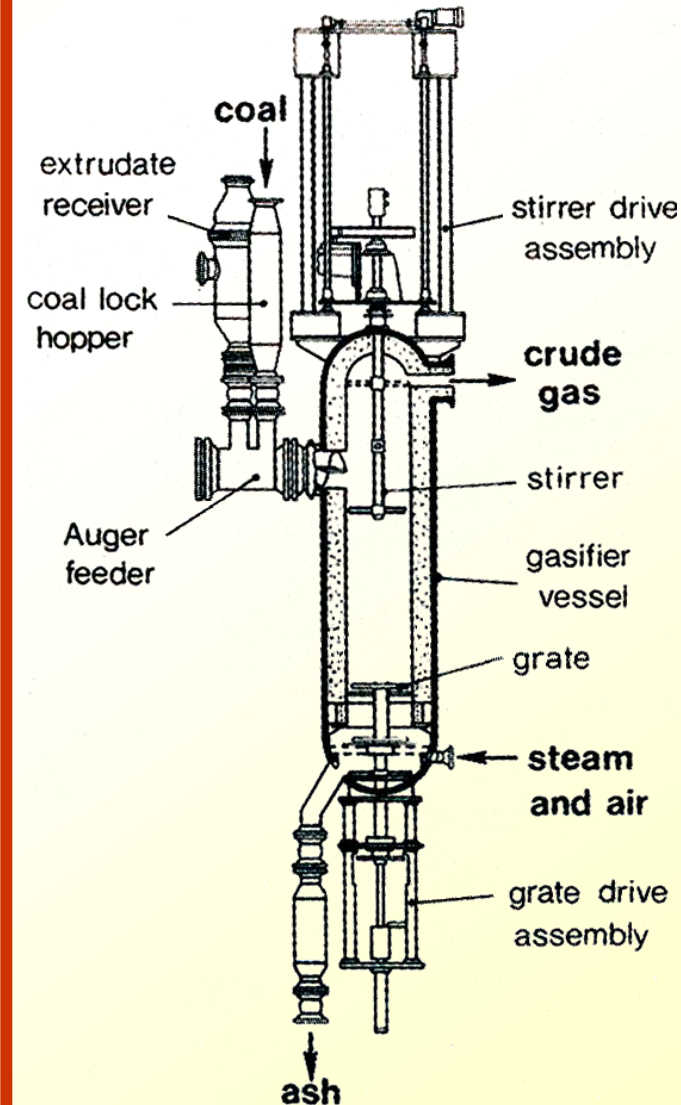


Ο εξαεριωτής GEGAS-D

Η κλίνη του άνθρακα διατηρείται στο κατάλληλο ύψος μέσω ενός ελικοειδούς συστήματος οριζόντιας τροφοδοσίας ή ενός τροφοδότη τύπου κοχλίου, στον οποίο παρέχεται άνθρακας από ένα δοσομετρητή.

Ένας υδρόψυκτος αναδευτήρας τριών λεπίδων, οποίος μπορεί να μετακινηθεί από την κορυφή της κλίνης μέχρι πολύ κοντά στην εσχάρα, περιστρέφεται, για να διασπάσει τις συσσωρεύσεις ανθράκων και να απομακρύνει τις επικαθίσεις από τον θόλο και τις περιοχές εξόδου των αερίων.

Η εσχάρα είναι εξοπλισμένη με ένα παρόμοιο περιστρεφόμενο αναδευτήρα ή έναν αναδευτήρα με πτερύγια, που διασπά το ελαφρά τηγμένο κλίνκερ και εκφορτώνει την τέφρα. Προθερμασμένος αέρας και ατμός εισέρχονται μέσω του κέντρου και πάνω από τις άκρες της εσχάρας. Η ανάδευση της κλίνης μειώνει την κατανάλωση ατμού κατά περίπου 30%, από τα αναγκαία κανονικά επίπεδα.



Ο εξαεριωτής GEGAS-D



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Wellman-Galusha

Ο εξαεριωτής Wellman-Galusha χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε εμπορική κλίμακα το 1941, στην Γερμανία και έχει την άδεια εμπορικής εκμετάλλευσης από την εταιρία McPowell-Wellman Engineering στο Ohio και την εταιρία Wellmen-Galusha στην Αγγλία.

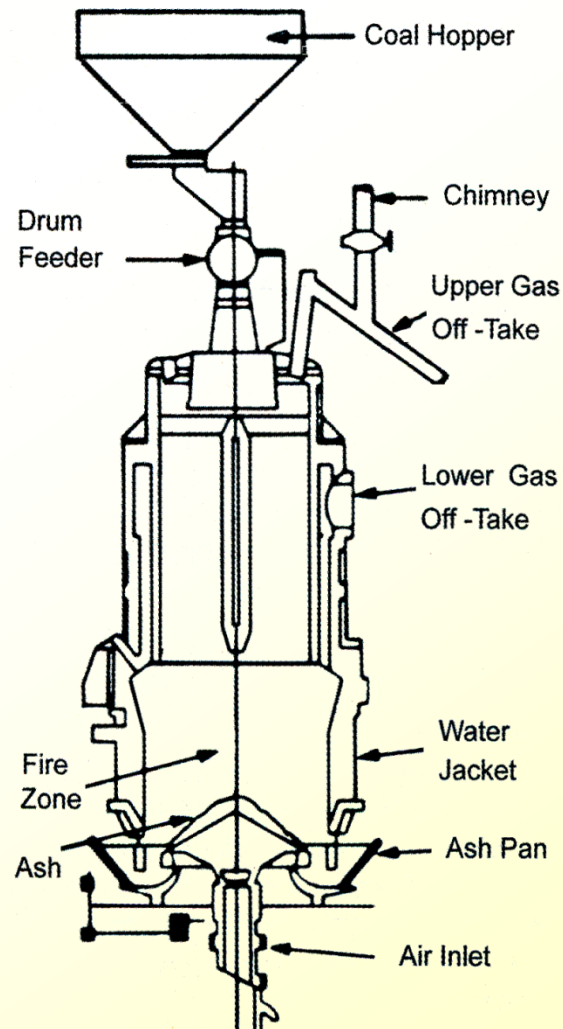
Είναι ένας αντιδραστήρας ατμοσφαιρικής πίεσης, που μπορεί να λειτουργήσει με ένα μέσο εξαερίωσης ατμού / αέρα ή ατμού/ οξυγόνου.

Το αέριο προϊόν, το οποίο απομακρύνεται από την κορυφή του δοχείου, βρίσκεται σε μία θερμοκρασία περίπου 480-650°C και μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα σαν αέριο καύσιμο, μετά την απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης.

Αποτελείται από ένα υδρόψυκτο δοχείο χάλυβα με διπλά τοιχώματα, διαμέτρου μεταξύ 1,8m και 3,6m, στο οποίο παρέχεται συνεχώς από μία χοάνη άνθρακα μεγέθους σωματιδίων πάνω από 6mm, με την βοήθεια ενός τροφοδότη περιστρεφόμενου τυμπάνου.

Η κλίση του καυσίμου μπορεί να αναδεύεται, ή και όχι. Η ανάδευση είναι απολύτως απαραίτητη, όταν πρόκειται για άνθρακες οι οποίοι έχουν τάσεις συσσωμάτωσης. Η χρήση, όμως, ανάδευσης μπορεί να επιτύχει επίσης αυξήσεις δυναμικότητας μέχρι και 35%.

Ο ατμός και ο αέρας εισέρχονται από αγωγούς εμφύσησης σε μία περιστρεφόμενη σχάρα βάσης, μέσω της οποίας η τέφρα απορρίπτεται ταυτόχρονα στον πυθμένα. Η τέφρα πρέπει να διατηρείται σε ξηρή μορφή, ρυθμίζοντας τον ρυθμό εισαγωγής του ατμού.



Απεικόνιση εξαεριωτή 2 σταδίων Wellman



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Wellman-Galusha

Το αέριο προϊόν, το οποίο απομακρύνεται από την κορυφή του δοχείου, βρίσκεται σε μία θερμοκρασία περίπου 480-650°C και μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα σαν αέριο καύσιμο, μετά την απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Wellman-Galusha

Όπως και οι εξαεριωτές Lurgi, οι εξαεριωτές Wellman-Gallusha δεν είναι σε θέση να διαχειρισθούν σωματίδια άνθρακα μικρότερα από 6,3mm. Επίσης, απαιτούν άνθρακες με θερμοκρασίες τήξης τέφρας πάνω από 1200°C και χρόνους παραμονής περίπου τεσσάρων ωρών, πράγμα που περιορίζει την ποσότητα τροφοδοσίας των αντιδραστήρων αυτών.

Οι εξαεριωτές ενός ή δύο σταδίων που είναι διαθέσιμοι, παράγουν μέχρι $233 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ καθαρού αερίου από μία τροφοδοσία άνθρακα 73 t/d, με θερμαντική αξία μεταξύ $4,56 \text{ MJ}/\text{m}^3$ και $6,07 \text{ MJ}/\text{m}^3$ αν χρησιμοποιείται αέρας, ή μεταξύ $10 \text{ MJ}/\text{m}^3$ και $25 \text{ MJ}/\text{m}^3$, αν χρησιμοποιείται οξυγόνο.

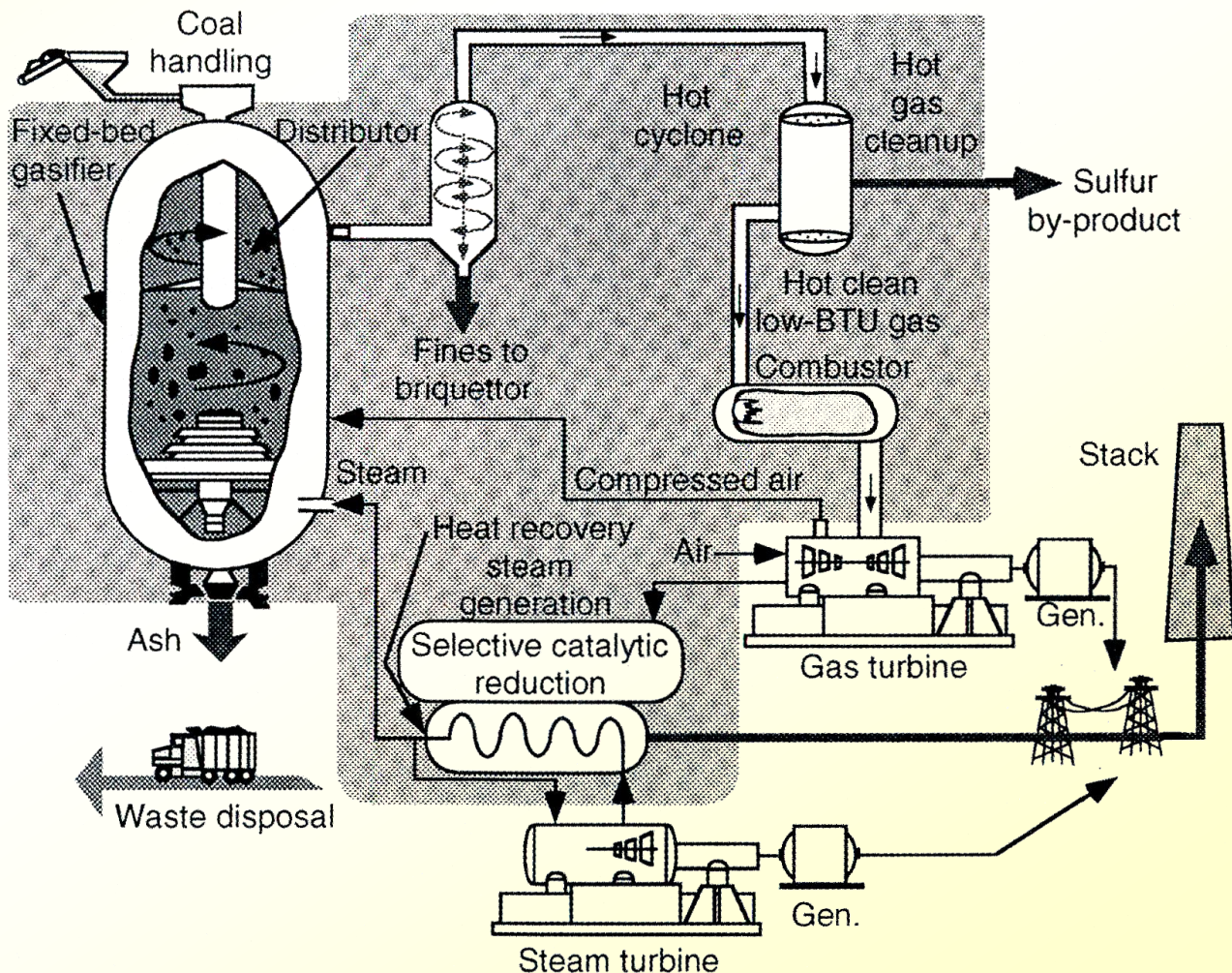
Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί πάνω από 25 μονάδες.



Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Έργο ολοκληρωμένης εξαερίωσης Συνδυασμένου Κύκλου της Tampa Electric

Οι στόχοι αυτής της διεργασίας "Καθαρού Άνθρακα" είναι η επίδειξη μίας τεχνολογίας ολοκληρωμένης εξαερίωσης συνδυασμένου κύκλου, σταθερής κλίνης, η οποία χρησιμοποιεί αέρα και η αξιολόγηση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας και της δυνατότητας συντήρησής της σε εμπορική κλίμακα.





Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Έργο ολοκληρωμένης εξαερίωσης Συνδυασμένου Κύκλου της Tampa Electric

Ο άνθρακας αεριοποιείται σε έναν αντιδραστήρα σταθερής κλίνης υπό πίεση, ο οποίος χρησιμοποιεί αέρα. Το χαμηλής θερμοαντικής αξίας αέριο εγκαταλείπει τον εξαεριωτή σε θερμοκρασία περίπου 540°C και κατευθύνεται σε ένα σύστημα καθαρισμού θερμών αερίων.

Η απομάκρυνση των ενώσεων του θείου ολοκληρώνεται σε μία κινούμενη κλίνη στερεού προσροφητή. Περίπου 1,27 t/d άνθρακα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο μετατρέπονται σε ένα αέριο μικρής θερμοαντικής αξίας. Το καθαρό αέριο χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου, για την παραγωγή ηλεκτρισμού 120MW.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής σταθερής κλίνης – Έργο ολοκληρωμένης εξαερίωσης Συνδυασμένου Κύκλου της Tampa Electric

Η πιλοτική μονάδα είναι εγκατεστημένη στον Θερμοηλεκτρικό Σταθμό της Tampa Electric στο Lakeland της Florida. Η συμφωνία συνεργασίας ξεκίνησε στις αρχές του 1991.

Ένα έργο 250MWe ξεκίνησε να λειτουργεί το 1996, με συνολική αποδοτικότητα 40%. Η διεργασία Tampa ήταν η πρώτη αντιρυπογόνος τεχνολογία εξαερίωσης συνδυασμένου κύκλου που τέθηκε σε εμπορική λειτουργία.

Ένα έργο 400MWe, διάρκειας 9 μηνών, προτάθηκε από την Βρετανική εταιρία RJB Mining Plc και την εταιρία Texaco, Inc. Η εταιρία Texaco, Inc. και η εταιρία ASEA Brown Boveri ήρθαν σε συμφωνία, για την από κοινού προώθηση της τεχνολογίας εξαερίωσης συνδυασμένου κύκλου στην Ευρώπη.



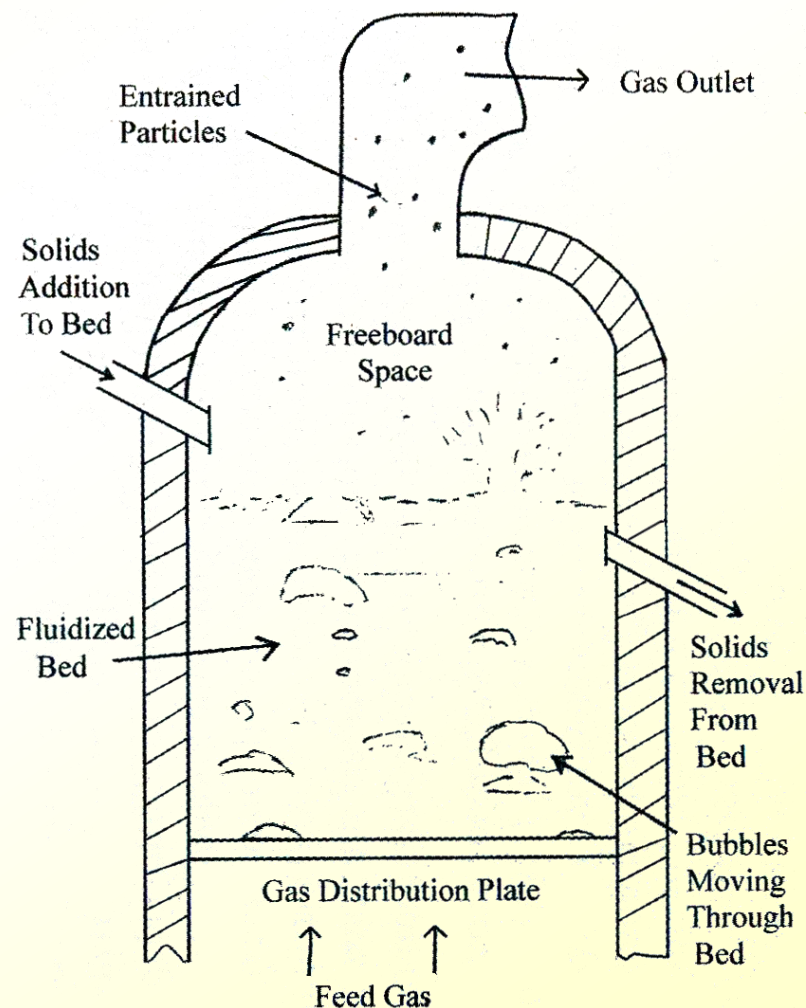
Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης

Σε μία ρευστοστερεά κλίνη, ο άνθρακας τροφοδοτείται σαν σκόνη, μεγέθους συνήθως μικρότερου από 3mm, η οποία στην συνέχεια διατηρείται σε κατάσταση αιώρησης συνεχούς τυχαίας κίνησης, από το μέσον εξαερίωσης.

Στο σύστημα αυτό, δεν είναι δυνατόν να διαμορφωθούν ζώνες αντίδρασης, όπως στην περίπτωση της σταθερής κλίνης, λόγω της έντονης ανάμειξης των στερεών σωματιδίων.

Αντίθετα, η ρευστοστερεά κατάσταση του στερεού έχει σαν αποτέλεσμα μία πολύ ομοιογενή κατανομή της θερμοκρασίας δια μέσου του όγκου αυτού του τυρβώδους στρώματος, έτσι ώστε οι αντιδράσεις εξαερίωσης να εκτελούνται πολύ πιο ομοιόμορφα.



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης

Η σύνθεση του αερίου μεταβάλλεται συνεχώς δια μέσου της κλίνης, αφού οι διεργασίες καύσης κυριαρχούν στο χαμηλότερο τμήμα της κλίνης και οι διεργασίες εξαερίωσης στο υψηλότερο. Η απανθράκωση δεν εξελίσσεται ξεχωριστά. Ο άνθρακας τροφοδοσίας θερμαίνεται πολύ γρήγορα στην θερμοκρασία αντίδρασης και τα όποια πτητικά εκλύονται, διασπώνται, έτσι ώστε το ακατέργαστο αέριο εξόδου του εξαεριωτή δεν περιλαμβάνει σχεδόν καθόλου πίσσα ή υδρογονάνθρακες.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης

Τα χαρακτηριστικά, τα οποία ευνοούν την εξαερίωση του άνθρακα, είναι

- η υψηλή αποδοτικότητα εναλλαγής θερμότητας,
- η ομοιόμορφη και μέτρια θερμοκρασία,
- ο υψηλός ειδικός ρυθμός εξαερίωσης,
- η ομοιομορφία των τελικών προϊόντων,
- η μεγάλη ευελιξία χρήσης για ένα μεγάλο εύρος συνθέσεων τροφοδοσίας και
- η δυνατότητα χειρισμού λεπτών σωματιδίων.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης

Όμως, η εξαερίωση ρευστοστερεάς κλίνης του άνθρακα έχει και διάφορα **μειονεκτήματα**.

Λόγω του διαβαθμισμένου αερίου ρεύματος, ένα σημαντικό μέρος των λεπτών σωματιδίων αναπόφευκτα μεταφέρεται σ' αυτό και κατά συνέπεια το περιεχόμενο σε σκόνη του ακατέργαστου αερίου είναι υψηλό. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα **διάβρωση, επικαθίσεις ή έμφραξη του περαιτέρω εξοπλισμού της μονάδας**, καθώς και απώλεια της θερμικής αποδοτικότητας, αν τα λεπτά σωματίδια συμπεριλαμβάνουν άνθρακα που δεν έχει αντιδράσει, ο οποίος δεν επιστρέφει στην κλίνη.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης

Επιπρόσθετα, μπορεί να δημιουργηθεί υγρή σκωρία και διάλυλοι, αν η αναλογία μήκους προς διάμετρο της κλίνης είναι υψηλή, η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων δεν είναι ευρεία, ή ο άνθρακας τροφοδοσίας δημιουργεί συσσωματώματα.

Παρά τον πολύ υψηλό βαθμό ανάδευσης της κλίνης, οι άνθρακες με τάσεις συσσωμάτωσης μπορούν να σχηματίσουν μεγάλα κομμάτια, μεταβάλλοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την μηχανική συμπεριφορά του ρευστού του συστήματος και μειώνοντας τον ρυθμό εξαερίωσης.

Ο ρυθμός παραγωγής αερίου επίσης μειώνεται, λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε τέφρα για την επίτευξη αποδεκτού βαθμού μετατροπής του άνθρακα.

Τέλος, η αισθητή θερμότητα των αερίων εξόδου, τα οποία είναι σε θερμική ισορροπία με το ομοιόμορφα αναμεμειγμένο στερεό στην θερμοκρασία εξαερίωσης, πρέπει να ανακτηθεί ξεχωριστά.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης

Οι άνθρακες χαμηλής τάξης έχουν πλεονεκτήματα έναντι των ανθράκων υψηλής τάξης για εξαερίωση σε συστήματα ρευστοστερεάς κλίνης, λόγω της υψηλότερης αντιδραστικότητάς τους και της έλλειψης τάσης για συσσωμάτωση.

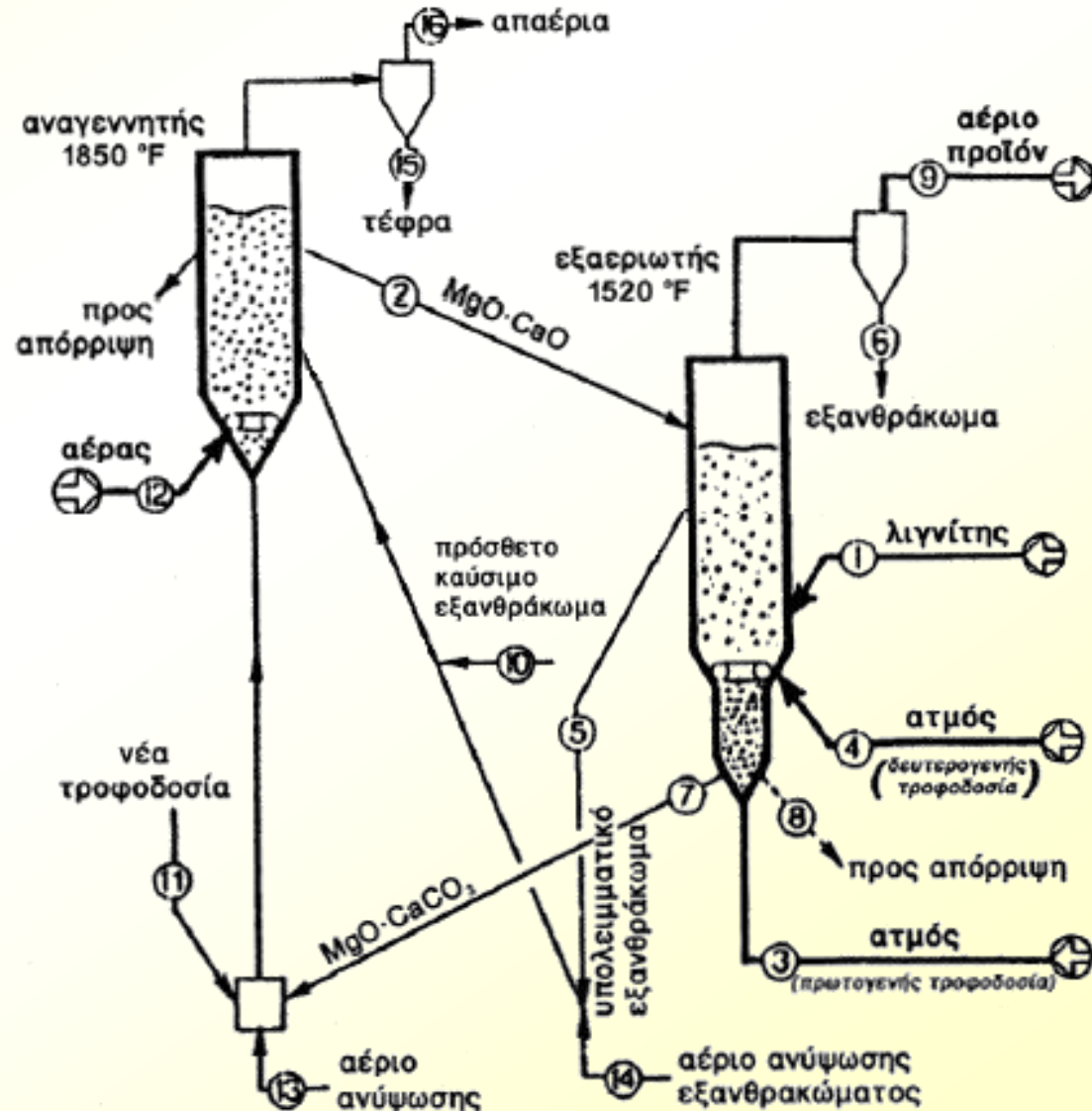


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Διεργασία CO₂-acceptor

Μία αντιπροσωπευτική τεχνολογία της κατηγορίας αυτής είναι η διεργασία γνωστή ως **CO₂-acceptor** που ανέπτυξε η εταιρεία Conoco Coal Development Company στις αρχές της δεκαετίας του '60.

Στη διεργασία αυτή χρησιμοποιούνται **2 αντιδραστήρες ρευστοστερεάς κλίνης**, δηλαδή ένας **εξαεριωτής** και μία **μονάδα αναγέννησης**, οι οποίοι λειτουργούν παράλληλα και σε πίεση 10 bar.



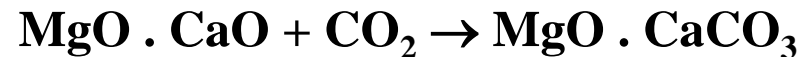
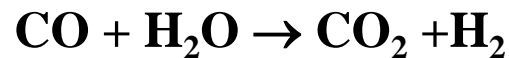


Εξαερίωση άνθρακα



Λιγνίτης ή υποβιτουμινικός άνθρακας τροφοδοτείται στον εξαεριωτή σε θερμοκρασία 800-845°C, όπου μετά από ταχεία αποπτητικοποίηση, ο μόνιμος άνθρακας εξαεριώνεται με ατμό. Η απαιτούμενη θερμότητα για την εξαερίωση εξασφαλίζεται από ένα ρεύμα ανακύκλωσης ασβεστολίθου ή δολομίτη (αποδέκτης) από τη μονάδα αναγέννησης στην κορυφή της ρευστής κλίνης του εξαεριωτή, ενώ ο ατμός εισάγεται στον πυθμένα.

Η αποπτητικοποίηση και εξαερίωση λαμβάνουν χώρα παρουσία ατμού, CO, H₂ και του αποδέκτη:



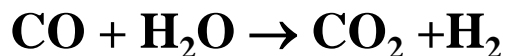
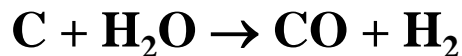
Καθώς οι αντιδράσεις αυτές προχωρούν, μεγάλο μέρος του δολομίτη που έχει καταναλωθεί, καθώς είναι βαρύτερος από το μερικώς εξαεριωμένο εξανθράκωμα, κινείται προς τον πυθμένα της κλίνης.



Εξαερίωση άνθρακα



Από το πάνω μέρος της κλίνης, το εξανθράκωμα το οποίο δεν καταναλώθηκε προωθείται προς τον εξαεριωτή, όπου έρχεται σε επαφή με ατμό και περισσότερο διαπυρωμένο δολομίτη:



Τα αέρια προϊόντα τα οποία προκύπτουν, επιστρέφουν στον εξαεριωτή, από όπου εξέρχονται τελικά σαν ακατέργαστο αέριο σύνθεσης και μετά από καθαρισμό τροφοδοτούνται σε μια κλίνη με πληρωτικό υλικό για παραγωγή CH_4 .

Το εξανθράκωμα, το οποίο δεν έχει αντιδράσει, μαζί με τον καταναλωθέντα δολομίτη από τον εξαεριωτή, τροφοδοτούνται στην μονάδα αναγέννησης, όπου το εξανθράκωμα καίγεται στους 1065°C και η θερμότητα χρησιμοποιείται για την ασβεστοποίηση του δολομίτη, πριν αυτός ανακυκλωθεί.

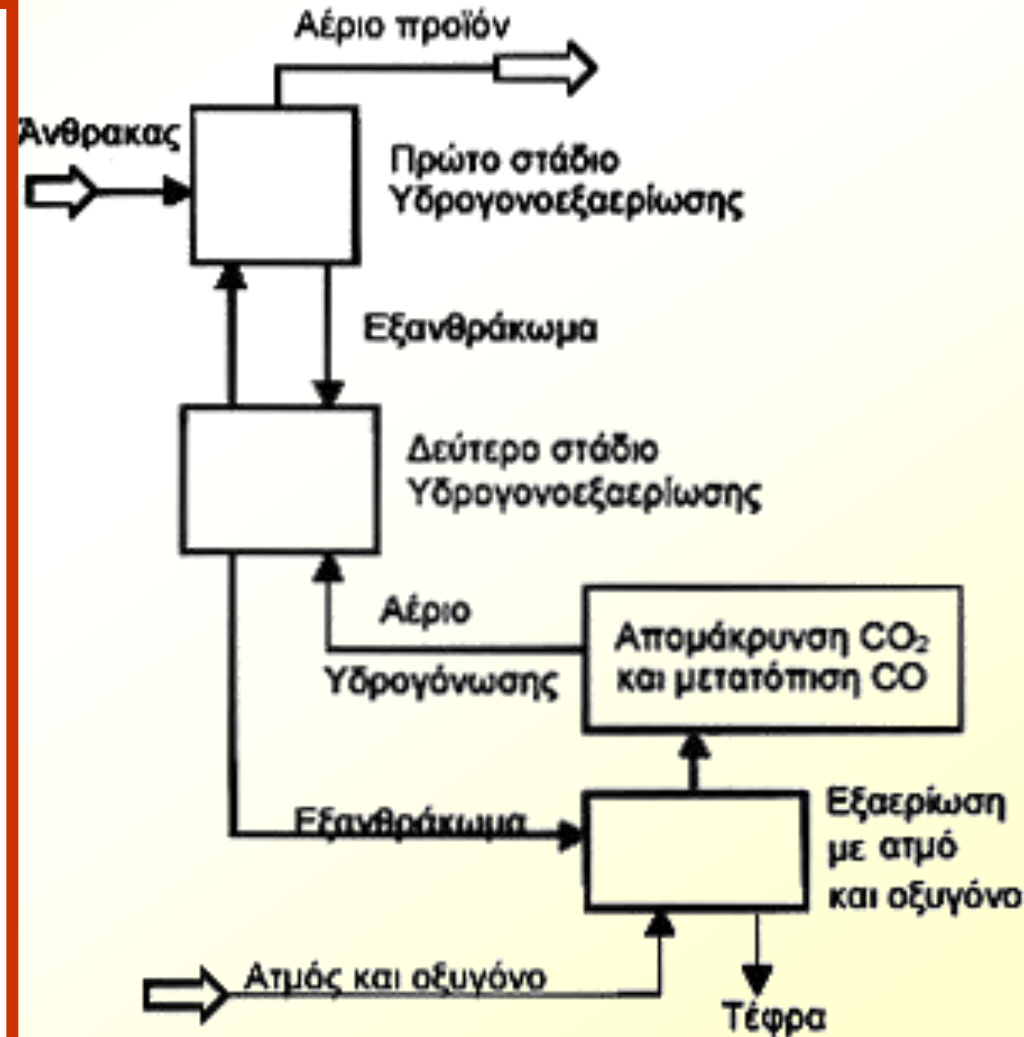


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – British Gas

Για τα δύο παραπάνω στάδια προτείνονται ρευστοστερεές κλίνες με εσωτερική ανακύκλωση των στερεών που σκοπό έχουν τόσο τη ρύθμιση της θερμοκρασίας όσο και την αποφυγή συσσωμάτωσης στο σημείο εισαγωγής άνθρακα-εξανθρακώματος

Το υπολειμματικό εξανθράκωμα από το δεύτερο στάδιο εξαεριώνεται σε μία ξεχωριστή ρευστοστερεά κλίνη με ατμό ή οξυγόνο προς παραγωγή του αερίου υδρογόνωσης των δύο σταδίων υδρογονοεξαερίωσης.



Υδρογονοεξαερίωση άνθρακα της British Gas



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – British Gas

Στο δεύτερο στάδιο λαμβάνουν χώρα βραδείες αντιδράσεις περαιτέρω υδρογόνωσης υπολειμματικού εξανθρακώματος από το πρώτο στάδιο, σε θερμοκρασία 900-950°C, με ρυθμό αντίδρασης ανάλογο της μερικής πίεσης του υδρογόνου.

Η ύπαρξη του δεύτερου σταδίου επιτρέπει την επίτευξη ισορροπίας της αντίδρασης άνθρακα-υδρογόνου χωρίς παρεμπόδιση από το μεθάνιο που παράγεται κατά την υδρογονοεξαερίωση των πτητικών.

Για τα δύο παραπάνω στάδια προτείνονται ρευστοστερεές κλίνες με εσωτερική ανακύκλωση των στερεών που σκοπό έχουν τόσο τη ρύθμιση της θερμοκρασίας όσο και την αποφυγή συσσωμάτωσης στο σημείο εισαγωγής άνθρακα-εξανθρακώματος

Το υπολειμματικό εξανθράκωμα από το δεύτερο στάδιο εξαεριώνεται σε μία ξεχωριστή ρευστοστερεά κλίνη με ατμό ή οξυγόνο προς παραγωγή του αερίου υδρογόνωσης των δύο σταδίων υδρογονοεξαερίωσης.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – HYGAS

Η διεργασία Hygas αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Άνθρακα στα τέλη της δεκαετίας του 1960, με χρηματοδότηση του Αμερικανικού Συνδέσμου Αερίων και του Τμήματος Έρευνας Ανθράκων.

Η αρχική πιλοτική δοκιμή ενός συστήματος 75 t/d ξεκίνησε το 1974. Έχει σχεδιασθεί μία μονάδα επίδειξης, η οποία χρησιμοποιεί 7500 t/d άνθρακα για την παραγωγή 2,4 M³/d αερίου και 1000 b/d ελαφρών ελαίων. Η εμπορική μονάδα θα έχει ονομαστική δυναμικότητα 7M³ συνθετικού φυσικού αερίου (SNG).

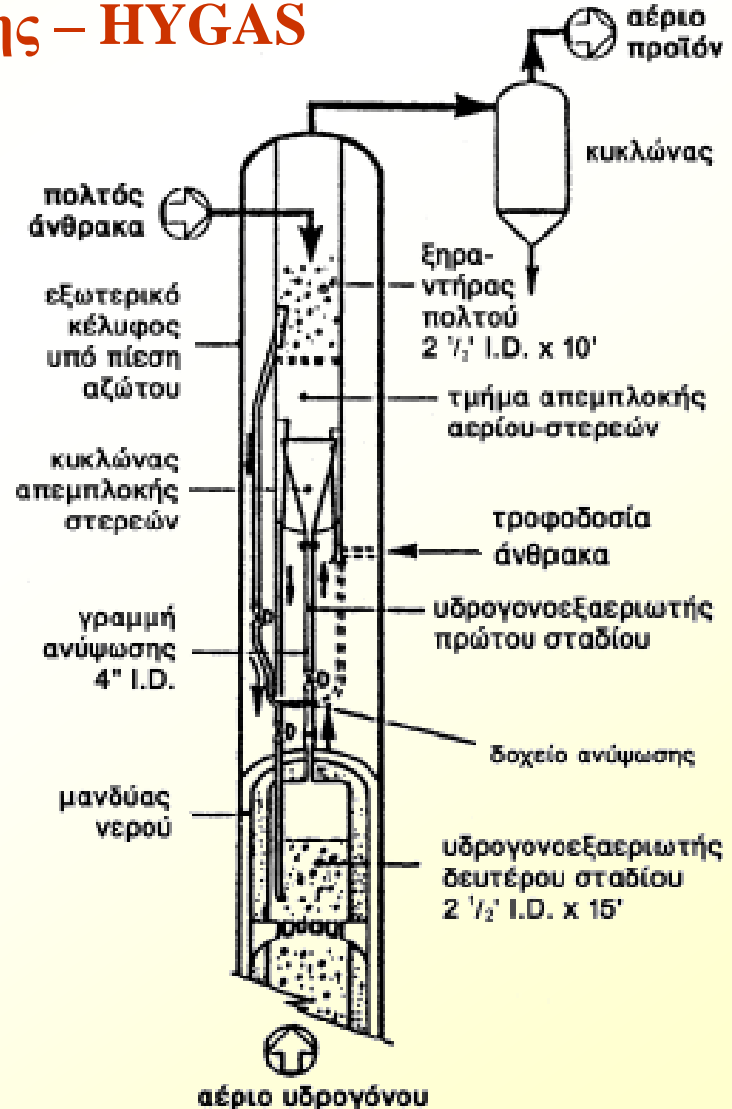


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – HYGAS

Ο εξαεριωτής αποτελείται από ένα σύστημα ρευστοστερεάς κλίνης πολλαπλών σταδίων, όπου οι αντιδράσεις υδρογόνωσης ευνοούνται από την υδρογονοεξαερίωση του πλέον αντιδραστικού κλάσματος του άνθρακα σε υψηλή πίεση για παραγωγή CH_4 , ενώ το υπολειπόμενο κλάσμα χρησιμοποιείται για την παραγωγή του απαιτούμενου υδρογόνου.

Στον υδρογονοεξαεριωτή η θερμότητα της εξώθερμης αντίδρασης υδρογόνωσης του άνθρακα ελέγχεται με την βοήθεια της ενδόθερμης αντίδρασης αμού-άνθρακα, αντίδραση η οποία υποβοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας του υδρογονοεξαεριωτή και οδηγεί σε επιπλέον παραγωγή υδρογόνου.



Υδρογονοεξαεριωτής HYGAS



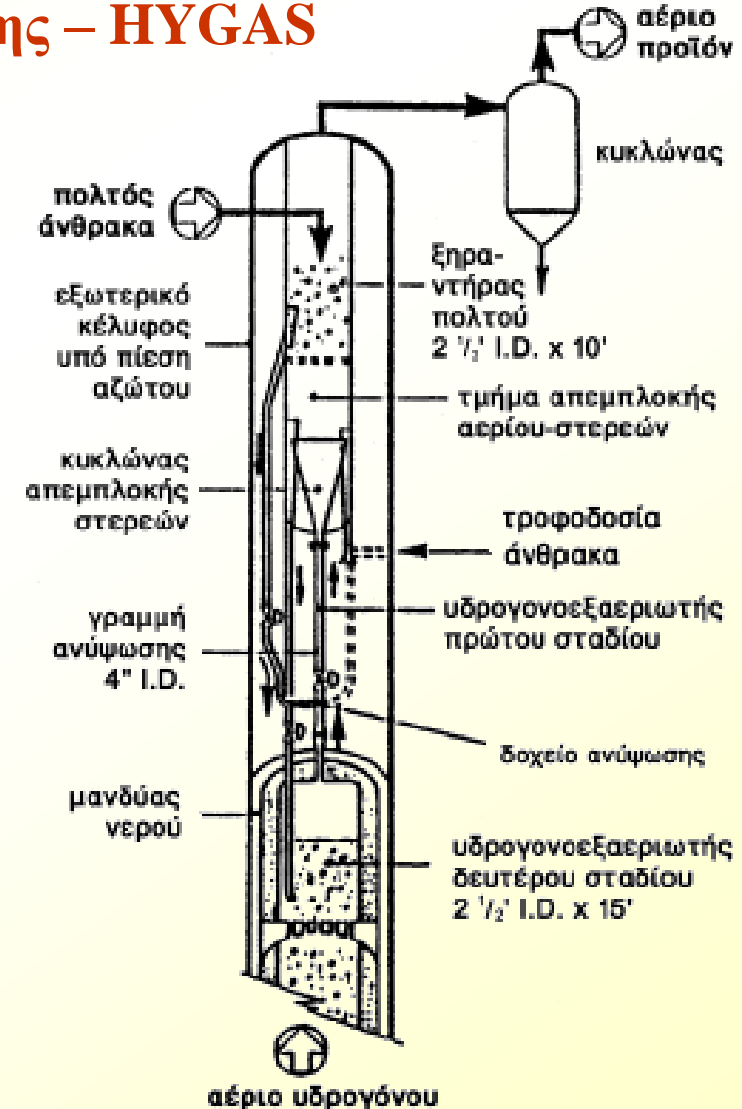
Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – HYGAS

Για την παραγωγή του μέσου εξαερίωσης στον υδρογονοεξαεριωτή έχουν προταθεί τρεις εναλλακτικές μέθοδοι:

- ηλεκτροχημική εξαερίωση,
- μέθοδος ατμού-σιδήρου και
- εξαερίωση με ατμό και οξυγόνο.

Κάθε μία από τις μεθόδους αυτές παράγει αέρια μέσα υδρογόνωσης με διαφορετικές συστάσεις υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα, και συνεπώς η επιλογή της μεθόδου επηρεάζει άμεσα την απόδοση της υδρογονοεξαερίωσης.



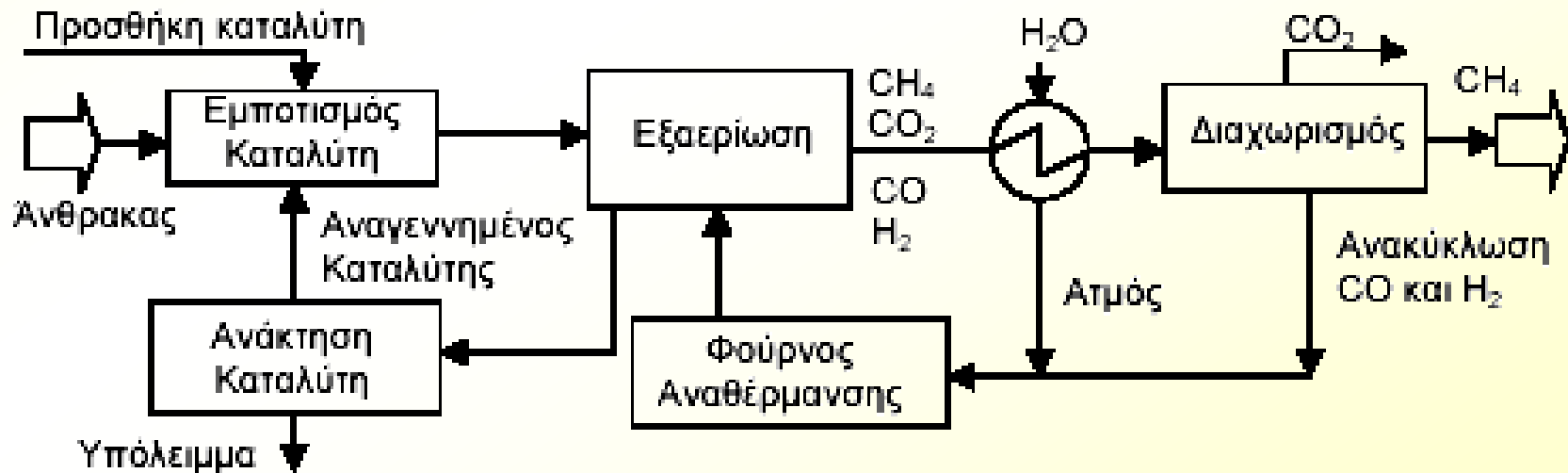
Υδρογονοεξαεριωτής HYGAS



Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – EXXON

Μία άλλη τεχνολογία εξαερίωσης ρευστοστερεάς κλίνης αναπτύχθηκε από την Exxon. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, όλα τα είδη ανθράκων μπορούν να εξαεριωθούν με ατμό σε ρευστοστερεές κλίνες θερμοκρασίας 815-925°C. Η θερμότητα που απαιτείται για την εξαερίωση εξασφαλίζεται από ένα ρεύμα ανακυκλούμενου εξανθρακώματος. Το εξανθράκωμα απομακρύνεται συνεχώς από τον εξαεριωτή και επαναθερμαίνεται σε μονάδα εξωτερικής καύσης. Το θερμό εξανθράκωμα, μετά τον διαχωρισμό του από το καύσιμο αέριο, επιστρέφει στον εξαεριωτή.



Διεργασία καταλυτικής εξαερίωσης Exxon



Εξαερίωση άνθρακα



Σε επιστημονικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί από την Exxon έχει αποδειχθεί ότι η εξαερίωση του άνθρακα διευκολύνεται από την ύπαρξη καταλυτών, με έμφαση **στη χρήση αλκαλικών αλάτων** (π.χ. K_2CO_3).

Κατά την μέθοδο αυτήν η εξαερίωση επιτυγχάνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (650-760°C) με **ανακύκλωση στον εξαεριωτή του μονοξειδίου του άνθρακα και του υδρογόνου** που ανακτώνται από το παραγόμενο αέριο. Η ικανότητα αλκαλικών αλάτων να αυξάνουν τις ταχύτητες εξαερίωσης είναι αρκετά γνωστή ενώ χρησιμοποιούνται και σε άλλες διεργασίες.

Το κρίσιμο σημείο για τη μέθοδο είναι η ρύθμιση του ρεύματος ανακύκλωσης, ούτως ώστε το ίδιο ποσό CO και H_2 να εξέρχεται και να εισέρχεται στον εξαεριωτή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την παραγωγή αερίου μίγματος CO_2 και CH_4 μαζί με ίχνη H_2S και NH_3 . Το παραγόμενο αέριο ψύχεται και στη συνέχεια διαχωρίζεται σε ένα μεγάλο αριθμό ρευμάτων, δηλαδή στο παραγόμενο ρεύμα μεθανίου, στο διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, στα παραπροϊόντα υδροθείου και αμμωνίας και στο μίγμα υδρογόνου-μονοξειδίου του άνθρακα που ανακυκλώνεται στον εξαεριωτή.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – EXXON

Μέρος των διαχωρισμών επιτυγχάνεται με κρυογενικό τρόπο. Το υπόλειμμα τέφρας-εξανθρακώματος από τον εξαεριωτή διέρχεται από μία μονάδα ανάκτησης του καταλύτη, όπου η μεγαλύτερη ποσότητα καταλύτη ανακτάται με έκπλυση με νερό και ανακυκλώνεται.

Ο ρυθμός με τον οποίο πρέπει να ανακυκλωθεί εξαρτάται άμεσα από τις συνθήκες λειτουργίας. Για τυπικές τιμές λειτουργίας εμπορικών ρευστοστερεών κλινών (35 bar, 700°C και 40-60% βαθμό μετατροπής), ο ρυθμός ανακύκλωσης είναι περίπου 1 με 1,5 φορές μεγαλύτερος από τον ρυθμό παραγωγής μεθανίου. Έχει διαπιστωθεί ότι η προσθήκη καταλυτών ελαττώνει την τάση για συσσωμάτωση και επιταχύνει τις αντιδράσεις παραγωγής μεθανίου σε σχετικά ήπιες θερμοκρασίες (700°C).

Συγκριτικά με συμβατικές θερμικές μονάδες, η Exxon ισχυρίζεται ότι η καταλυτική εξαερίωση του άνθρακα παρουσιάζει μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη απόδοση.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Έργο Παραγωγής Ισχύος με μονάδα IGCC της Pinon Pine

Η διεργασία αυτή, στην μονάδα Tracy της Sierra Pacific Power στο Rens της Nevada, αναπτύχθηκε υπό την αιγίδα του "Προγράμματος Καθαρών Τεχνολογιών ανθράκων" και είναι αντιπροσωπευτική των διεργασιών ρευστοστερεάς κλίνης.

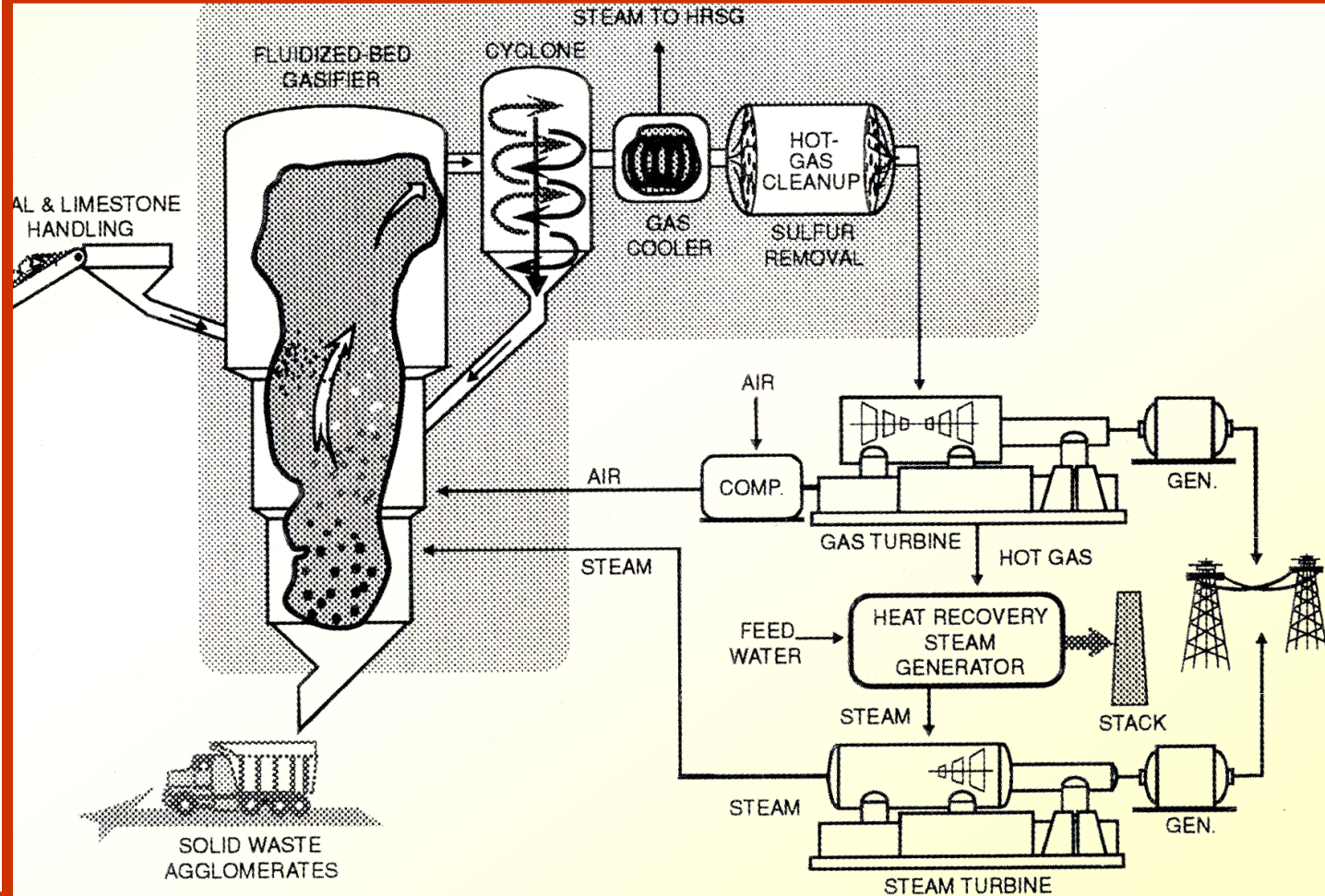
Οι στόχοι είναι η επίδειξη της τεχνολογίας ρευστοστερεάς κλίνης με χρήση αέρα και σύστημα καθαρισμού των θερμών αερίων, για την αξιολόγηση αφ' ενός ενός στροβίλου καύσης αερίου χαμηλής θερμοαντικής αξίας και αφ' ετέρου της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας, της δυνατότητας συντήρησης και της περιβαλλοντικής της απόδοσης σε εμπορική κλίμακα.

Στον εξαεριωτή τροφοδοτείται, επίσης, θραυσμένος ασβεστόλιθος για την απορρόφηση του θείου και για να αποφευχθεί η μετατροπή του καυσίμου αζώτου σε αμμωνία. Το αέριο προϊόν περνά δια μέσου **κυκλώνων**, για την απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης και δια μέσου

ροφητή σιδηρούχου ψευδαργύρου, ενός συστήματος καθαρισμού οξείδωσης του εναπομένου θείου.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι εκπομπές NO_x και SO₂ περιορίστηκαν κατά 94% και 90%, αντίστοιχα.

Το καθαρό, μικρής θερμαντικής αξίας αέριο χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου, έναν αεριοστρόβιλο και ένα στρόβιλο ατμού, για την παραγωγή 95MWe, από περίπου 900 t/d άνθρακα.



Η Διεργασία Pinon Pine IGCC



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Έργο Παραγωγής Ισχύος με μονάδα IGCC της Pinon Pine

Στον εξαεριωτή τροφοδοτείται, επίσης, θραυσμένος ασβεστόλιθος για την απορρόφηση του θείου και για να αποφευχθεί η μετατροπή του καυσίμου αζώτου σε αμμωνία. Το αέριο προϊόν περνά δια μέσου **κυκλώνων**, για την απομάκρυνση της σωματιδιακής ύλης και δια μέσου μίας **σταθερής κλίνης προσροφητή σιδηρούχου ψευδαργύρου**, ενός συστήματος καθαρισμού θερμών αερίων, για την απομάκρυνση του εναπομένου θείου.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι εκπομπές NO_x και SO₂ περιορίστηκαν κατά 94% και 90%, αντίστοιχα.

Το καθαρό, μικρής θερμαντικής αξίας αέριο χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου, έναν αεριοστρόβιλο και ένα στρόβιλο ατμού, για την παραγωγή 95MWe, από περίπου 900 t/d άνθρακα.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Έργο Παραγωγής Ισχύος με μονάδα IGCC της Pinon Pine

Το έργο παραγωγής ισχύος με μονάδα IGCC της Pinon Pine επελέγη από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ στο τέλος του 1991 και τέθηκε σε εμπορική λειτουργία το 1997.

Το σύστημα αυτό είναι σε θέση να αεριοποιήσει όλους τους τύπους άνθρακα, με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Είναι κατάλληλο για νέες μονάδες παραγωγής ενέργειας, ή για τις ανάγκες αναβάθμισης μίας μονάδας, ή για εφαρμογές συμπαραγωγής.

Ο καθαρός ρυθμός παραγωγής θερμότητας, μίας νέας μονάδας η οποία χρησιμοποιεί την τεχνολογία αυτή, εκτιμάται σε 8,2 MJ/kWh, κάτι που αντιπροσωπεύει μία **αύξηση της θερμικής αποδοτικότητας της τάξης του 20%**, σε σύγκριση με τις συμβατικές μονάδες κονιοποιημένου άνθρακα.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Έργο Kobra

Το 1990, η RWE Energie Ab αποφάσισε να χρησιμοποιήσει την διεργασία HTW της Rheinbraun, για την κατασκευή μίας μονάδας παραγωγής ισχύος συνδυασμένου κύκλου με ολοκληρωμένη εξαερίωση ανθράκων (Kobra).

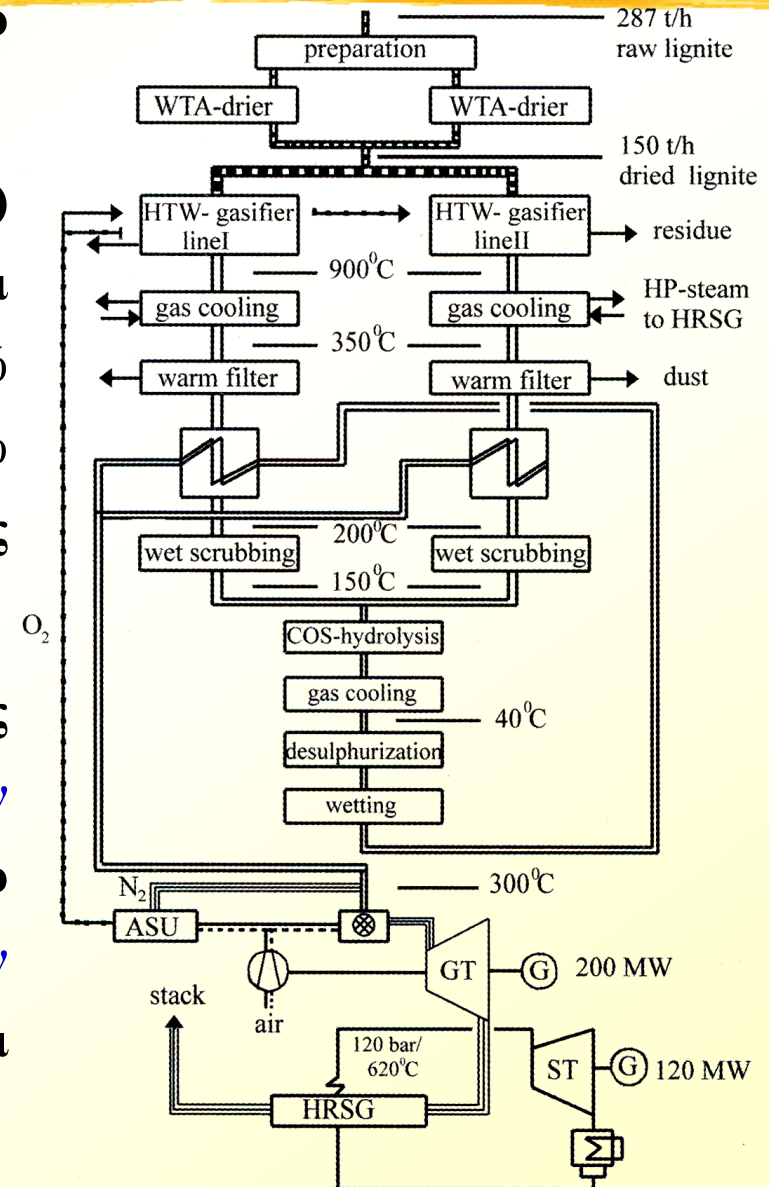


Εξαερίωση άνθρακα

Η συνολική μονάδα αποτελείται από τα παρακάτω κύρια τμήματα:

α) προετοιμασία του λιγνίτη και του τομέα ξήρανσης, β) νήσο αερίου, γ) αποθείωση ακατέργαστου αερίου και τμήμα ύγρανσης καθαρού αερίου, δ) ύγρανση καθαρού καύσιμου αερίου, ε) σύστημα αεριοστροβίλου δυναμικότητας 200MW με λέβητα ανάκτησης θερμότητας και στ) σύστημα στροβίλου ατμού.

Οι κυριότερες εγκαταστάσεις, έξω από την κυρίως μονάδα, είναι το **σύστημα κατεργασίας αποβλήτων υδάτων**, το **σύστημα παροχής αδρανούς αερίου** και το **σύστημα χοανών απόρριψης και μεταφοράς των υπολειμμάτων της εξαερίωσης** (προϊόν πυθμένα και συλλογή σκόνης στο φίλτρο θερμού αερίου).





Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Έργο Kobra

Η μονάδα επίδειξης σχεδιάστηκε για συνολική παροχή περίπου 320MW, χρησιμοποιώντας οξυγόνο σαν μέσο εξαερίωσης και περίπου 340 MW, χρησιμοποιώντας αντίστοιχα αέρα.

Ας σημειωθεί ότι μία επιπρόσθετη ισχύς 26 MWe θα προκύψει από την καύση των υπολειμμάτων της εξαερίωσης, στις παράπλευρες γεννήτριες ατμού ρευστοστερεάς κλίνης με ανακυκλοφορία. Οι απαιτήσεις της μονάδας IGCC σε ηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύουν περίπου 50 MW και 60 MW για εξαερίωση με αέρα και με O₂/ατμό, αντίστοιχα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα **ωφέλιμες αποδοτικότητες μετατροπής σε ηλεκτρισμό, της τάξης του 45-46%.**



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής ρευστοστερεάς κλίνης – Έργο Kobra

Η κατασκευή της μονάδας Kobra ξεκίνησε το 1993 στο Goldenberg, κοντά στην Κολωνία και η μονάδα τέθηκε σε λειτουργία το 1996. Η επιτυχής επίδειξη της διεργασίας αυτής, προσφέρει πλέον μία νέα αντίληψη για την παραγωγή ισχύος από άνθρακες εξαιρετικής καθαρότητας.

Η εισαγωγή της τεχνολογίας μίας μονάδος ισχύος συνδυασμένου κύκλου, για χρήση λιγνίτη, δίνει την ευκαιρία, όχι μόνο να μειωθούν σημαντικά οι συνήθεις εκπομπές, αλλά και να περιορισθεί η εκπομπή του CO₂, αυξάνοντας παράλληλα την αποδοτικότητα, χωρίς απώλεια των πλεονεκτημάτων σε κόστος.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Koppers-Totzek

Η διεργασία Koppers- Totzek αναπτύχθηκε από την Heinrich Koppers GmbH της Γερμανίας και την εταιρία Friedrich Totzek of Essen and Koppers Inc. των ΗΠΑ και τέθηκε σε εμπορική εφαρμογή για πρώτη φορά στην Φινλανδία το 1952.

Πάνω από πενήντα εξαεριωτές αυτού του τύπου έχουν κατασκευασθεί, για περισσότερες από 14 εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο. Οι μεγαλύτερες μονάδες βρίσκονται στην Ινδία και την Νότιο Αφρική, και παράγουν ένα αέριο πλούσιο σε υδρογόνο για σύνθεση αμμωνίας ή μεθανόλης.

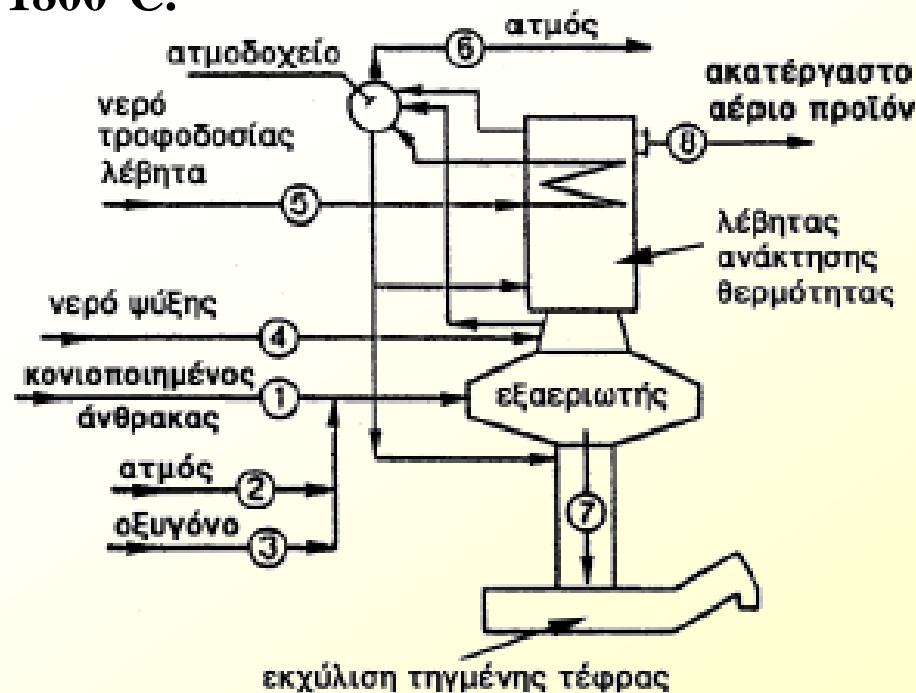


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Koppers-Totzek

Ο εξαεριωτής που χρησιμοποιείται είναι κατασκευασμένος από πυρίμαχο υλικό και έχει σχήμα οριζόντιου κυλινδρικού δοχείου με κωνικά άκρα. Τα συστατικά τροφοδοσίας, δηλαδή ο άνθρακας, ο ατμός και το οξυγόνο, αντιδρούν μεταξύ τους σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασία περίπου 1800°C .

Ο μόνιμος άνθρακας και τα πτητικά συστατικά εξαεριώνονται προς παραγωγή αερίου που περιέχει CO και υδρογόνο. Η τέφρα του άνθρακα κατά ένα ποσοστό τήκεται και οδηγείται σε δοχείο ύδατος ενώ η υπόλοιπη ποσότητα παρασύρεται από το αέριο. Ατμός χαμηλής πίεσης ανακυκλοφορεί στους καυστήρες με σκοπό τόσο την ψύξη τους όσο και την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης.



Διάγραμμα ροής εξαερίωσης με αντιδραστήρα Koppers-Totzek



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Koppers-Totzek

Το αέριο που εξέρχεται από τον εξαεριωτή έρχεται σε επαφή με νερό ώστε να στερεοποιηθεί η τηγμένη τέφρα που έχει συμπαρασυρθεί. Στη συνέχεια διέρχεται από εναλλάκτη θερμότητας και από διάταξη απομάκρυνσης στερεών. Το καθαρό αέριο συμπιέζεται στα 30 bar ενώ το σύνολο του υδροθείου και ένα ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα απομακρύνεται σε πύργο απορρόφησης.

Η θερμογόνος δύναμη του παραγόμενου αερίου είναι της τάξης των 2670 kcal/kg (300 Btu/ft³).



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Koppers-Totzek

Ο εξαεριωτής Koppers- Totzek μπορεί να χρησιμοποιήσει άνθρακες κάθε τάξης και με μεγάλο εύρος περιεκτικότητας σε τέφρα και υγρασία. Η κατανάλωση ατμού είναι χαμηλή και στην περίπτωση τροφοδοσίας με λιγνίτη είναι μηδενική, ενώ οι εγκαταστάσεις κατεργασίας απόβλητου ύδατος είναι απλουστευμένες, λόγω της απουσίας πισσών, ελαίων και υδρογονανθράκων στο ακατέργαστο απόβλητο. Η μετατροπή του άνθρακα είναι γενικά υψηλότερη από ότι σε μονάδες ρευστοστερεάς κλίνης, κυμαινόμενη μεταξύ 92% και 95% για ασφαλτούχους άνθρακες και περίπου 100% για λιγνίτες.

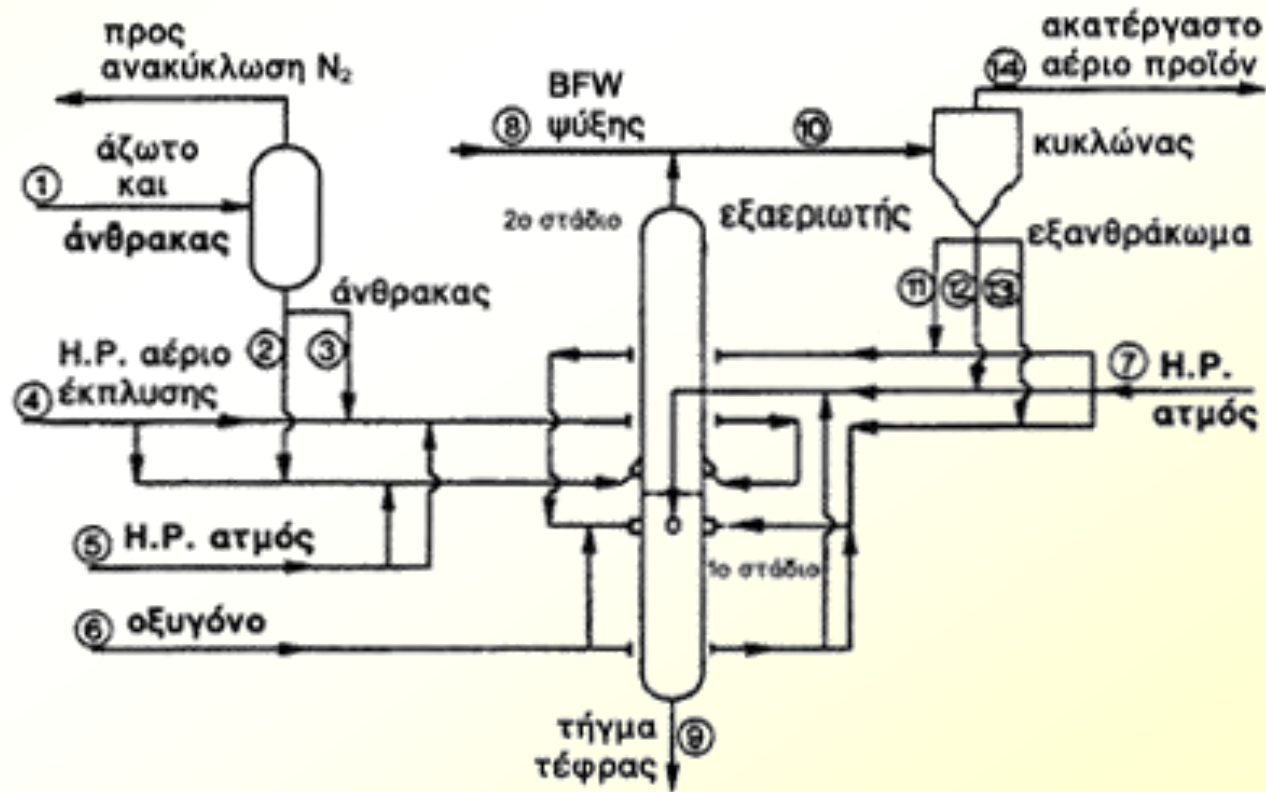
Η πάνω από τον μέσο όρο κατανάλωση οξυγόνου που συνεπάγεται η χρήση της Koppers-Totzek, δεν μπορεί σε γενικές γραμμές να θεωρηθεί σοβαρό μειονέκτημα. Όμως, προκύπτουν μερικά αντικίνητρα λόγω της απώλειας αισθητής θερμότητας, όταν το ακατέργαστο αέριο ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για καθαρισμό, καθώς και από την ανάγκη συμπίεσης του καθαρού αερίου για χημική σύνθεση, σε ένα επόμενο στάδιο λειτουργίας της εγκατάστασης.



Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία Bi-Gas

Στη μέθοδο Bi-Gas η εξαερίωση επιτυγχάνεται σε δύο στάδια. Κονιοποιημένος άνθρακας και ατμός τροφοδοτούνται στο ανώτερο τμήμα του εξαεριωτή (2^ο στάδιο) όπου ο άνθρακας εξαεριώνεται κατά ένα ποσοστό, σε ατμόσφαιρα θερμού αερίου που παράγεται στο κατώτερο τμήμα (1^ο στάδιο).



Διάγραμμα μονάδας 5t/h για εξαερίωση με τη μέθοδο Bi-Gas



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία Bi-Gas

Το υπολειμματικό εξανθράκωμα που συμπαρασύρεται στο προϊόν του δεύτερου σταδίου διαχωρίζεται σε κυκλώνες και οδηγείται στο κατώτερο τμήμα όπου και εξαεριώνεται με ατμό και οξυγόνο προς παραγωγή αερίου σύνθεσης υψηλής θερμοκρασίας που απαιτείται στο δεύτερο στάδιο. Η τηγμένη τέφρα εξέρχεται από τον πυθμένα του πρώτου σταδίου σε ένα δοχείο συλλογής με νερό.

Η θερμοκρασία λειτουργίας του πρώτου και δεύτερου σταδίου είναι 820°C και 1530°C αντίστοιχα, ενώ η πίεση του συστήματος διατηρείται σταθερή μεταξύ 6 και 100 bar. Η θερμογόνο δύναμη του παραγόμενου αερίου είναι περίπου 2820 kcal/m³ (320 Btu/ft³).

Κατά την ανάπτυξη της τεχνολογίας Bi-Gas, ο στόχος ήταν η κατασκευή μεγάλων μονάδων, ετήσιας κατανάλωσης άνθρακα της τάξης των 5 εκατ. τόνων και παραγωγής 7 εκατ. m³ (250 εκ. SCF) αερίου τον χρόνο.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία TEXACO

Η Διεργασία Texaco έχει αναπτυχθεί σαν αποτέλεσμα πολλών ετών σχετικής εμπειρίας στην μερική οξείδωση των υπολειμματικών ελαίων του πετρελαίου. Για την προσαρμογή της διεργασίας αυτής στην εξαερίωση του άνθρακα, η Texaco ανέπτυξε μια ειδική μονάδα για την εναιώρηση λεπτόκοκκου άνθρακα.

Οι πρώτες πιλοτικές μονάδες με δυναμικότητα 15 t/day, λειτούργησαν για πρώτη φορά το 1948 με τροφοδοσία διαφόρων ειδών άνθρακα, όπως λιγνίτες, βιτουμινικοί, ανθρακίτες, κωκ κ.ά. Το 1956 εγκαταστάθηκε στη West Virginia μία μονάδα, δυναμικότητας 100 t/day. Τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν από τη λειτουργία της μονάδας για δύο χρόνια χρησιμοποιήθηκαν για τον καλύτερο σχεδιασμό του εξαεριωτή και του συστήματος διαχείρισης τέφρας.

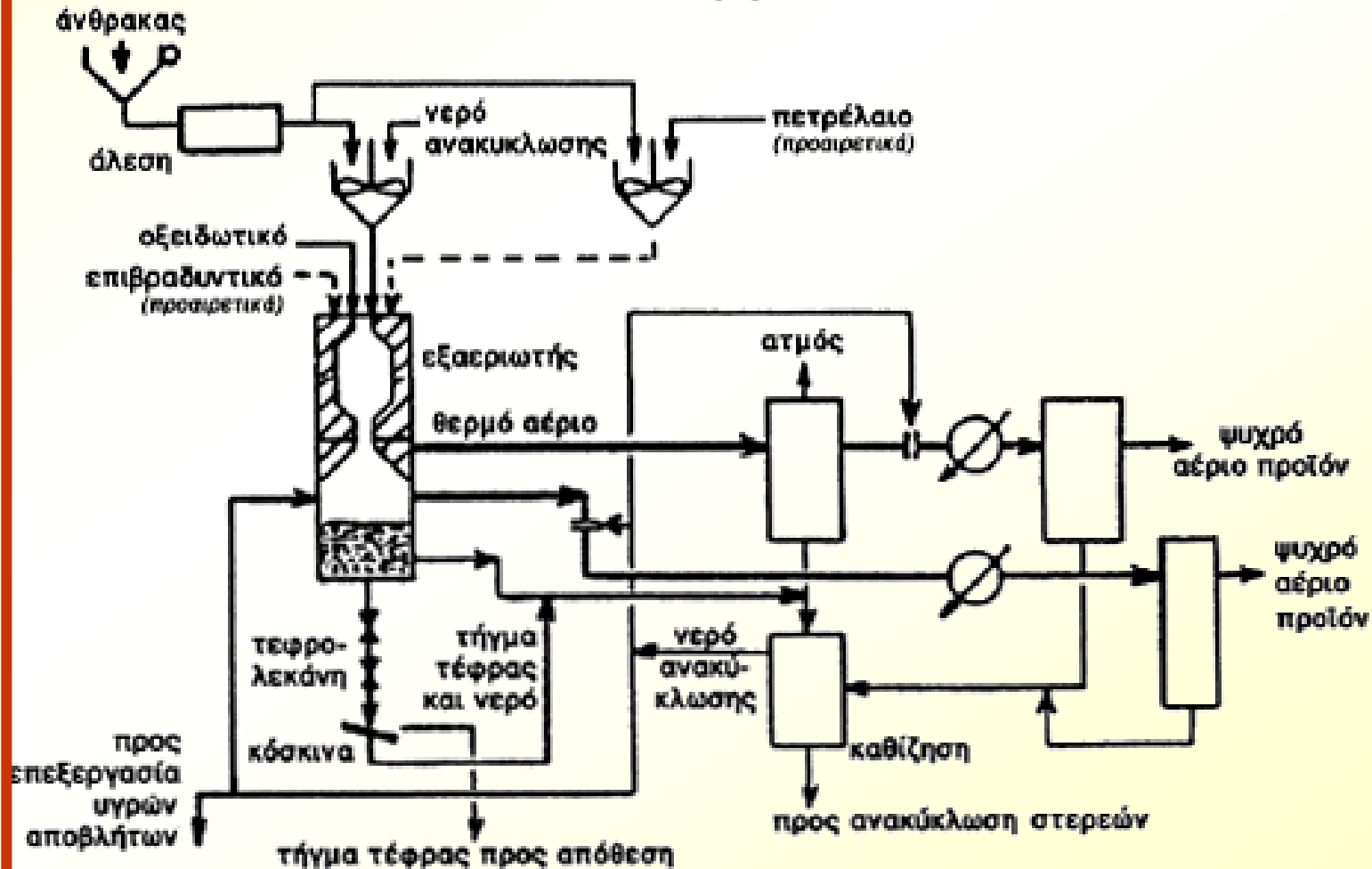
Ο άνθρακας τροφοδοσιείται και κονιοποιείται και μετατρέπεται σε πολτό σε ένα υγρό κυλινδρόμυλο.

Το νερό του πολτού αποτελείται από ανακυκλωμένα συμπυκνώματα και φρέσκο νερό.

Ο πολτός άνθρακα-ύδατος αντλείται με οξυγόνο ή αέρα μέσω ενός καυστήρα, στην κορυφή ενός εξαεριωτή μονωμένου με πυρίμαχα υλικά.

Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία TEXACO



Διεργασία εξαερίωσης με τη μέθοδο Texaco



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία TEXACO

Η υψηλή θερμοκρασία η οποία παράγεται από την αντίδραση του άνθρακα με το οξυγόνο μετριάζεται από το νερό του πολτού, το οποίο εξατμίζεται και αντιδρά με τον άνθρακα. Η εξαερίωση λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες μεταξύ 1260°C και 1490°C. Στις συνθήκες αυτές, ο άνθρακας μετατρέπεται κύρια σε CO, H₂, CO₂ και μικρές ποσότητες μεθανίου. Δεν παράγονται πίσσες ή έλαια, ενώ το καύσιμο άζωτο μετατρέπεται σε άζωτο και αμμωνία, το δε καύσιμο θείο ανάγεται σε υδρόθειο και μικρές ποσότητες COS.

Το αέριο προϊόν ψύχεται είτε με ύδωρ, είτε σε λέβητες ακτινοβολίας και μεταγωγής θερμότητας, πριν υποστεί υγρή απογύμνωση. Έχει μία μέση θερμογόνο δύναμη και είναι κατάλληλο για παραγωγή ισχύος, ή σαν χημική τροφοδοσία. Η τέφρα εγκαταλείπει τον εξαεριωτή σαν τηγμένη σκωρία, η δε στερεοποιημένη σκωρία, με περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω από 1 %, απομακρύνεται με χόανες απόρριψης.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία TEXACO

Ο εξαεριωτής Texaco έχει την ικανότητα να αποδέχεται κάθε τύπο άνθρακα. Η υψηλή αντιδραστικότητα των ανθράκων χαμηλής τάξης αναμένεται να αυξήσει την αποδοτικότητα της λειτουργίας. Η χρήση ανθράκων χαμηλής τάξης, με αποδεκτά επίπεδα ιξώδους σκωρίας σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ίσως πλεονεκτεί έναντι των ανθράκων υψηλότερης τάξης. Όμως, η περιεκτικότητα σε στερεά του πολτού περιορίζεται από το ύψος της περιεκτικότητας της υγρασίας αυτών των ανθράκων και ίσως να απαιτείται ξήρανση.

Ο εξαεριωτής Texaco είναι επίσης σε θέση να επιτύχει μεγάλες παροχές άνθρακα, σαν αποτέλεσμα των μικρών χρόνων παραμονής του υλικού σ' αυτόν. Το χαρακτηριστικό αυτό πρέπει να σημειωθεί σαν σημείο σύγκρισης με τους περισσότερους άλλους εξαεριωτές παράσυρσης και είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν συγκρίνεται με αντιδραστήρες ρευστοστερεάς κλίνης και σταθερής κλίνης.



Εξαερίωση άνθρακα



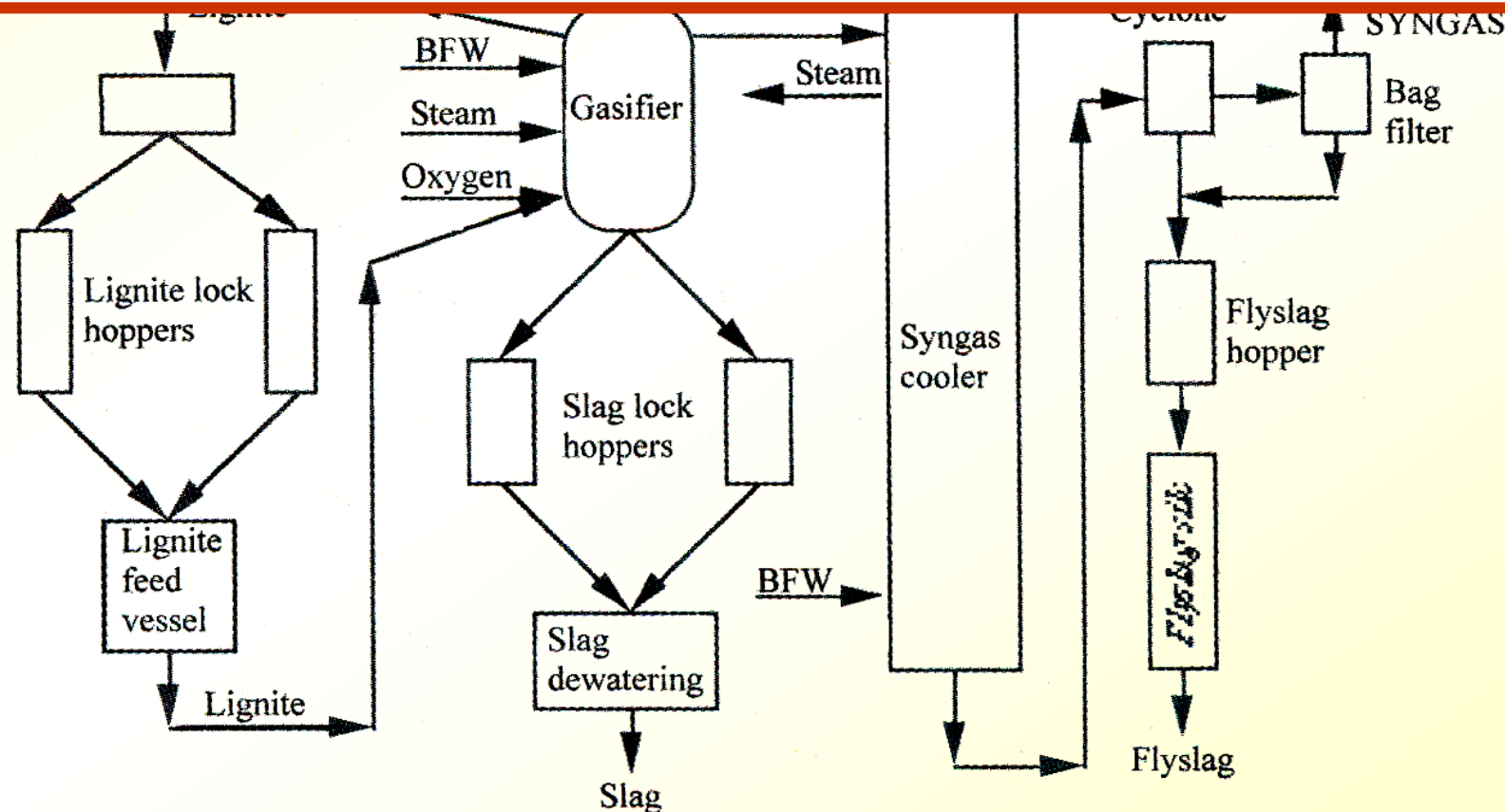
Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία TEXACO

Σε όλον τον κόσμο βρίσκονται σε λειτουργία τέσσερις εμπορικές μονάδες εξαερίωσης του άνθρακα, οι οποίες εφαρμόζουν την τεχνολογία αυτή. Οι μονάδες Tennessee Eastman στις ΗΠΑ και Ube στην Ιαπωνία, παράγουν αέριο σύνθεσης για την παραγωγή μεθανόλης και αμμωνίας, αντίστοιχα. Η μονάδα Synthesegasanlage Ruhr (SAR) στην Γερμανία -η ανάθεση της κατασκευής της οποίας έγινε το 1986- παράγει αέριο οξο-σύνθεσης και υδρογόνο υψηλής καθαρότητας, από 730 τόνους άνθρακα την ημέρα. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται για θερμοηλεκτρικούς σταθμούς συνδυασμένου κύκλου.

Η μονάδα 120MW "Coal Water" είναι μία άλλη ολοκληρωμένη θερμοηλεκτρική μονάδα εξαερίωσης συνδυασμένου κύκλου και λειτουργεί στην California. Ξεκίνησε την παραγωγή το 1989 και χρησιμοποιεί έναν εξαεριωτή παρασυρόμενης κλίνης με οξυγόνο της Texaco, για την μετατροπή περίπου 900 τόνων άνθρακα την ημέρα σε αέριο μέσης θερμογόνου δύναμης. Οι εκπομπές SO₂, NO_x και σωματιδιακής ύλης από την μονάδα αυτή είναι μόλις το 1/10 των ορίων που θέτουν τα Πρότυπα Απόδοσης για Νέες Πηγές Ρύπανσης των ΗΠΑ, για μονάδες που καίνε άνθρακα.

Η θερμοκρασία αντίδρασης στον καυστήρα είναι περίπου 1990°C και το αέριο εξέρχεται στους 1480°C περίπου, λόγω ενδόθερμων αντιδράσεων και απωλειών θερμότητας. Μία υψηλή θερμοκρασία καυστήρα εξασφαλίζει συνθήκες σχηματισμού ρευστής σκωρίας και η τέφρα απομακρύνεται από τον πυθμένα σαν σκωρία, αν και μέρος της απομακρύνεται μαζί με το αέριο ρεύμα σαν ιπτάμενη τέφρα. Τα αέρια ψύχονται αφ' ενός από ανακυκλοφορία του ψυχθέντος αερίου προϊόντος και αφ' ετέρου από λέβητες ανάκτησης θερμότητας.

μία έκδοση υψηλότερης πίεσης (3MPa) του εξαεριοτή Koppers-Totzek, ο οποίος αρχικά αναπτύχθηκε από την Shell International Petroleum και την Krupp-Koppers.



Συστήματα τροφοδοσίας άνθρακα, εξαερίωσης και απομάκρυνσης στερεών για μονάδα εξαερίωσης με τη μέθοδο SHELL



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία SHELL

Στην διεργασία αυτή, κονιοποιημένος άνθρακας (90% μικρότερος από 90 μ m) ξηραίνεται και τροφοδοτείται σε αντιτιθέμενους καυστήρες μέσω δοσομετρητών. Το οξυγόνο και ο ατμός τροφοδοτούνται επίσης στους καυστήρες. Τα σωματίδια του άνθρακα αεριοποιούνται, καθώς ρέουν προς τα πάνω.

Η θερμοκρασία αντίδρασης στον καυστήρα είναι περίπου 1990°C και το αέριο εξέρχεται στους 1480°C περίπου, λόγω ενδόθερμων αντιδράσεων και απωλειών θερμότητας. Μία υψηλή θερμοκρασία καυστήρα εξασφαλίζει συνθήκες σχηματισμού ρευστής σκωρίας και η τέφρα απομακρύνεται από τον πυθμένα σαν σκωρία, αν και μέρος της απομακρύνεται μαζί με το αέριο ρεύμα σαν ιπτάμενη τέφρα. Τα αέρια ψύχονται αφ' ενός από ανακυκλοφορία του ψυχθέντος αερίου προϊόντος και αφ' ετέρου από λέβητες ανάκτησης θερμότητας.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία SHELL

Τα πλεονεκτήματα του εξαεριωτή αυτού είναι ότι **δεν παράγονται πίσσες, φαινόλες ή υγροί υδρογονάνθρακες**, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και ο εξαεριωτής μπορεί να διαχειρισθεί κάθε στερεό καύσιμο, συμπεριλαμβανομένων ανθράκων με περιεκτικότητα σε τέφρα μέχρι 40% και σε θείο μέχρι 6%.

Το αέριο προϊόν περιέχει 85-90% CO και H₂, με αναλογία CO/H₂ μεταξύ 1,8 και 2. Το CO₂ αντιπροσωπεύει περίπου το 1 %, ενώ το 80% της χημικά δεσμευμένης θερμότητας του άνθρακα ανακτάται στο αέριο, με ένα επιπλέον ποσοστό 12% έως 15% ανακτήσιμο σαν αισθητή θερμότητα.

Η θερμική αξία του αερίου είναι περίπου 11,2 MJ/m³, ενώ η αποδοτικότητα σε άνθρακα είναι 98%.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία SHELL

Μία μονάδα δοκιμής, αποδοτικότητας 150t/d, λειτουργεί στο σύμπλεγμα διωλιστηρίου της Shell στο Αμβούργο της Γερμανίας, από το 1978. Αυτή η διεργασία, λόγω της λειτουργίας της υπό μεγάλη πίεση και μεγάλη θερμοκρασία, είναι κατάλληλη για παραγωγή ηλεκτρισμού σε συνδυασμένο κύκλο, καθώς και για παραγωγή αερίου σύνθεσης.

Η εμπορική διαθεσιμότητα της διεργασίας Shell έχει επιδειχθεί στην Μονάδα Shell Εξαερίωσης Άνθρακα SCGP-I στο Houston, του Texas, ΗΠΑ, η οποία ξεκίνησε να λειτουργεί το 1987.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία SHELL

Πρόσφατες μελέτες στην Ολλανδία έδειξαν ότι μία μονάδα 250MW, η οποία χρησιμοποιεί έναν εξαεριωτή άνθρακα δυναμικότητας 2000 τόνων την ημέρα, σε συνδυασμό με τον αποδεδειγμένα καλής λειτουργίας αεριοστρόβιλο τύπου 13E της Asea Brown Boveri, είναι μία ιδανική υπο-μονάδα για μελλοντική πρόσθετη δυναμικότητα σε μονάδες ισχύος μεταξύ 250 MW και 1000 MW.

Τα αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά της είναι:

- οι εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές,
- η μη εκχυλίσιμη σκωρία και το στοιχειακό θείο σαν υπο-προϊόντα,
- η μέγιστη ευελιξία χρήσης καυσίμου,
- η επιλογή συμπαραγωγής,
- οι μικροί χρόνοι υλοποίησης,
- η μικρή κατανάλωση ύδατος ψύξης,
- η υψηλή αποδοτικότητα (απόδοση άνθρακα 43%) και
- το χαμηλό κεφαλαιουχικό κόστος.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία SHELL

Η εμπειρία από την λειτουργία της μονάδας μέχρι το 1997 έχει ως ακολούθως:

- Έχουν εξαεριωθεί επιτυχώς 14 τύποι άνθρακα, ενώ επετεύχθη μία συνολική αποδοτικότητα σύμφωνα με τον σχεδιασμό (μετατροπή άνθρακα πάνω από 99%).
- Δοκιμάσθηκαν επίσης διάφορα συστήματα σε ποσοστά φόρτωσης μεταξύ 40% και 100% και η μεγαλύτερη σε διάρκεια περίοδος συνεχούς λειτουργίας του εξαεριωτή ήταν 600 ώρες περίπου.
- Η περιβαλλοντική απόδοση ήταν ίση ή καλύτερη από την προβλεπόμενη από τον σχεδιασμό και μέσα στα επιτρεπτά όρια, δηλαδή ένα ελάχιστο ποσοστό αποθείωσης (SO₂) 98%, μέγιστη εκπομπή NO_x 75 g/GJ και μηδενική εκροή όλων των ροών ύδατος.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία DOW

Η εγκατάσταση συνθετικού αερίου στην Plaquemine της Louisiana, είναι η τέταρτη γενεά εγκαταστάσεων που κατασκευάστηκε και λειτουργεί από την εταιρία Dow, σαν μέρος μίας συνεχούς προσπάθειας διαχείρισης του ενεργειακού κόστους.

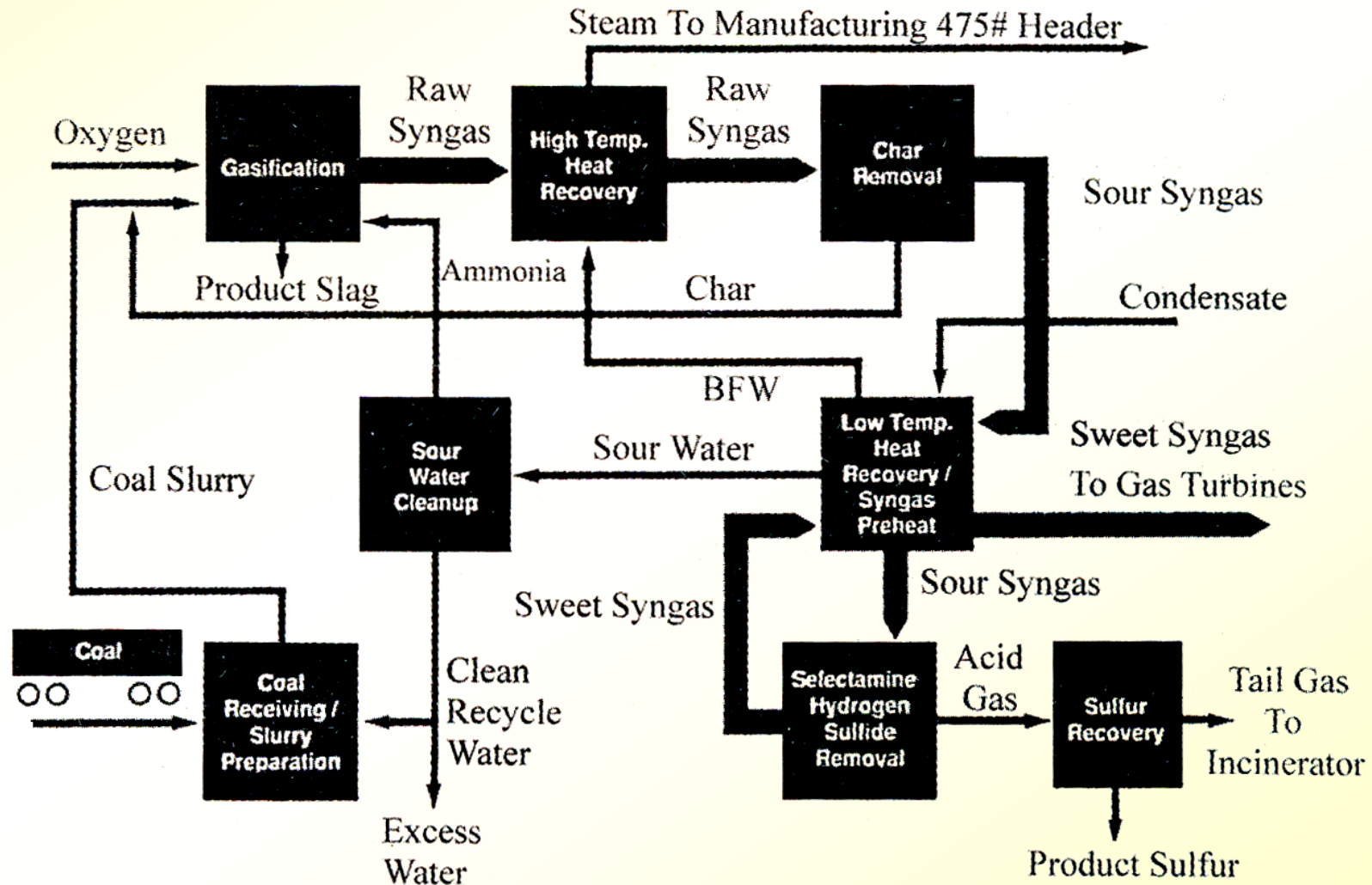
Η μονάδα ξεκίνησε να κατασκευάζεται το 1985 και τέθηκε σε λειτουργία το 1987. Επεξεργάζεται, ημερησίως, 2400 τόνους υποασφαλτούχου άνθρακα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Σε ημερήσια επίσης βάση, η διεργασία καταναλίσκει 1300 τόνους οξυγόνο, παράγει 32 δις kJ αερίου σύνθεσης, 115 τόνους σκωρίας και πάνω από 4 τόνους καθαρό θείο, εμπορεύσιμης ποιότητας. Η εγκατάσταση αυτή είναι σε θέση να παράγει 160MW, σε μία διάταξη συνδυασμένου κύκλου με υψηλή αποδοτικότητα.



Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία DOW





Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Διεργασία DOW

Η μονάδα εξαερίωσης περιλαμβάνει μία μονάδα διαχωρισμού αέρα, μύλους άλεσης του άνθρακα, μονάδες προετοιμασίας και προθέρμανσης του πολτού, έναν εξαεριωτή, καθώς και συστήματα ανάκτησης θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας, απογύμνωσης αερίων, ανάκτησης θερμότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες, απομάκρυνσης όξινου αερίου, ανάκτησης θείου, ύγρυνσης καυσίμου αερίου και αναθέρμανσης αερίου καυσίμου.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Έργο αναβάθμισης μονάδας της Combustion Eng. IGCC

Η διεργασία αυτή, στον σταθμό του Springfield του Illinois, είναι μία χαρακτηριστική διεργασία παρασυρόμενης κλίνης, η οποία αναπτύχθηκε υπό την αιγίδα του "Προγράμματος Επίδειξης Καθαρής Τεχνολογίας Άνθρακα".

Οι στόχοι του έργου είναι η επίδειξη, αφ' ενός ενός καινοτόμου **εξαεριωτή παράσυρσης δύο σταδίων, ξηρής τροφοδοσίας, με χρήση αέρα, εισαγωγή ασβεστόλιθου και ενός συστήματος καθαρισμού θερμών αερίων κινητής κλίνης, με καταλύτη σιδηρούχου ψευδαργύρου, και αφ' ετέρου η αξιολόγηση ενός κινητού εξωθητή άνθρακα, καθώς και η εκτίμηση της αξιοπιστίας, της διαθεσιμότητας και της δυνατότητας συντήρησης σε εμπορική κλίμακα.**



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Έργο αναβάθμισης μονάδας της Combustion Eng. IGCC

Η τηγμένη σκωρία ρέει σε μία δεξαμενή ψύξης ύδατος. Το εξανθράκωμα στο ρεύμα του αερίου προϊόντος απομακρύνεται και ανακυκλώνεται πίσω στον εξαεριωτή.

Το θείο απομακρύνεται από το θερμό αέριο με δύο διεργασίες: την επιτόπια (με εισαγωγή ασβεστόλιθου) και την τελική αποθείωση (από ένα σύστημα κινητής κλίνης, με καταλύτη σιδηρούχου ψευδαργύρου, σε κάποιο στάδιο που ακολουθεί την εξαερίωση).



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Έργο αναβάθμισης μονάδας της Combustion Eng. IGCC

Η κατασκευή του συστήματος IGCC ξεκίνησε στο τέλος του 1992. Το σύστημα αυτό είναι κατάλληλο τόσο για εφαρμογές αναβάθμισης μίας μονάδας, όσο και για νέες θερμοηλεκτρικές μονάδες.

Η αναβάθμιση παλαιών μονάδων, με την τεχνολογία αυτή, θα βελτιώσει την αποδοτικότητα της μονάδας και θα μειώσει τις εκπομπές SO₂, NO_x και CO₂.

Λόγω των πλεονεκτημάτων της εύκολης μετατροπής, της δυνατότητας γρήγορης και σταδιακής παραγωγής on-line, αλλά και της υψηλής αποδοτικότητας, της ευελιξίας χρησιμοποίησης καυσίμου, της περιβαλλοντικής ελεγχιμότητας και των μειωμένων αναγκών σε γη και πόρους, το σύστημα IGCC θεωρείται λίαν ανταγωνιστικό, ως προς την χρήση του σε νέες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής παρασυρόμενης κλίνης – Έργο αναβάθμισης μονάδας της Combustion Eng. IGCC

Μία εγκατάσταση εμπορικής κλίμακας, η οποία βασίζεται στην τεχνολογία της Combustion Engineering, αναμένεται να έχει ρυθμό θερμότητας μικρότερο από 8,4 MJ/kWh (αποδοτικότητα μεγαλύτερη από 43%).

Αυτός ο ρυθμός θερμότητας αναμένεται να οδηγήσει σε **αύξηση της αποδοτικότητας τουλάχιστον κατά 20%**, συγκρινόμενος με μία συμβατική μονάδα που χρησιμοποιεί κονιοποιημένο άνθρακα με εγκαταστάσεις αποθείωσης αερίων.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαερίωση λουτρού τήγματος

Οι περισσότερες από τις διεργασίες λουτρού τήγματος αφορούν στην εξαερίωση άνθρακα, ο οποίος βρίσκεται σε έμμεση επαφή με ατμό και/ή αέρα ή οξυγόνο, μέσα σε ένα λουτρό τηγμένης σκωρίας, μετάλλου ή άλατος.

Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων έχει ενθαρρυνθεί από την δυνατότητά τους να υπερνικήσουν κάποια από τα μειονεκτήματα των συστημάτων αντίδρασης αερίου-στερεού.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαερίωση λουτρού τήγματος

Για την διατήρηση του λουτρού σε τηγμένη κατάσταση απαιτούνται συνήθως υψηλές θερμοκρασίες, κάτι το οποίο ευνοεί **υψηλούς ρυθμούς αντίδρασης**, και κατά συνέπεια μεγάλη παραγωγή. Η εξαερίωση βελτιώνεται επίσης από τις καταλυτικές ιδιότητες του τήγματος. Η υψηλή θερμική χωρητικότητα του τήγματος προξενεί πολύ γρήγορη θέρμανση του καυσίμου κατά την είσοδό του στον εξαεριωτή, έτσι ώστε να μη σχηματίζονται πίσσες και έλαια. Η γρήγορη έκλυση πτητικών οδηγεί τον άνθρακα σε αποσύνθεση, και έχει σαν αποτέλεσμα μία μεγάλη αύξηση του εμβαδού της επιφάνειας, το οποίο με την σειρά του αυξάνει τους ρυθμούς της αντίδρασης.

Σε αντίθεση με τους εξαεριωτές σταθερής, ρευστοστερεάς και παρασυρόμενης κλίνης, η πλειονότητα των εξαεριωτών λουτρού τήγματος **χρησιμοποιεί χονδροκομμένο άνθρακα, με κάποια λεπτά σωματίδια.**



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαερίωση λουτρού τήγματος

Τα πλεονεκτήματα αυτών των διεργασιών είναι ότι άνθρακες με ισχυρές ιδιότητες συσσωμάτωσης, ακόμα και με μεγάλη περιεκτικότητα σε τέφρα ή θείο, μπορούν να αεριοποιηθούν, η δε κατακράτηση του θείου στο τήγμα μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ενός αερίου ρεύματος, ελεύθερου ουσιαστικά από θείο. Επίσης, το υπόλειμμα μπορεί να απομακρυνθεί πολύ απλά, αφού τόσο αυτό, όσο και ο φορέας της θερμότητας είναι σε υγρή κατάσταση.

Τα κύρια **μειονεκτήματα** είναι οι υψηλές απαιτήσεις σε οξυγόνο, οι μεγάλες απώλειες θερμότητας και τα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την έντονη διάβρωση που προξενείται από τα υψηλής θερμοκρασίας τηγμένα άλατα και μέταλλα.



Εξαερίωση άνθρακα

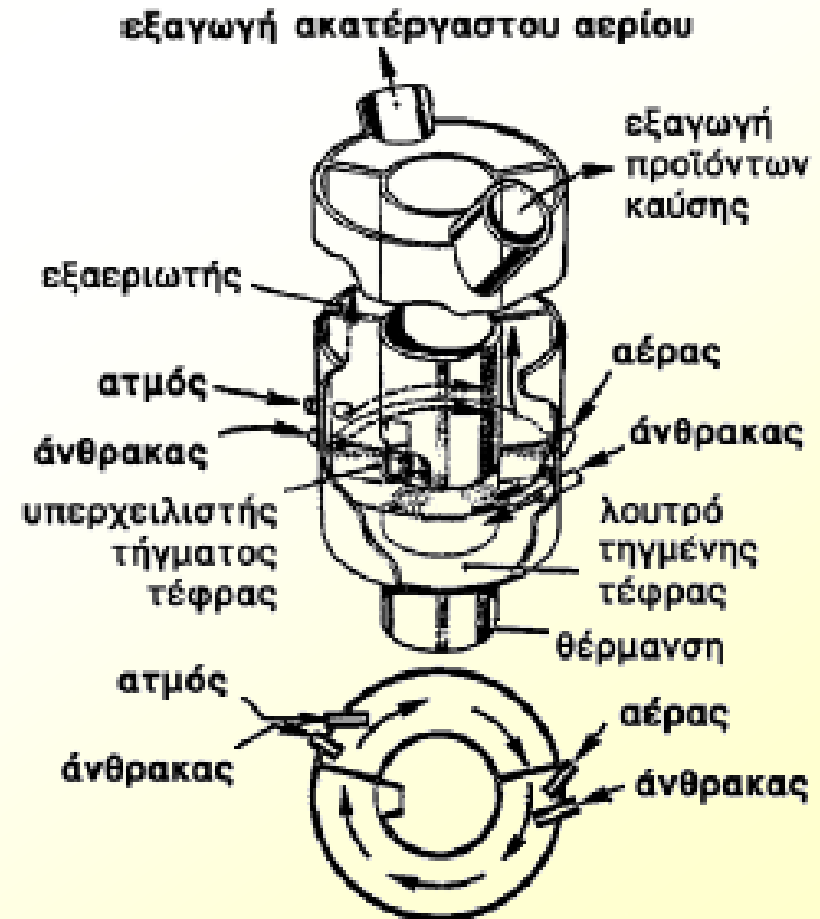
Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Rummel-Otto

Μια αντιπροσωπευτική διαδικασία εξαερίωσης σε τήγμα τέφρας είναι η Rummel-Otto.

Η πρώτη μονάδα εξαερίωσης κατασκευάστηκε το 1950 από τη Union Kraftstoff και εγκαταστάθηκε στο Wessling της Δυτ. Γερμανίας.

Η διαδικασία αποτελείται από 3 βασικά στάδια.

Το 1ο στάδιο είναι ένα δοχείο ύψους 2 m στο οποίο βρίσκεται το τήγμα, το 2ο στάδιο αποτελεί τη ζώνη συμπαράσυρσης ύψους 6 m, ενώ στο 3ο στάδιο επιτυγχάνεται η ψύξη του αερίου.

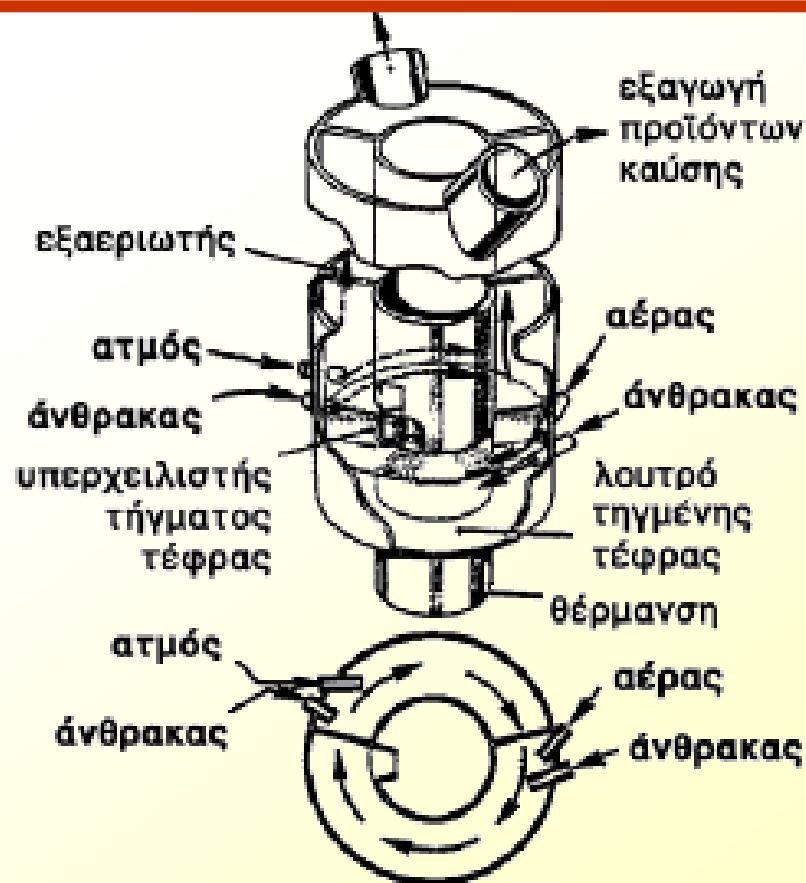


Ξηρός κονιοποιημένος άνθρακας μεταφέρεται πνευματικά με τη βοήθεια αδρανούς αερίου σε ειδικό δοχείο συλλογής, από το οποίο συμπαρασύρεται με αέριο ανακύκλωσης και τελικά τροφοδοτείται με ατμό και αέρα στο στάδιο 1.

Το τήγμα διέρχεται από τον πυθμένα του εξαεριωτή και καταλήγει σε λουτρό ύδατος όπου σχηματίζονται κοκκώδη σωματίδια. Το παραγόμενο αέριο διέρχεται στο στάδιο 2 όπου διαχωρίζονται τα σωματίδια τέφρας.

Στη συνέχεια το αέριο διέρχεται στο στάδιο 3 όπου και ψύχεται με αέριο ανακυκλοφορίας με σκοπό τη στερεοποίηση τυχόν εναπομείναντος υγρού τήγματος.

Τα σωματίδια τέφρας που υπάρχουν στο αέριο ρεύμα διαχωρίζονται σε κυκλώνες και επιστρέφουν στον εξαεριωτή. Το αέριο προϊόν εξέρχεται από τη μονάδα ψύξης σε θερμοκρασία 100°C και έχει θερμογόνο δύναμη 2500 kcal/m^3 .





Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Saaberg-Otto

Η διεργασία Saarberg-Otto είναι μία επέκταση της διεργασίας Rummel- Otto.

Η διεργασία αυτή χρησιμοποιεί έναν εξαεριωτή μονο-αξονικού λουτρού τήγματος, με εσωτερική διάμετρο 1,4 m και ύψος 15m, που λειτουργεί σε πίεση 2,5 έως 3,0 MPa και επεξεργάζεται μέχρι 220 t/d άνθρακα.

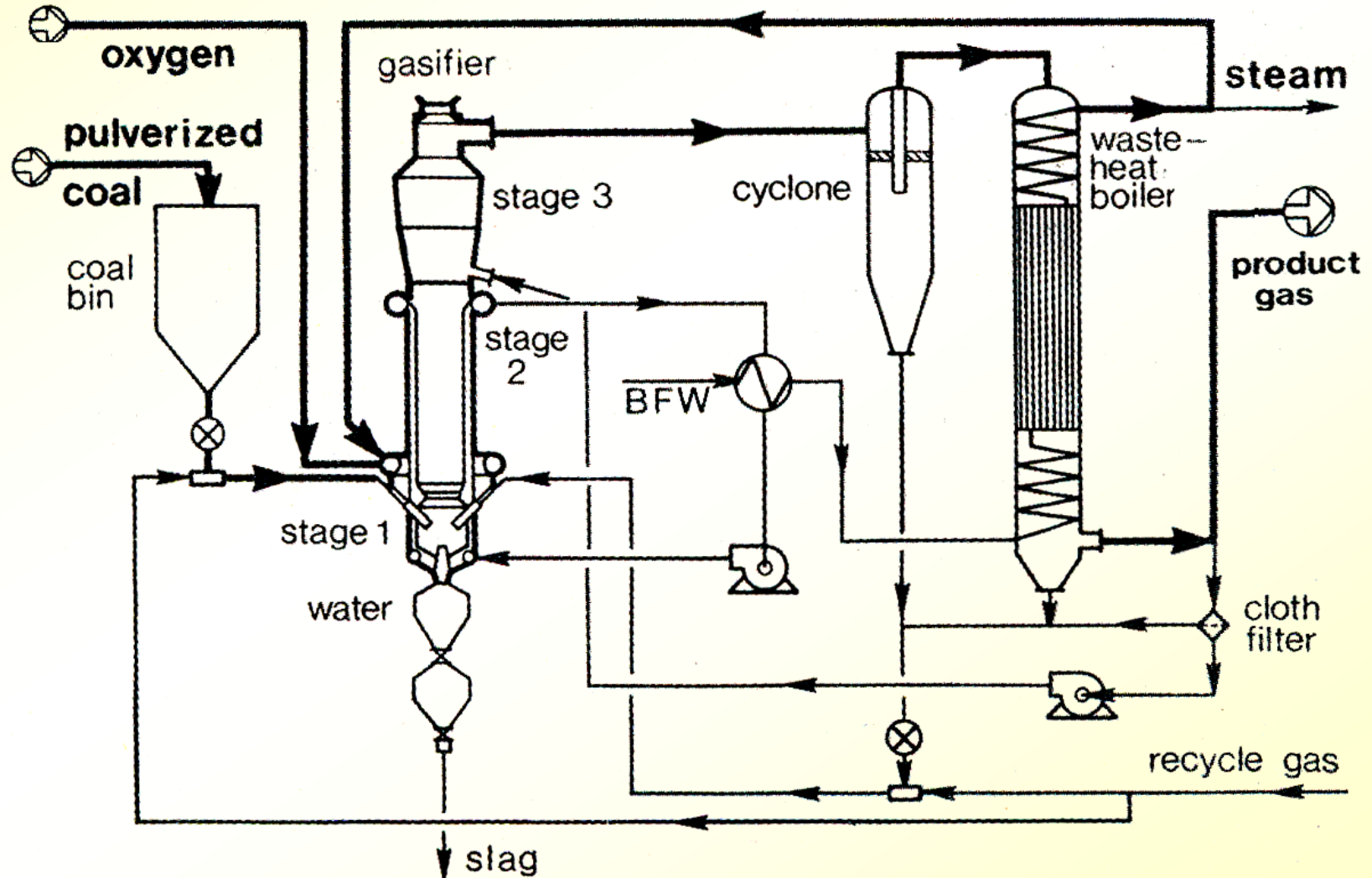
Ο αντιδραστήρας διαιρείται σε τρία στάδια, τα δύο χαμηλότερα των οποίων είναι υδρόψυκτα.

Το πρώτο (το πιο χαμηλό) στάδιο είναι ένας θάλαμος 2 m ύψους, που περιέχει το λουτρό τηγμένης σκωρίας. Το στάδιο 2 είναι μία ζώνη παρασυρόμενης ροής ύψους 6m και το στάδιο 3 είναι ένα τμήμα ψύξης.



Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Saaberg-Otto





Εξαερίωση άνθρακα



Ξηρός κονιοποιημένος άνθρακας (100% μικρότερος από 1mm) μεταφέρεται πνευματικά από ένα αδρανές αέριο σε ένα δοχείο άνθρακα, από όπου συμπαρασύρεται με ένα αέριο ανακυκλοφορίας και εγχύεται με ατμό και οξυγόνο στο Στάδιο 1, μέσω ακροφυσίων. Τα ακροφύσια αυτά κατευθύνονται εφαπτομενικά προς την επιφάνεια του λουτρού τηγμένης σκωρίας.

Ο άνθρακας εισάγεται σε ένα μείγμα ατμού-οξυγόνου, έτσι ώστε να προκαλέσει περιστροφή μέσα από λουτρό σκωρίας, η οποία θεωρείται ότι αυξάνει τους ρυθμούς της αντίδρασης. Κατά την διάρκεια της εξαερίωσης, μέρος του συσσωρευμένου τήγματος ρέει συνεχώς σε μία δεξαμενή ύδατος στο κάτω μέρος, όπου ψύχεται και εξέρχεται υπό μορφή μικρών τεμαχίων.

Θερμό αέριο από το Στάδιο 1 (1500-1700°C) περνά μέσω ενός αυχένα στο Στάδιο 2, και κατά το πέρασμα του, παρασυρμένα σταγονίδια σκωρίας και ορισμένα σωματίδια εξανθρακώματος διαχωρίζονται, σαν αποτέλεσμα της φυγόκεντρης δράσης και κινούνται πάνω στα τοιχώματα με κατεύθυνση πίσω στο λουτρό σκωρίας.



Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Saaberg-Otto

Τα παρασυρμένα σωματίδια εξανθρακώματος αεριοποιούνται περαιτέρω στο Στάδιο 2, προξενώντας πτώση της θερμοκρασίας. Το αέριο στην συνέχεια περνά στο Στάδιο 3, όπου ψύχεται ερχόμενο σε επαφή με ένα ρεύμα αερίου ανακυκλοφορίας (ψυχθέν αέριο προϊόν), για να στερεοποιήσει οποιαδήποτε σταγονίδια υγρής σκωρίας, πριν αυτά εξέλθουν από τον εξαεριωτή.

Το ακατέργαστο αέριο προϊόν, το οποίο περιέχει σκωρία και εξανθράκωμα που αντιστοιχεί σε 10-30% της τροφοδοσίας του άνθρακα, περνά μέσω ενός κυκλώνα και ενός λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Η σκωρία και τα σωματίδια του εξανθρακώματος, που συλλέγονται, ανακυκλώνονται στον εξαεριωτή.

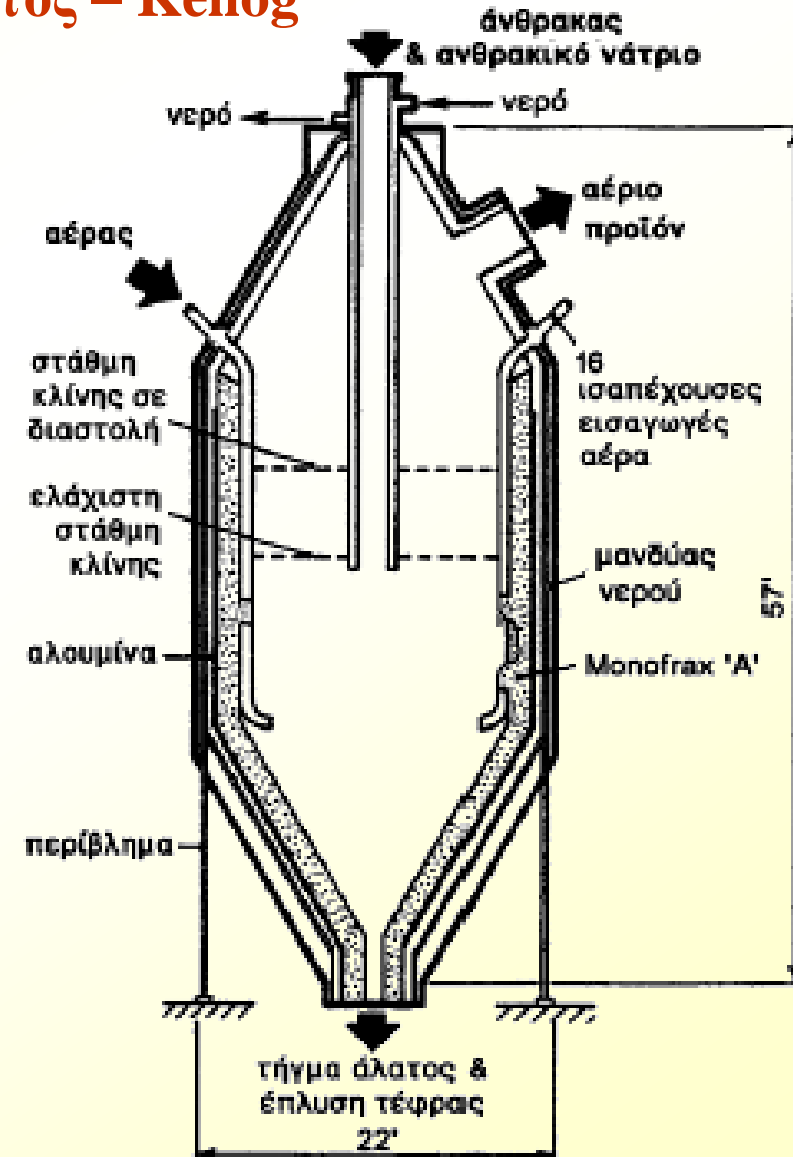


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Kellog

Η διεργασία Kellog μελετήθηκε από την εταιρεία Kellog Comp. μεταξύ των ετών 1964 και 1967. Έμφαση δόθηκε στη χημεία της τέφρας, στη διαχείριση του τήγματος, στον σχεδιασμό του μηχανολογικού εξοπλισμού και στα υλικά κατασκευής.

Στη διεργασία αυτή, **άνθρακας εξαεριώνεται σε δοχείο τηγμένου ανθρακικού νατρίου** ενώ το παραγόμενο αέριο εξέρχεται από την κορυφή του εξαεριωτή. Η τέφρα που παραμένει στο τήγμα ανθρακικού νατρίου απομακρύνεται με ένα αέριο συμπαρασυρμού από τον πυθμένα του εξαεριωτή.





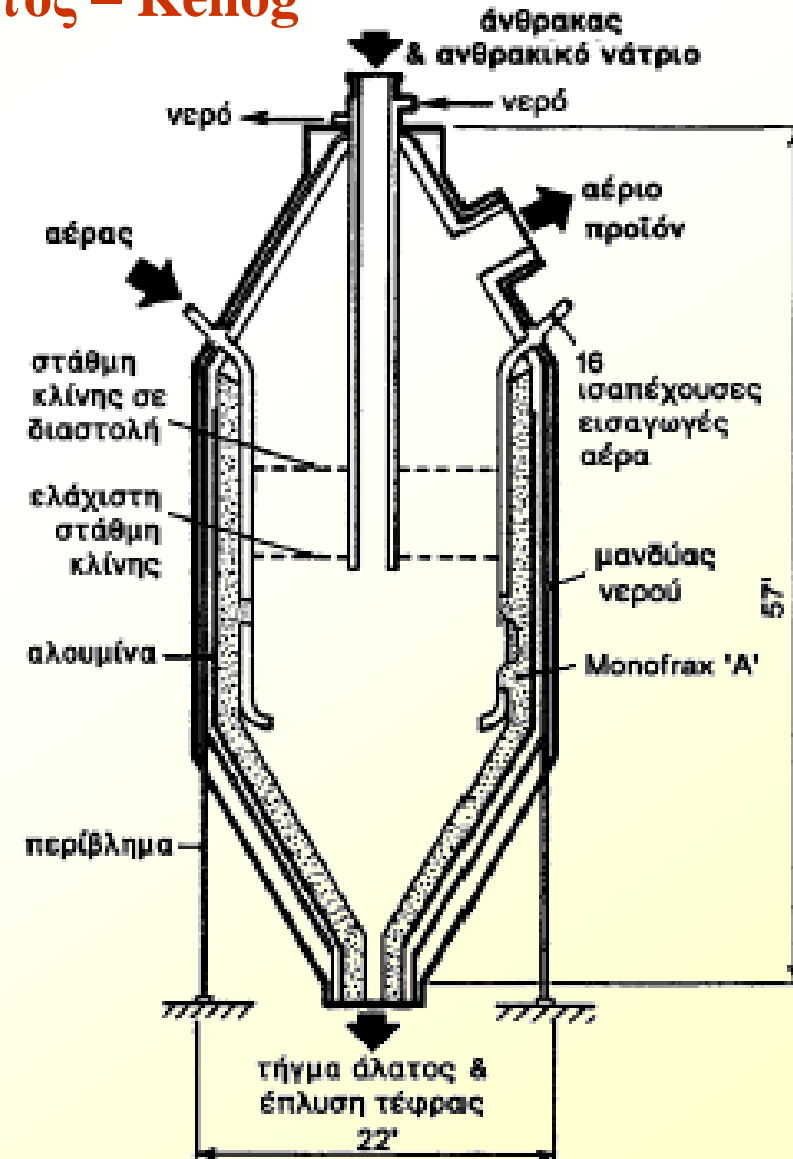
Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Kellog

Υπάρχουν δύο ξεχωριστά στάδια καύσης και εξαερίωσης (σε πίεση 30 bar) όπου και συμβαίνει ανακύκλωση του τήγματος.

Η χρήση δύο σταδίων επιτρέπει τη χρήση αέρα αντί οξυγόνου για καύση καθώς και την παραγωγή αερίου χωρίς την ύπαρξη αζώτου.

Έχει διαπιστωθεί όμως ότι εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης μεθανίου στο παραγόμενο αέριο υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις θερμότητας και συνεπώς υψηλό λειτουργικό κόστος.



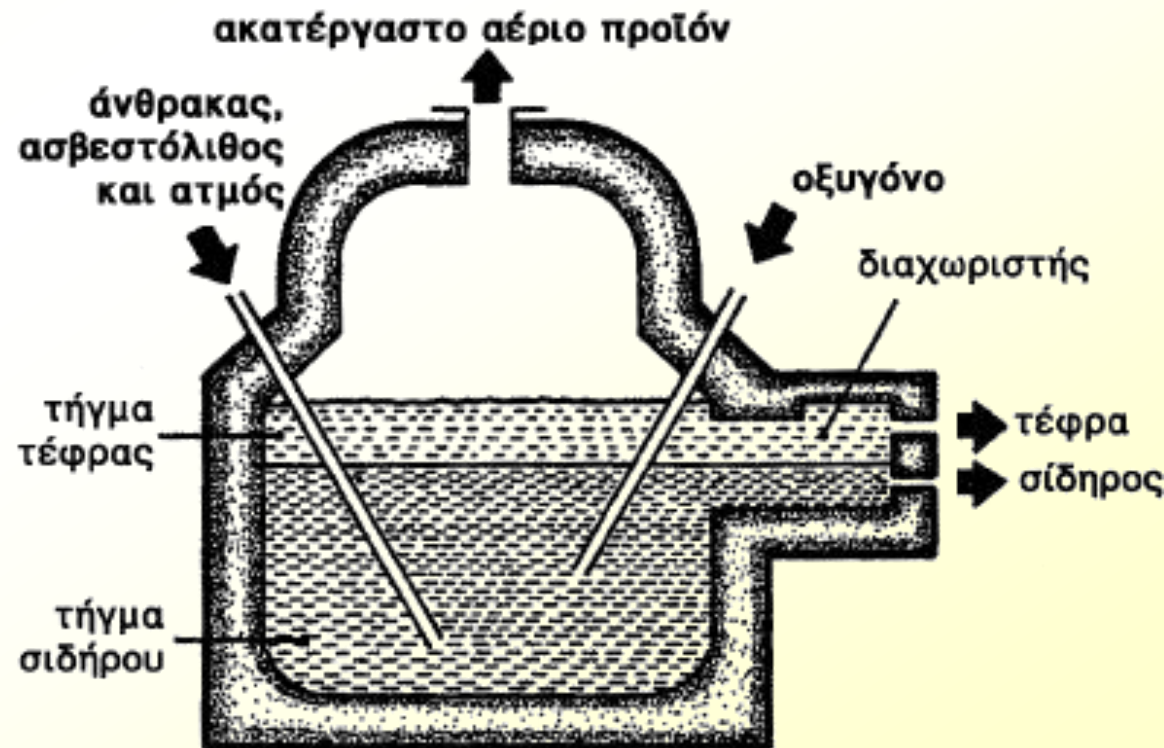


Εξαερίωση άνθρακα

Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Atgas

Η Διεργασία Atgas αναπτύχθηκε από την εταιρία Applied Technology Corporation, στο Pittsburgh από το 1967. Κατά την διεργασία αυτή, κονιοποιημένος άνθρακας και ασβεστόλιθος εγχύονται σε ένα λουτρό τηγμένου σιδήρου, μέσω εκτοξευτήρων ατμού, υπό πίεση 0.4 MPa.

Το O_2 εισάγεται μέσω εκτοξευτήρων, που βρίσκονται στην επιφάνεια του λουτρού σιδήρου. Ο άνθρακας διαλύεται μέσα στον τηγμένο σίδηρο, όπου τα πτητικά διασπώνται στους $1400^{\circ}C$ και μετατρέπονται σε CO και H_2 . Ο μόνιμος άνθρακας αντιδρά με οξυγόνο και ατμό, παράγοντας επιπρόσθετο CO και H_2 . Η διεργασία αυτή έχει μεγάλη θερμική αποδοτικότητα.





Εξαερίωση άνθρακα



Εξαεριωτής λουτρού τήγματος – Atgas

Μεταβάλλοντας την παροχή του άνθρακα τροφοδοσίας είναι δυνατή η επίτευξη **σταθερής συγκέντρωσης άνθρακα στο τήγμα σιδήρου**. Όταν αυτή η συγκέντρωση είναι σχετικά υψηλή (3-4%), το οξυγόνο και ο ατμός αντιδρούν εκλεκτικά με τον άνθρακα και όχι με το θείο, με **αποτέλεσμα το παραγόμενο αέριο να είναι σχεδόν απαλλαγμένο από ενώσεις θείου**. Η τηγμένη τέφρα απομακρύνεται συνεχώς και αντιδρά με ατμό προς παραγωγή H_2S , ενώ η αποθειωμένη τέφρα μπορεί περαιτέρω να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο υλικό κατασκευής δρόμων.



Εξαερίωση άνθρακα



Αλλοθερμικός εξαεριωτής περιστροφικού κλιβάνου

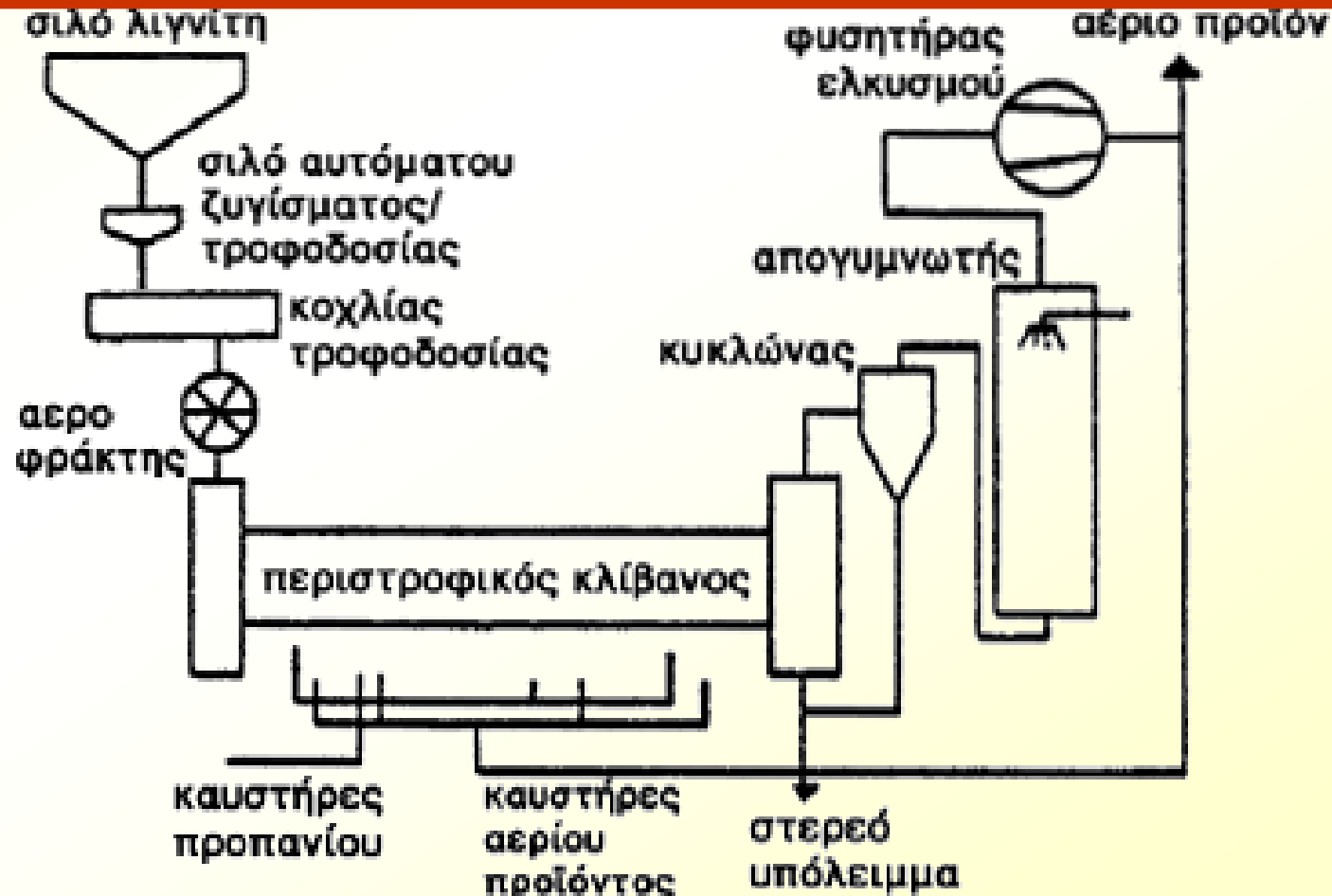
Στους αντιδραστήρες εξαερίωσης που παρουσιάστηκαν, η αναγκαία θερμότητα για τις ενδόθερμες αντιδράσεις άνθρακα-ατμού παράγεται μέσα στον αντιδραστήρα με καύση μέρους του άνθρακα παρουσία αέρα ή οξυγόνου.

Εναλλακτικά, **η θερμότητα μπορεί να προσδοθεί εξωτερικά** (αλλόθερμη εξαερίωση). Η θερμότητα για την αλλόθερμη εξαερίωση μπορεί να προέρχεται από καύση άλλου καυσίμου, π.χ. μέρους του παραγόμενου αερίου κατά την εξαερίωση, από ηλιακή ενέργεια ή από πυρηνικούς σταθμούς ενέργειας.

Για την εξαερίωση πτωχών καυσίμων, με υψηλή υγρασία και τέφρα, όπως ο ελληνικός λιγνίτης, έχει εξεταστεί η χρήση ενός ευέλικτου αντιδραστήρα περιστροφικού κλιβάνου.

Η πιλοτική μονάδα έχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας σωματιδίων λιγνίτη μέχρι 30 mm χωρίς άλλη προκατεργασία, με ρυθμό 20-100 kg/h. Ο κλίβανος περιστρέφεται με ταχύτητα 1.5-5.5 rpm και μπορεί να λειτουργήσει στη θερμοκρασιακή περιοχή 650-1000°C. Η θέρμανσή του γίνεται εξωτερικά με τη βοήθεια καυστήρων αερίου. Ως καύσιμο αέριο για την θέρμανση χρησιμοποιείται ένα μέρος από το παραγόμενο αέριο της εξαερίωσης, ενώ το υπόλοιπο είναι διαθέσιμο προς χρήση.

for Stability (SFS) του NATO, η ΔΕΗ συνεργάστηκε με το Ε.Μ.Π. και το Ερευνητικό Ινστιτούτο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών για την εργαστηριακή μελέτη, τον σχεδιασμό και την πιλοτική εγκατάσταση μιας μονάδας αλλόθερμης εξαερίωσης, τύπου περιστροφικού κλιβάνου.





Εξαερίωση άνθρακα



Αλλοθερμικός εξαεριωτής περιστροφικού κλιβάνου

Η πιλοτική μονάδα έχει τη δυνατότητα τροφοδοσίας σωματιδίων λιγνίτη μέχρι 30 mm χωρίς άλλη προκατεργασία, με ρυθμό 20-100 kg/h. Ο κλίβανος περιστρέφεται με ταχύτητα 1.5-5.5 rpm και μπορεί να λειτουργήσει στη θερμοκρασιακή περιοχή 650-1000°C. Η θέρμανσή του γίνεται εξωτερικά με τη βοήθεια καυστήρων αερίου. Ως καύσιμο αέριο για την θέρμανση χρησιμοποιείται ένα μέρος από το παραγόμενο αέριο της εξαερίωσης, ενώ το υπόλοιπο είναι διαθέσιμο προς χρήση.



Εξαερίωση άνθρακα



Αλλοθερμικός εξαεριωτής περιστροφικού κλιβάνου

Πιλοτικές δοκιμές με λιγνίτη Μεγαλόπολης έδωσαν στοιχειακή μετατροπή του άνθρακα 85-90 % στους 900°C, και 45-80 % στην περιοχή των 700-900°C. Το παραγόμενο αέριο είναι μίγμα H_2 , CO, CO_2 , CH_4 και η σύστασή του μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία.

Η παραγωγή αερίου στους 900°C φτάνει τα 30-50 kg ανά 100 kg λιγνίτη με ανώτερη θερμογόνο δύναμη 3000-4000 kcal/kg ή 11-13 MJ/m³. Πρόκειται δηλαδή για ένα **αέριο «μέσης» θερμογόνου δύναμης**, συγκρίσιμης με αυτήν των αεριογόνων Lurgi και Winkler.

Η απομένουσα τέφρα είναι περίπου 20 kg/100 kg λιγνίτη στους 900°C. Κάτω από 750°C, η θερμογόνος δύναμη της τέφρας είναι σημαντική (2500-2750 kcal/kg) λόγω ατελούς αντίδρασης.



Εξαερίωση άνθρακα



Αλλοθερμικός εξαεριωτής περιστροφικού κλιβάνου

Αξιολόγηση των πιλοτικών δοκιμών έδειξε ότι η θερμική απόδοση της μονάδας δεν ήταν ικανοποιητική, λόγω απωλειών στη μεταφορά θερμότητας και την έλλειψη θερμικής ολοκλήρωσης.

Για την βελτίωση της θερμικής απόδοσης προγραμματίζεται αύξηση των επιφανειών εναλλαγής, διέλευση των αερίων (μέσω σωλήνων) εντός του κλιβάνου, μόνωση των θερμών επιφανειών, στεγανοποίηση της θερμικής ενέργειας των διαφόρων ρευμάτων. Με την ενεργειακή αυτή ολοκλήρωση ελπίζεται ότι η θερμική ενέργεια του παραγόμενου αερίου θα φτάσει το 75-80 % της κατώτερης θερμογόνου δύναμης του τροφοδοτούμενου λιγνίτη.

Περαιτέρω βελτίωση θα ήταν δυνατή με σχεδιασμό και ενσωμάτωση του αλλοθερμικού κλιβάνου σε νέο ολοκληρωμένο κύκλο εξαερίωσης.



Εξαερίωση άνθρακα



ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΞΑΕΡΙΩΣΗ

Η υπόγεια εξαερίωση είναι παρόμοια με τις υπόλοιπες διεργασίες εξαερίωσης του άνθρακα, εκτός από το ότι ο άνθρακας αεριοποιείται επί τόπου, με εισαγωγή ατμού / οξυγόνου ή αέρα στο στρώμα.

Η πρώτη ιδέα για την χρησιμοποίηση αυτής της τεχνικής για την εκμετάλλευση κοιτασμάτων άνθρακα αναπτύχθηκε στην Αγγλία, στο μέσον του προηγούμενου αιώνα. Ομως, μόνο στα τέλη της δεκαετίας του 1930 υλοποιήθηκε η πρώτη πρακτική εφαρμογή στην τ. ΕΣΣΔ.

Μετά το 1945, πολλές άλλες χώρες εκδήλωσαν ενδιαφέρον για την υπόγεια εξαερίωση, αλλά οι επιτόπιες δοκιμές εγκαταλείφθηκαν σύντομα, κυρίως γιατί δεν έφεραν πειστικά αποτελέσματα. Ας σημειωθεί ότι το πετρέλαιο ήταν διαθέσιμο και φθηνό, αλλά έγιναν και ανακαλύψεις μεγάλων κοιτασμάτων φυσικού αερίου. Από την αρχή της δεκαετίας του 1970, το ενδιαφέρον για την υπόγεια εξαερίωση αναζωπυρώθηκε, λόγω των προβλημάτων παροχής φυσικού αερίου.



Εξαερίωση άνθρακα



ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΞΑΕΡΙΩΣΗ

Η υπόγεια εξαερίωση του άνθρακα συνδυάζει εξόρυξη και μετατροπή του άνθρακα σε ένα βήμα, χωρίς να χρησιμοποιηθούν συμβατικές τεχνικές εξόρυξης.

Είναι μία ελπιδοφόρα τεχνολογία για αποθέματα άνθρακα τα οποία δεν είναι τεχνικά ή οικονομικά ανακτήσιμα, είτε επειδή ο άνθρακας είναι σε πολύ παχύ στρώμα ή σε μεγάλο βάθος, είτε επειδή είναι πολύ ακάθαρτος, έχει υψηλό περιεχόμενο τέφρας ή είναι υγρός, ή έχει εξαιρετικά μεγάλη κλίση, ή τα υπερκείμενα του άνθρακα έχουν απρόβλεπτα και υποβαθμισμένα χαρακτηριστικά, που καθιστούν την εξόρυξη μη ασφαλή.

Η υπόγεια εξαερίωση του άνθρακα μπορεί επίσης να απαλείψει μερικά από τα προβλήματα υγείας και τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την συμβατική εξόρυξη του άνθρακα, αν και η προοπτική ρύπανσης των υπόγειων υδάτων είναι σημαντική.

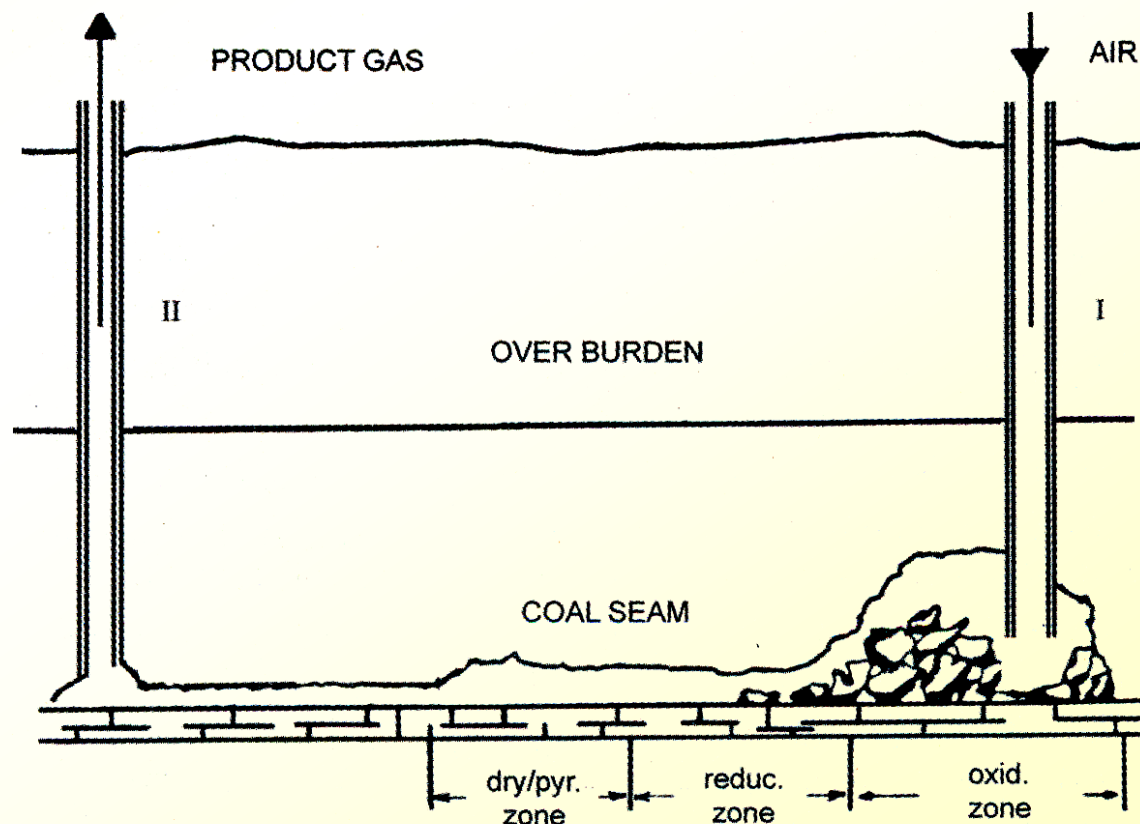


Εξαερίωση άνθρακα

Αρχές της υπόγειας εξαερίωσης

Οι αρχές της υπόγειας εξαερίωσης είναι παρόμοιες με αυτές των εξαεριωτών σταθερής κλίνης. Δια μέσου των υπερκειμένων ενός πεδίου άνθρακα ανοίγονται δύο οπές γεώτρησης, η μία (I) για εισαγωγή αερίου και η άλλη (II) για απομάκρυνση αερίου.

Το αέριο εισαγωγής μπορεί να είναι αέρας ή οξυγόνο με ατμό. Μεταξύ αυτών των δύο οπών γεώτρησης, παρέχονται συνδετικές δίοδοι στο κοίτασμα του άνθρακα, για να επιτρέψουν ανεμπόδιστο πέρασμα του αερίου με υψηλή ροή και χαμηλή πτώση πίεσης κατά την διάρκεια της εξαερίωσης.



Άποψη καναλιού κατά την εξαερίωση



Εξαερίωση άνθρακα



Αρχές της υπόγειας εξαερίωσης

Η υψηλή ροή είναι απαραίτητη ώστε: α) να αποτρέψει έμφραξη από πίσσα και τέφρα, που σχηματίζονται κατά την διάρκεια της πυρόλυσης και καύσης του άνθρακα, β) να αντισταθμίσει τον ρυθμό παρείσδυσης του ύδατος, γ) να μεγιστοποιήσει το τελικό εύρος του καναλιού και να αυξήσει έτσι την ανάκτηση πόρων για κάθε γεώτρηση συνδετικής διόδου και δ) να πετύχει ένα οικονομικά υψηλό ρυθμό παραγωγής.

Καθώς η καύση ξεκινά στον πυθμένα της οπής γεώτρησης I και συντηρείται με συνεχή εισαγωγή αέρα δια μέσου αυτής, η εξαερίωση προχωρεί από την περιοχή της οπής γεώτρησης I προς την περιοχή της οπής γεώτρησης II (ομόρροη ροή).

Οι αντιδράσεις που ακολουθούν, σε ένα τέτοιο σύστημα, διαμορφώνουν γρήγορα **τρεις διακριτές ζώνες**: τις ζώνες οξειδωσης, αναγωγής και πυρόλυσης/ξήρανσης.



Εξαερίωση άνθρακα



Αρχές της υπόγειας εξαερίωσης

Στην ζώνη οξείδωσης, όλο πρακτικά το οξυγόνο το οποίο εισάγεται καταναλώνεται ερχόμενο σε επαφή με τον άνθρακα, παράγοντας CO_2 . Αυτό, προωθείται προς την οπή γεώτρησης II από το επερχόμενο αέριο τροφοδοσίας και αντιδρά με τον άνθρακα, από τον οποίο μέρος των πτητικών έχουν απομακρυνθεί στην ζώνη αναγωγής (θερμοκρασίας $600-900^\circ\text{C}$) για τον σχηματισμό CO .

Λόγω του ενδόθερμου χαρακτήρα των αντιδράσεων στην ζώνη αναγωγής, η θερμοκρασία μειώνεται και το ρεύμα του αερίου εισέρχεται σε μία **ζώνη πυρόλυσης και ξήρανσης** (θερμοκρασίας 200°C έως 600°C), όπου αναμειγνύεται με τα πτητικά και τους υδρατμούς οι οποίοι εκλύονται από τον άνθρακα. Τα πτητικά είτε κινούνται προς την οπή γεώτρησης II σαν πίσσα, ή διασπώνται θερμικά και συνεισφέρουν στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογόνου και ελαφρών υδρογονανθράκων στην αέρια ροή.



Εξαερίωση άνθρακα



Αρχές της υπόγειας εξαερίωσης

Οι κύριες διαφορές, στο ακατέργαστο αέριο το οποίο παράγεται από την υπόγεια εξαερίωση, με αυτό το οποίο παράγεται από την εξαερίωση σταθερής κλίνης, είναι ότι

- ❑ το αέριο της υπόγειας εξαερίωσης έχει κάπως μικρότερη θερμογόνο δύναμη, λόγω ανεπαρκειών του συστήματος,
- ❑ η αναλογία πίσσας προς ύδωρ τείνει να είναι ποσοτικά μικρότερη και ποιοτικά ελαφρύτερη και
- ❑ τα φορτία σωματιδιακής ύλης είναι μεγαλύτερα, από ότι στην περίπτωση εξαερίωσης σταθερής κλίνης.

Οι εκπομπές αέρα δεν είναι σημαντικό πρόβλημα στην περίπτωση της υπόγειας εξαερίωσης του άνθρακα, αφού καθαρίζονται εύκολα με τις υφιστάμενες τεχνολογίες.

Ομως, η τεχνική αυτή παράγει τόσο ανόργανους όσο και οργανικούς ρυπαντές, οι οποίοι μπορεί να ρυπάνουν τα υπόγεια ύδατα στην περιοχή του κοιτάσματος του άνθρακα.