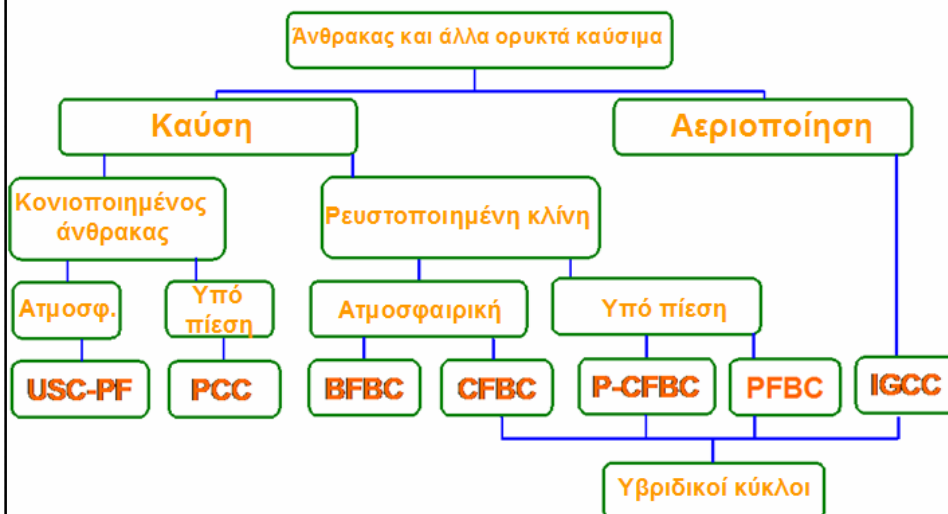


Καύση του άνθρακα στους ΣΑΗΣ- Νέες αποδοτικές τεχνολογίες

Δρ. Ανανίας Τομπουλίδης
Καθηγητής Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Τεχνολογίες καθαρού άνθρακα (CCT) στην παραγωγή ενέργειας



22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

- Τεχνολογίες καθαρού άνθρακα
 - Υπερκρίσιμοι λέβητες (Benson)
 - Ρευστοποιημένη κλίνη
 - Συνδυασμένος κύκλος και IGCC
 - Καύση με καθαρό οξυγόνο (oxyfuel)
 - Δέσμευση και αποθήκευση CO₂

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) *Γενικές αρχές της τεχνολογίας*

- ✓ Η καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο στους ανθρακικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και βασίζεται στην εμπειρία πολλών ετών που υπάρχει.
- ✓ Οι μονάδες PCC λειτουργούν σε πίεση περίπου ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, απλοποιώντας έτσι την κυκλοφορία των υλικών διαμέσου του σταθμού.
- ✓ Η κονιοποιημένη καύση απαιτεί τον θρυμματισμό του άνθρακα σε λεπτά κομμάτια και την κονιοποίησή του μαζί με ένα μέρος του αέρα καύσης (ονομαζόμενος πρωτογενής αέρας) στο κάτω μέρος του θαλάμου καύσης.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) **Γενικές αρχές της τεχνολογίας**

- ✓ Το υπόλοιπο μέρος του αέρα καύσης (δευτερογενής αέρας) εισάγεται απευθείας στο θάλαμο καύσης ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρης καύση του άνθρακα.
- ✓ Κατά την καύση επιτυγχάνονται θερμοκρασίες της τάξης των 1000-1500°C, και ένα μέρος της υπολειμματικής σκόνης που προκύπτει από την καύση (20-30%) κατέρχεται στη βάση του θαλάμου καύσης, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα οδηγείται από τα καυσαέρια.
- ✓ Τα μεγέθη των σωματιδίων του στερεού καυσίμου για την καύση εναιωρήματος (άλλη ονομασία της κονιοποιημένης καύσης) κυμαίνονται μεταξύ 10 και 1000 μm, και για το λόγο αυτό πρέπει να προηγηθεί ο θρυμματισμός του καυσίμου.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) **Γενικές αρχές της τεχνολογίας**

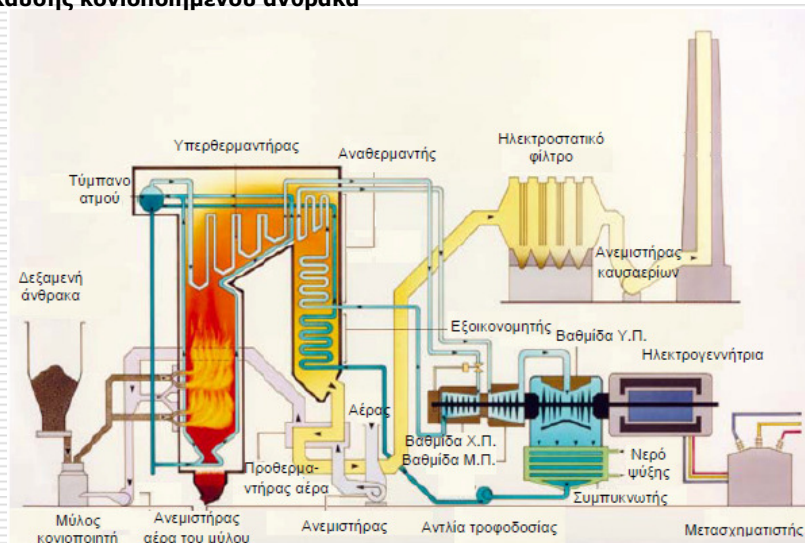
- Ένας σταθμός καύσης κονιοποιημένου στερεού καυσίμου αποτελείται από δύο βασικά δομικά στοιχεία:
- ✓ το θάλαμο καύσης, ο οποίος αποτελείται από ένα περίβλημα όπου λαμβάνει χώρα η καύση των αιωρούμενων σωματιδίων του στερεού καυσίμου,
 - ✓ τον καυστήρα, μέσω του οποίου το προετοιμασμένο στερεό καύσιμο και το μέσο για τη μεταφορά του (πρωτογενές μίγμα) μαζί με τον δευτερογενή αέρα, ο οποίος διασφαλίζει την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την καύση, εισέρχονται στο θάλαμο καύσης.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Γενικές αρχές της τεχνολογίας

Ο σταθμός καύσης κονιοποιημένου στερεού καυσίμου θα πρέπει να παρέχει τις εξής τεχνολογικές λειτουργίες για την επίτευξη επαρκών συνθηκών οικονομικής λειτουργίας και διαθεσιμότητας:

- ✓ την αυτανάφλεξη και σταθερή καύση του νέφους των αιωρούμενων σωματιδίων του στερεού καυσίμου,
- ✓ τη διασφάλιση ενός τύπου καύσης επαρκούς για την όσο το δυνατόν πιο πλήρη καύση των σωματιδίων του στερεού καυσίμου,
- ✓ την επίτευξη της κατάλληλης θερμοκρασίας των σωματιδίων στερεού καυσίμου και ενός πεδίου ροής τέτοιων ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι επικαθίσεις στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης και στις επιφάνειες ανταλλαγής θερμότητας με συναγωγή, που βρίσκονται πίσω από τον θάλαμο καύσης.

Εγκάρσια διατομή του κυκλώματος αέρα – καυσαερίων ενός σταθμού καύσης κονιοποιημένου άνθρακα



Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Γενικές αρχές της τεχνολογίας

- ✓ Η ανάγκη για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της καύσης του άνθρακα έχει οδηγήσει σε σχετικά πολύπλοκες διατάξεις σταθμών PCC, όπου απαιτείται η παρουσία των φίλτρων σκόνης, οξειδίων του αζώτου, και οξειδίων του θείου.
- ✓ Ο ακατέργαστος άνθρακας απαιτεί κατάλληλη προετοιμασία ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί στα συστήματα καύσης κονιοποιημένου άνθρακα με ασφάλεια, αλλά και με οικονομικά και ενεργειακά αποδοτικό τρόπο.
- ✓ Σε όλα τα συστήματα καύσης κονιοποιημένου άνθρακα το στερεό καύσιμο ξηραίνεται, θρυμματίζεται, ταξινομείται και αποστέλλεται στους λέβητες.
- ✓ Προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες καύσης, το στερεό καύσιμο θα πρέπει να έχει μέγιστη υγρασία 10-20% και, ως εκ τούτου, μπορεί να ξηραίνεται και στο εσωτερικό του θραυστήρα.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Γενικές αρχές της τεχνολογίας

- ✓ Προκειμένου να μην καταστραφούν οι μεταφορικοί ιμάντες ή ο φυσητήρας τροφοδοσίας του άνθρακα, οι θραυστήρες είναι εξοπλισμένοι με συστήματα αφαίρεσης των μικρών ανόργανων ή μεταλλικών υλικών.
- ✓ Η απομάκρυνση των μεγάλων σωματιδίων μετάλλου γίνεται με την τοποθέτηση ενός μαγνητικού διαχωριστήρα που εγκαθίσταται επί του ιμάντα μεταφοράς που μεταφέρει τον ακατέργαστο άνθρακα.
- ✓ Έχουν εξεταστεί διάφορες λύσεις για την αύξηση των επιδόσεων της PCC, όπως:
 - η αύξηση των αρχικών παραμέτρων,
 - η εισαγωγή της αναθέρμανσης,
 - η αναγεννητική προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας του λέβητα,
 - η μείωση της πίεσης συμπύκνωσης.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Γενικές αρχές της τεχνολογίας

✓ Η πίεση συμπύκνωσης προκύπτει από το θερμικό επίπεδο της πηγής ψύξης του συμπυκνωτή, και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η αύξηση των επιδόσεων της PCC μπορεί να γίνει μόνο με την αύξηση των αρχικών παραμέτρων του κύκλου.

✓ Ανάλογα με την τιμή της πίεσης και της θερμοκρασίας του ατμού, υπάρχουν σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής:

- A) υποκρίσιμων
- B) υπερκρίσιμων και
- Γ) υπερ-υπερκρίσιμων παραμέτρων.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Γενικές αρχές της τεχνολογίας

✓ Σε σταθμούς με υποκρίσιμες παραμέτρους, η πίεση του ατμού περιορίζεται σε:

- περίπου 175/190 bar για λέβητες φυσικής ανακυκλοφορίας εφοδιασμένους με ένα τύμπανο,
- περίπου 195/210 bar στην περίπτωση του λέβητα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

✓ Σε αυτούς τους λέβητες, υπάρχει ένα κορεσμένο μίγμα υγρού / ατμού στο επίπεδο του εξατμιστήρα του ατμοπαραγωγού.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) **Γενικές αρχές της τεχνολογίας**

- ✓ Σε έναν ατμοπαραγωγό μιας μονάδας με υπερκρίσιμες παραμέτρους δεν υπάρχει κορεσμένο νερό ή ατμός.
- ✓ Το νερό θερμαίνεται πάνω από τους 375°C και σε πίεση >221 bar μεταβαίνει κατευθείαν από την υγρή φάση στον υπέρθερμο ατμό.
- ✓ Ο ατμοπαραγωγός δεν είναι εξοπλισμένος με εξατμιστήρα. Η απουσία εξατμίσσης απαιτεί τροποποίηση του λέβητα, ο οποίος δεν μπορεί να περιέχει τύμπανο. Χρησιμοποιούνται μόνο ενιαίοι λέβητες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.
- ✓ Το ρευστό εργασίας μεταβαίνει κατευθείαν από την υγρή στην αέρια φάση στα συστήματα σωληνώσεων που καλύπτουν τα τοιχώματα του λέβητα.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) **Γενικές αρχές της τεχνολογίας**

- ✓ Η επιφάνεια εναλλαγής σε γενικές γραμμές θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την επιφάνεια εναλλαγής για τους λέβητες με υποκρίσιμες παραμέτρους.
- ✓ Συνολικά, η θερμική αδράνεια ενός τέτοιου λέβητα είναι σχετικά χαμηλή, επιτρέποντας μεταβολές φορτίου έως και 5% ανά λεπτό. Συνεπώς, οι σταθμοί αυτοί προσαρμόζονται για γρήγορες εκκινήσεις και συχνές αλλαγές φορτίου.
- ✓ Στους σταθμούς με υπερκρίσιμες παραμέτρους υπάρχει αύξηση τόσο της θερμοκρασίας όσο και της πίεσης του ατμού, η οποία περιορίζεται από τα όρια αντοχής των διαθέσιμων υλικών και μόνο (αγωγοί, στρόβιλοι, πτερύγια κλπ)

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Γενικές αρχές της τεχνολογίας

- ✓ Οι παράμετροι του ατμού για τους υπερκρίσιμους σταθμούς οδηγούν σε υψηλές θερμοκρασίες στους σωλήνες του υπερθερμαντήρα και αυξάνουν τα πιθανά ποσοστά διάβρωσης τόσο από την καύση όσο και από τον ατμό.
- ✓ Σε αντίθεση με τους σταθμούς υποκρίσιμων παραμέτρων, για τους σταθμούς υπερκρίσιμων παραμέτρων απαιτούνται νέα υλικά με υψηλότερες αντοχές στις θερμοκρασίες και τη διάβρωση, και πιο συγκεκριμένα για:
 - τις συνιστώσες του λέβητα με χοντρά τοιχώματα, όπως είναι οι συλλέκτες του υπερθερμαντήρα ή οι συλλέκτες του αναθερμαντή,
 - τις σωληνώσεις του υπερθερμαντήρα και του αναθερμαντή,
 - το στροφέιο του στροβίλου υψηλής πίεσης και το κάλυμμα αυτού.

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Γενικές αρχές της τεχνολογίας

- ✓ Η τεχνολογία της καύσης υπό εξελιγμένες υπερ-υπερκρίσιμες (ΥΥΚ - USC) συνθήκες, βασίζεται στην εμπειρία της τεχνολογίας PCC.
- ✓ Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας διαδραματίζουν τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται ο εξοπλισμός (κράματα με βάση το νικέλιο) και τα όρια αντοχής αυτών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθ' όλο τον κύκλο του ατμού.
- ✓ Η επίτευξη υψηλών παραμέτρων ($\geq 50\%$) απαιτεί την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών (650-720°C) και υψηλών πιέσεων (≥ 300 bar).
- ✓ Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με υπερ-υπερκρίσιμες παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί σε χώρες όπως η Δανία, η Γερμανία και η Ιαπωνία.

Αρχή Λειτουργίας υπερκρίσιμου λέβητα

- Το τροφοδοτικό νερό προθερμαίνεται, ατμοποιείται και εν συνεχεία υπερθερμαίνεται με ένα μόνο πέρασμα (single pass) από το λέβητα.
- Η τροφοδοτική αντλία παρέχει την απαραίτητη ισχύ για την κίνηση του εργαζόμενου μέσου.

Βασικές Διαφορές / Πλεονεκτήματα :

- Λειτουργία τόσο σε υπερκρίσιμες όσο και σε υποκρίσιμες συνθήκες
- Απουσία τυμπάνου
- Το ύψος ατμοποίησης ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας

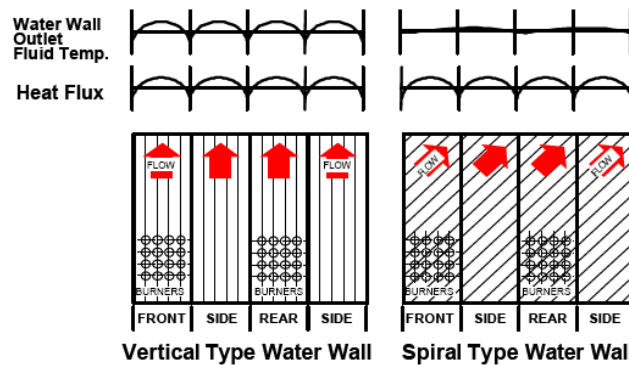
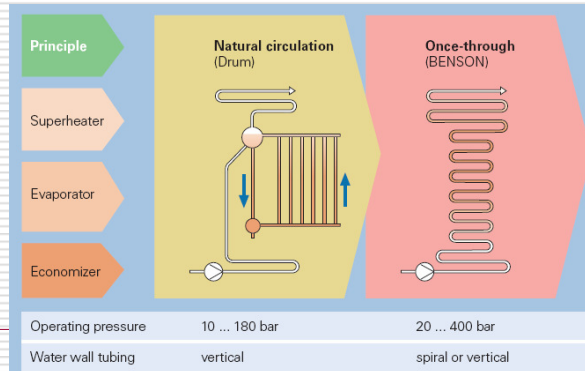
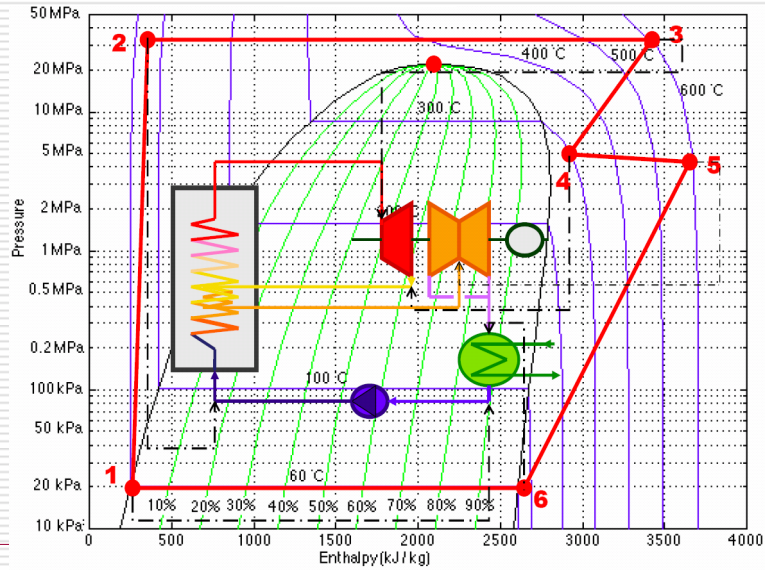


Figure 5 Fluid Temperature profile comparison for Water Wall Type



22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Αύξηση ΒΑ

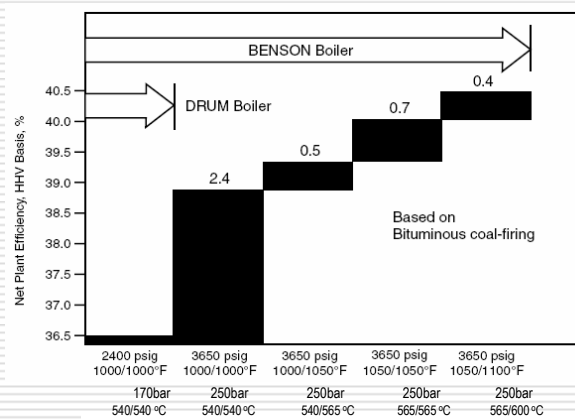
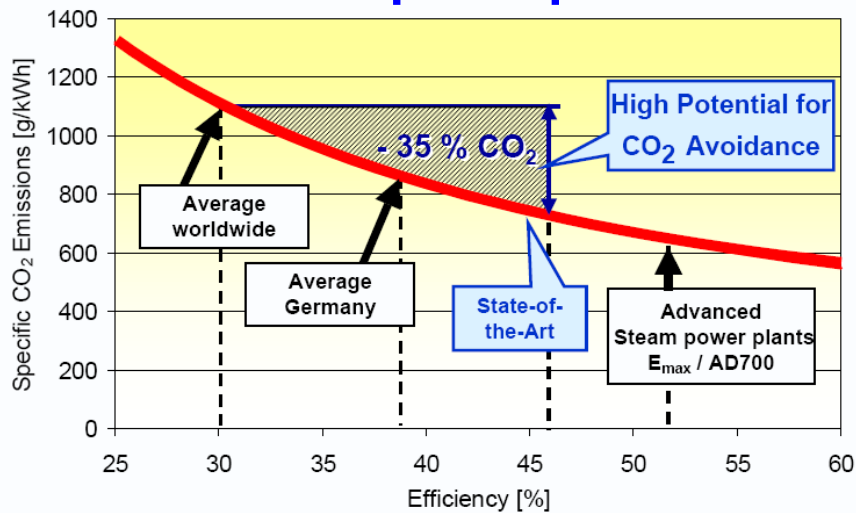


Figure 5 Effect of Boiler Steam Conditions on Net Plant Efficiency

250 bar, 540°/560 °C η< 40% (Net, LHV)	300 bar, 600°/620 °C η= 45+47% (Net, LHV)	300 bar, 630°/650 °C η= 47+49% (Net, LHV)	325 bar, 700°/700 °C η= 50+55% (Net, LHV)
---	--	--	--

Μείωση εκπομπών



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Γενικές αρχές της τεχνολογίας

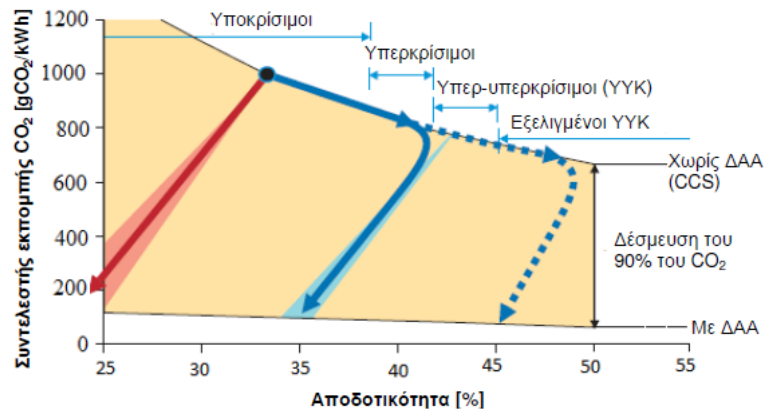
✓ Η χρήση της τεχνολογίας "Δέσμευσης και Αποθήκευσης του Άνθρακα" (ΔΑΑ / CCS) στους σταθμούς PCC, δεν συνιστάται στους σταθμούς των οποίων η απόδοση είναι κάτω του 35%, λόγω των προκαλούμενων πολύ μεγάλων πτώσεων της απόδοσης (σύμφωνα με μια έκθεση του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA)).

✓ Αυτός είναι ο λόγος που η εν λόγω τεχνολογία είναι καταλληλότερη για μονάδες που λειτουργούν σε υπερκρίσιμες ή υπερ-υπερκρίσιμες (ΥΥΚ) παραμέτρους, όπου οι αποδοτικότητες υπερβαίνουν το 40%

➔ Οι σταθμοί PCC είναι οι πλέον διαδεδομένοι παγκοσμίως (περιλαμβάνουν πάνω από το 90% των ανθρακικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής) και μπορούν να χρησιμοποιούν διάφορα είδη άνθρακα

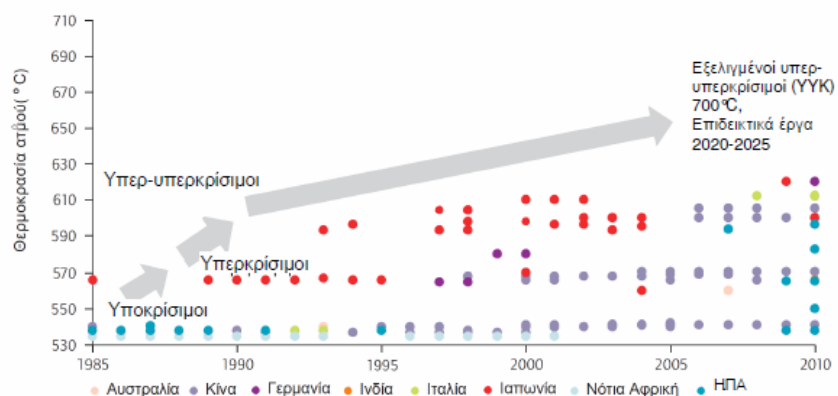
ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Η επίδραση της χρήσης της τεχνολογίας ΔΑΑ (CCS) σε σταθμούς PCC



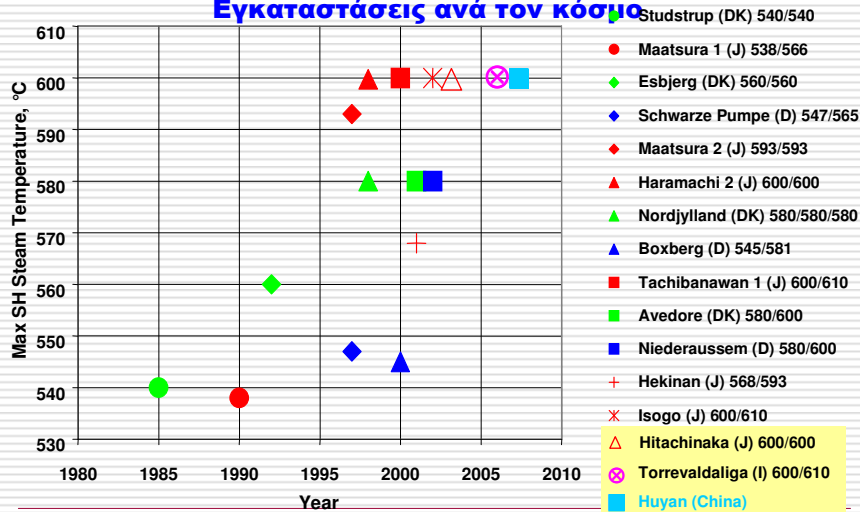
ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Η εξέλιξη των σταθμών PCC, με υποκρίσιμες, υπερκρίσιμες και υπερ-υπερκρίσιμες παραμέτρους



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

“State-of-the-art” supercritical τεχνολογίες Εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα

✓ Η διαδικασία που σχετίζεται με το λεπτό θρυμματισμό του άνθρακα είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η ταχεία και πλήρης καύση του άνθρακα προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη αποδοτικότητα και για να μειωθεί η ποσότητα των επικαθίσεων τέφρας και σωματιδίων στις επιφάνειες του εναλλάκτη θερμότητας.

✓ Η χονδρότητα των σωματιδίων επηρεάζει τόσο το κόστος όσο και τις εκπομπές NOX από τους διαθέσιμους καυστήρες.

✓ Οι θραυστήρες - αλλιώς γνωστοί ως σπαστήρες, αλλά και “μύλοι” - του άνθρακα, ανάλογα με την ταχύτητα λειτουργίας τους, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- τους βραδείς και
- τους ταχείς μύλους.

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα

✓ Βραδείς μύλοι:

- σφαιρόμυλοι θρυμματισμού σωλήνα,
- κυλινδρόμυλοι
- σφαιρόμυλοι με δακτύλιο (αυλάκι).

✓ Ταχείς μύλοι:

- σφυρόμυλοι
- μύλοι θρυμματισμού τύπου φτερωτής (ρότορα)
- σφυρόμυλοι με φτερωτή

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση (AFBC)

✓ Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη περιλαμβάνει τη θραύση του καυσίμου, σύμφωνα με τις ιδιότητές του, ώστε οι μεγαλύτεροι κόκκοι να έχουν διαμέτρους μεταξύ 3 και 20 mm.

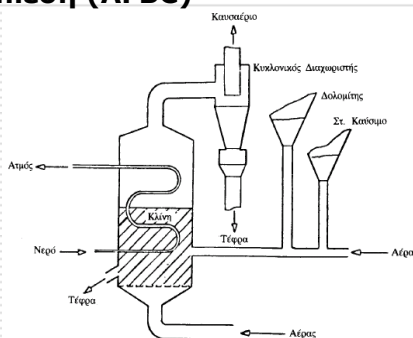
✓ Το θρυμματισμένο καύσιμο μεταφέρεται απευθείας στη ρευστοποιημένη κλίνη εντός του θαλάμου καύσης, όπου το μέσο μέγεθος των σωματιδίων είναι:

- ✓ 1000 μm για τη ρευστοποιημένη κλίνη με φυσαλίδες
- ✓ 100-1000 μm για τη ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία

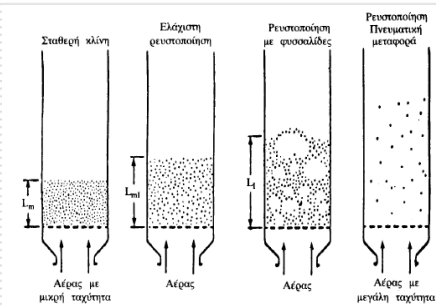
Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση (AFBC)

- ✓ Η καύση ρευστοποιημένης κλίνης (στρώματος) αφορά την καύση του θρυμματισμένου καυσίμου σε μία θερμή κλίνη, υπό ατμοσφαιρική πίεση, στο επάνω μέρος του θαλάμου καύσης, σε αντιρροή με ένα ρεύμα ανερχόμενου αέρα.
- ✓ Υπό την επίδραση της δύναμης της βαρύτητας, αντίστοιχα της άνωσης που παράγεται από τον αέρα, τα σωματίδια του καυσίμου (μαζί με σημαντικές ποσότητες τέφρας και άμμου) παραμένουν αιωρούμενα κατά τη διάρκεια της καύσης μέσα στο θάλαμο καύσης, διαμορφώνοντας μία κλίνη (στρώμα) με ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των ρευστών.
- ✓ Συνήθως χρησιμοποιείται η άμμος ως ένα υλικό που μπορεί να ρευστοποιείται κατά την εκκίνηση της λειτουργίας.
- ✓ Τα σωματίδια του καυσίμου ανέρχονται μόνο στο 1-3% της μάζας της ρευστοποιημένης κλίνης.

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση (AFBC)



Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας θαλάμου καύσης ρευστοποιημένης κλίνης



Διαφορά σταθερής ή ρευστοποιημένης κλίνης και πνευματικής μεταφοράς

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση (AFBC)

- ✓ Λόγω των θερμοκρασιών της καύσης που είναι περίπου 750-950°C και του μεγάλου χρόνου παραμονής, το επίπεδο καύσης του καυσίμου είναι πολύ υψηλό και, ως εκ τούτου, οι εκπομπές που σχετίζονται με τα προϊόντα της καύσης είναι σχετικά χαμηλές.
- ✓ Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη λεβήτων ρευστοποιημένης κλίνης:
 - Λέβητας ρευστοποιημένης κλίνης με φυσαλίδες (BFBC),
 - Λέβητας ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία (CFBC).

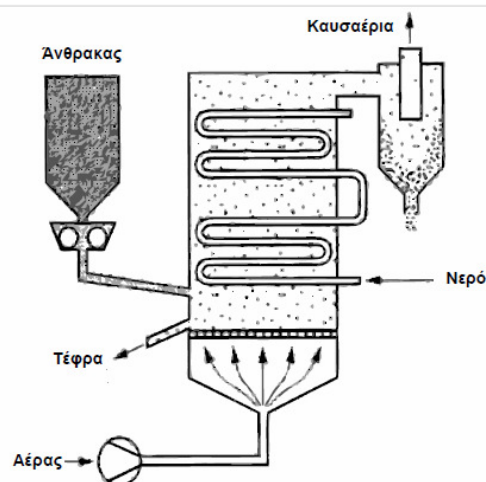
Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση με φυσαλίδες (BFBC)

- ✓ Στην καύση του άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με φυσαλίδες (BFBC) τα σωματίδια του καυσίμου υπόκεινται σε συνεχή διέγερση (ζέση/βρασμός).
- ✓ Τα καυσαέρια εξέρχονται από το επάνω μέρος του θαλάμου καύσης και απάγονται στην ατμόσφαιρα μέσω μιας καπνοδόχου, αφού προηγουμένως έχει αφαιρεθεί από αυτά η σκόνη.
- ✓ Εντός του θαλάμου καύσης είναι εμβαπτισμένοι οι σωλήνες μέσω των οποίων κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο νερό-ατμός.
- ✓ Η καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη με φυσαλίδες περιλαμβάνει τη στιγμιαία πυρόλυση των στερεών καυσίμων που έρχονται σε επαφή με την θερμή κλίνη, και, ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται μόνο το 30-40% του αέρα της καύσης ως αέρας ρευστοποίησης.

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη υπό ατμοσφαιρική πίεση με φυσαλίδες (BFBC)

- ✓ Η υπόλοιπη ποσότητα χρησιμοποιείται για την καύση των αερίων της πυρόλυσης, από τη λεγόμενη ελεύθερη κλίνη που βρίσκεται επάνω από την κλίνη με τις φυσαλίδες.
- ✓ Τα περισσότερα από τα λεπτά σωματίδια καίγονται και αυτά στην ελεύθερη κλίνη.
- ✓ Η θερμοκρασία καύσης στην ελεύθερη κλίνη μπορεί να φτάσει τους 1100-1200°C ή και περισσότερο, τοπικά.
- ✓ Η κλίνη φυσαλίδων λειτουργεί στην ουσία ως ένας αδιαβατικός καυστήρας καυσίμου και η χαμηλή θερμοκρασία καύσης είναι το αποτέλεσμα της υπο-στοιχειομετρικής καύσης στην πρωτεύουσα ζώνη της καύσης

Απλοποιημένο διάγραμμα καύσης άνθρακα σε μονάδα ρευστοποιημένης κλίνης με φυσαλίδες



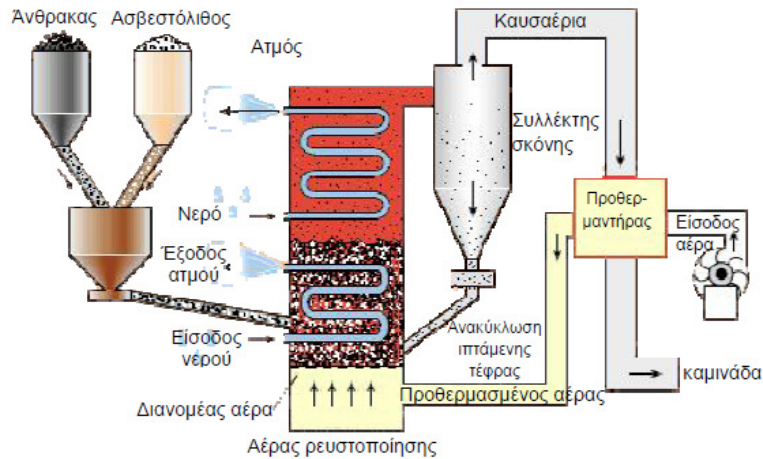
Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC)

- ✓ Κατά την καύση του άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC) εκτοξεύεται αέρας στη βάση του θαλάμου καύσης, κατά το ένα μέρος ως πρωτογενής αέρας καύσης, μέσω δικτύου ακροφυσίων, και κατά το υπόλοιπο ως δευτερογενής αέρας, λίγα μέτρα πάνω από το δίκτυο.
- ✓ Η ταχύτητα του αέρα είναι σχετικά υψηλή, για τη μεταφορά των στερεών υλικών από την κλίνη στον αέρα, γεμίζοντας έτσι ολόκληρο το θάλαμο καύσης.
- ✓ Τα θερμά καυσαέρια μεταφέρουν τα σωματίδια προς το άκρο του θαλάμου καύσης, στους κυκλώνες (συστήματα καθαρισμού) υψηλού φορτίου, όπου διαχωρίζονται και επιστρέφουν στη βάση του κύριου θαλάμου καύσης

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC)

- ✓ Η κύρια διαφορά στην περίπτωση της ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία συνίσταται στην παρουσία ενός κυκλώνα στη έξοδο του θαλάμου καύσης.
- ✓ Ο κυκλώνας σχεδιάζεται ώστε να παρακρατεί και να ξαναστέλνει πίσω στο θάλαμο καύσης τα βαριά σωματίδια του άνθρακα που δεν έχουν καεί πλήρως, καθώς και τις ποσότητες άμμου και τέφρας που μετακινήθηκαν από την ρευστοποιημένη κλίνη με τα καυσαέρια.
- ✓ Έτσι, η ρευστοποιημένη κλίνη δεν είναι πλέον στατική, αφού αναπτύσσεται ένας βρόγχος κυκλοφορίας

Απλοποιημένο διάγραμμα μιας μονάδας καύσης άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC)

- ✓ Για να καταστεί δυνατή η δέσμευση του SO₂, προστίθεται στην κλίνη θρυμματισμένος ασβεστόλιθος ή δολομίτης.
- ✓ Τα συστήματα κλινών ανακυκλοφορίας αυξάνουν το δυνατό χρόνο αντίδρασης και το επίπεδο του μίγματος των αερίων, οδηγώντας έτσι σε μια εν γένει πιο αποδοτική καύση και σταθεροποίηση του θείου.
- ✓ Η ρύθμιση της θερμοκρασίας εντός του στρώματος γίνεται μέσω της κατάλληλης μεταβολή της ροής του καυσίμου, καθώς και των ροών του πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή αέρα.
- ✓ Το μέγεθος των σωματιδίων του άνθρακα για την καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία είναι 0,1-0,6 mm, και ο ρυθμός ρευστοποίησης είναι 4-6 m/s

ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC)

- ✓ Τα συστήματα καύσης ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία είναι φιλικά προς το περιβάλλον, αφού με την έγχυση ασβεστόλιθου προκύπτει μείωση των εκπομπών SO₂, αλλά και λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της καύσης προκύπτει μείωση των θερμικών εκπομπών NO_x.
- ✓ Έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη αυτής της προηγμένης τεχνικής καύσης, και ειδικότερα εξαιτίας του ότι παρέχει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός ευρέος φάσματος καυσίμων.
- ✓ Στους σταθμούς AFBC, λόγω της άμεσης έγχυσης ασβεστόλιθου, δεν υπάρχει ανάγκη για την εγκατάσταση πρόσθετης μονάδας αποθείωσης. Έχει καταγραφεί απόδοση 95% όσον αφορά τη δέσμευση των εκπομπών SO₂, ενώ και οι εκπομπές NO_x μειώνονται κατά 60% σε σύγκριση με τη συμβατική τεχνολογία.

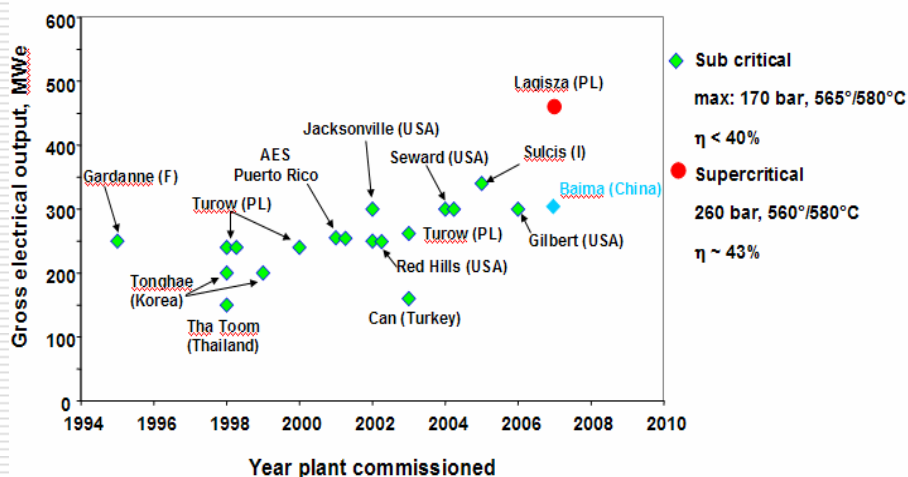
Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC)

- ✓ Άλλο ένα πλεονέκτημα συνίσταται στην παγίδευση του χλωρίου και των φθοριούχων ενώσεων στην τέφρα
- ✓ Η αποδοτικότητα των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής AFBC είναι αντίστοιχη αυτής των συμβατικών σταθμών κονιοποιημένου άνθρακα με υποκρίσιμες παραμέτρους (<40%), αλλά η χρήση υπερκρίσιμων παραμέτρων από την πλευρά του ατμού επιτρέπει την αύξησή της.
- ✓ Στους σταθμούς με υπερ-υπερκρίσιμες παραμέτρους προκύπτει μείωση του καυσίμου και των εκπομπών κατά 25% έως 30% σε σύγκριση με τους σταθμούς με υποκρίσιμες παραμέτρους.

Καύση άνθρακα σε ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (CFBC)

- ✓ Το κόστος των λεβήτων και των ατμοστροβίλων μπορεί να είναι έως και 40% - 50% υψηλότερο σε ένα σταθμό με υπερ-υπερκρίσιμες παραμέτρους σε σχέση αυτού για ένα σταθμό με υποκρίσιμες παραμέτρους.
- ✓ Το κόστος του ισοζυγίου του σταθμού (BoP) μπορεί να είναι κατά 13% έως 16% χαμηλότερο, λόγω της εξοικονόμησης στα καύσιμα, αλλά και των ελαττωμένων δαπανών για τη διαχείριση του άνθρακα και των καυσαερίων.
- ✓ Η συνολική επένδυση για ένα σταθμό με υπερ-υπερκρίσιμο κύκλο ατμού είναι 12 έως 15% υψηλότερη εκείνης για ένα σταθμό με υποκρίσιμο κύκλο.

“State-of-the-art” CFBC τεχνολογίες Εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο



Καύση PC σε υπερκρίσιμες συνθήκες (USC PC)

- Επίτευξη πολύ υψηλών Β.Α. με υπερκρίσιμους κύκλους ατμού
- **Προβλήματα:** Περιορισμός σε ένα μόνο τύπο καυσίμου. Ανάγκη για νέα αξιόπιστα υλικά με αποδεκτό κόστος για την κατασκευή του συστήματος ατμού (αγωγοί, στρόβιλοι, πτερύγια κλπ) και λέβητα και βελτίωση του σχεδιασμού των συσκευών για ελαχιστοποίηση του κόστους

Καύση ρευστοποιημένης κλίνης με ανακύκλωση (CFBC), σε υπερκρίσιμες συνθήκες ατμού

- Χαμηλές εκπομπές NO_x λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Ανάγκη αύξησης εγκατεστημένης ισχύος σε 600-800MWe με χρήση προχωρημένων υπερκρίσιμων κύκλων ατμού
- **Προβλήματα:** Υλικά για αποφυγή ρωγμών λόγω θερμικών τάσεων σε καυστήρες και κυκλώνια, βελτίωση σχεδιασμού
- Δυνατότητα αντικατάστασης άνθρακα με ~20% βιομάζα άλλο καύσιμο για μείωση εκπομπών CO₂

Συνδυασμένος κύκλος με ενσωματωμένη αεριοποίηση καυσίμου (IGCC)

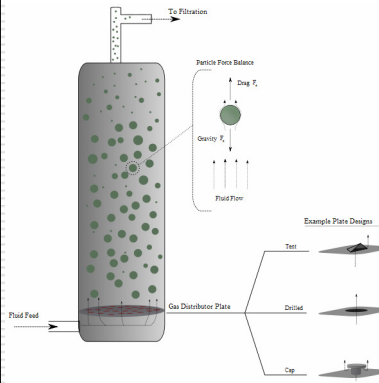
- Επίτευξη πολύ υψηλών Β.Α. με συνδυασμό «topping» των κύκλων αεριο- και ατμοστρόβιλου
- Ανάπτυξη και βελτίωση μεθόδων αεριοποίησης
- Ανάπτυξη καυστήρων αεριοστρόβιλων που επιτρέπουν τη σωστή χρήση καυσίμων πλούσιων σε υδρογόνο
- Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση για την ενσωμάτωση της δέσμευσης CO₂

Καύση καυσίμου με οξειδωτικό αυξημένης περιεκτικότητας σε O₂ (Oxy-fuel)

- Επίτευξη ευκολότερης δέσμευσης CO₂ λόγω απουσίας N₂
- Ανάπτυξη λιγότερο ενεργοβόρων μεθόδων για δέσμευση του CO₂ σε σχέση με τη χρήση αμινών (amine scrubbing)
- Τεχνικο-οικονομική ανάλυση της χρήσης oxy-fuel σε υπάρχοντες σταθμούς παραγωγής για παραγωγή πιο συγκεντρωμένου ρεύματος CO₂
- Ανάπτυξη πιο οικονομικών και λιγότερο ενεργοβόρων μεθόδων διαχωρισμού O₂

Συμπέρασμα: Είναι σημαντική η μείωση του παραγόμενου CO₂ με αύξηση του ΒΑ του συστήματος ώστε να είναι μικρότερες οι ποσότητες που πρέπει να δεσμευτούν και να αποθηκευθούν μετά την καύση

Ρευστοποιημένη κλίνη



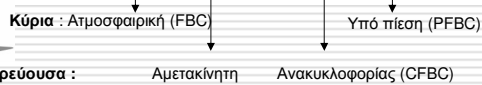
Ορισμός

Μια ποσότητα στερεών σωματιδίων υφίσταται παρειαρισκόμην σε ένα δοχείο με διάτρητο δίσκο (ή άλλη διάταξη ισοκατανομής αερίου) που αναγκάζεται να συμπεριφερθεί ως ρευστό, συνήθως με την εξαναγκαστική είσοδο ρευστού, συχνά αερίου, κάτω από την διάταξη ισοκατανομής του αερίου.

Περιοχές χρήσης

- Καύση (Fluidised Bed Combustion – FBC)
- Χημική βιομηχανία (Fluidised Bed Reactor – FBR)
- Πετροχημική βιομηχανία (Fluid Catalytic Cracking – FCC)

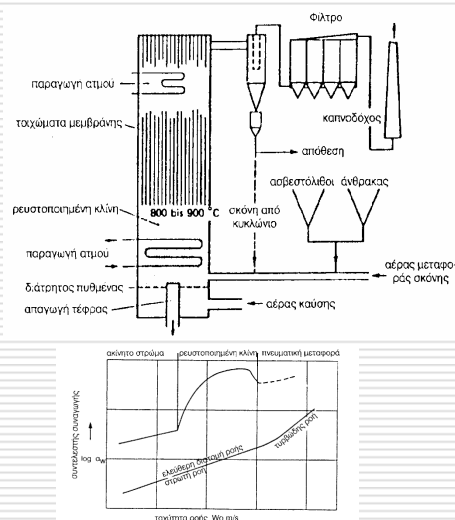
Κατηγοριοποίηση ρευστοποιημένης κλίνης



Χαρακτηριστικά λέβητα με εστία ρευστοποιημένης κλίνης

- Θερμοκρασία κλίνης : 800-900 °C
- Θερμοκρασία καυσαερίων : 800-900 °C
- Ταχύτητα αέρα καύσης : 4,5-5 m/s
- Φόρτιση διατομής κλίνης : 1-1,5 MW/m²
- Ποσοστό καυσίμου στην κλίνη: 1-3%
- Ισχύς από βυθισμένες σωλήνες : 60%

Ρευστοποιημένη κλίνη - Αμετακίνητη (BFB)

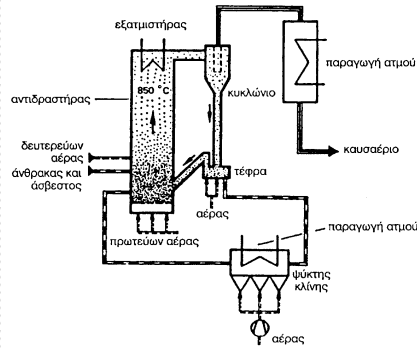


Ιδανική για καύση:

- Ξύλου
- Φλοιού
- Λυματοάσπης

Χαρακτηριστικά

- Λειτουργεί με πλούσιο μίγμα (60-70% αέρα)
- Ιδανικό για καύση φτωχών καυσίμων με μεταβλητή σύσταση και υψηλά ποσοστά υγρασίας (μέχρι 62% χωρίς βοηθητικό καύσιμο)
- Ιδανικό για καύση βιομάζας
- Χαμηλές εκπομπές NOx (λόγω στοιχειομετρίας καύσης)
- Κατάλληλες μονάδες προς μετατροπή σε BFBC: Λιγνιτικές
- Μέτρια ικανότητα απορρόφησης θείου
- Δεν είναι κατάλληλη για καύση λιθανθρακικών καυσίμων, υγρών και αερίων γενικότερα.



Ιδανική για καύση:

- Αποβλήτων λιθάνθρακα
- Ξύλου
- Απόβλητα ασφάλτου
- Απόβλητα ανθρακίτη
- Αργιλικό σχιστόλιθο

Χαρακτηριστικά

- Λειτουργεί με φτωχό μίγμα
- Δυνατότητα καύσης όλων των ειδών καυσίμου χαμηλής θερμογόνου (στερεά, υγρά, αέρια)
- Μεγαλύτερο μέγεθος φούρνου από κλασικό λέβητα λιθάνθρακα (λόγω υψηλότερων παροχών)
- Χαμηλές εκπομπές NOx και SOx
- Κατάλληλες μονάδες προς καύση λιγνιτικών κατάλοιπων
- Απαιτεί μικρό μέγεθος σωματιδίων (0,8 mm)
- Ταχύτητα αερίου καύσης : 5-8 m/s
- Υπερκρίσιμοι λέβητες
- Ταυτόχρονη έγχυση υλικού για αποθείωση
- Απομάκρυνση σωματιδίων

Παράμετροι καθορισμού διαστάσεων «κρεβατιού»

- Τροφοδοσία, Παροχή αέρα
- Ταχύτητα
- Ανακυκλοφορία στερεού
- Ποσοστό κενού
- Χρόνος παραμονής στερεού στον φούρνο

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

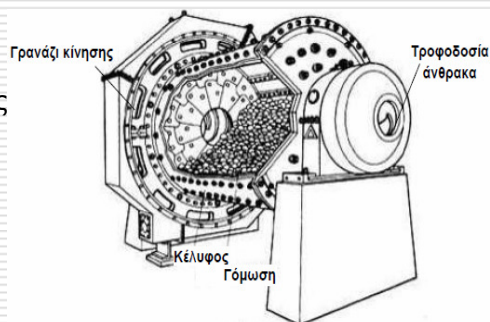
Θραυστήρες άνθρακα -Σφαιρόμυλος θρυμματισμού σωλήνα

✓ Αποτελείται από έναν οριζόντιο κύλινδρο του οποίου το εσωτερικό καλύπτεται από πλάκες σκληρού χάλυβα.

✓ Είναι γεμάτος κατά το ένα τρίτο με σφυρήλατες χαλύβδινες σφαίρες διαφόρων μεγεθών, με διαμέτρους που κυμαίνονται μεταξύ 30 και 80 mm.

✓ Ο μύλος περιστρέφεται οδηγώντας τα σωματίδια του άνθρακα μαζί με τις σφαίρες στο εξωτερικό του κυλίνδρου.

✓ Λόγω της περιστροφής του σωλήνα, οι σφαίρες οδηγούνται στο επάνω μέρος, από όπου πέφτοντας χτυπούν τους κόκκους του άνθρακα μέχρι να αποκολληθούν.



Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Θραυστήρες άνθρακα -Σφαιρόμυλος θρυμματισμού σωλήνα

- ✓ Τα σωματίδια του άνθρακα που προκύπτουν ξηραίνονται μέσω θερμού αέρα και προωθούνται στο διαχωριστήρα. Εκεί, εξάγονται τα μεγαλύτερα κομμάτια και στέλνονται ξανά πίσω για θραύση.
- ✓ Η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι σφαίρες χωρίς να μπορούν να αποσπαστούν από το σωλήνα, οπότε δεν γίνεται και θραύση των κόκκων του άνθρακα, ονομάζεται ταχύτητα απώλειας στήριξης και εξαρτάται από την διάμετρο D του τυμπάνου:

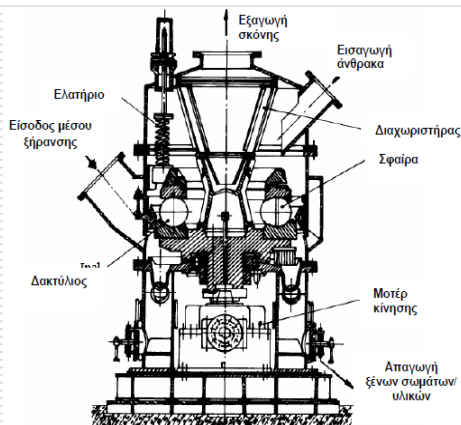
$$n_{cr} = \frac{42}{\sqrt{D}}, \text{ rpm}$$

- ✓ Ο μύλος συνθλίβει το υλικό σε πολύ μικρά κομμάτια, καταναλώνοντας μεγάλες ποσότητες ενέργειας (16-35 kWh/t).
- ✓ Αυτό το είδος του μύλου εξοπλίζει τα συστήματα προετοιμασίας σκόνης άνθρακα με ενδιάμεση δεξαμενή αποθήκευσης, για ανώτερης ποιότητας άνθρακες

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

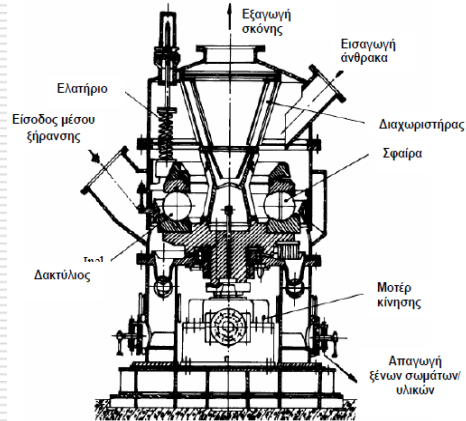
Θραυστήρες άνθρακα -Σφαιρόμυλος με δακτύλιο (αυλάκι)

- ✓ Ο σφαιρόμυλος με δακτύλιο χρησιμοποιείται για τη θραύση ασφαλούχου άνθρακα με αποτέλεσμα το λεπτό θρυμματισμό του.
- ✓ Η υγρασία του άνθρακα δεν μπορεί να υπερβαίνει το 16%, γιατί θα προκληθεί έμφραξη.
- ✓ Η θραύση γίνεται μέσω διαδοχικών συμπίεσεων του άνθρακα από σφαίρες που εισέρχονται σε ένα δακτυλιοειδές αυλάκι.



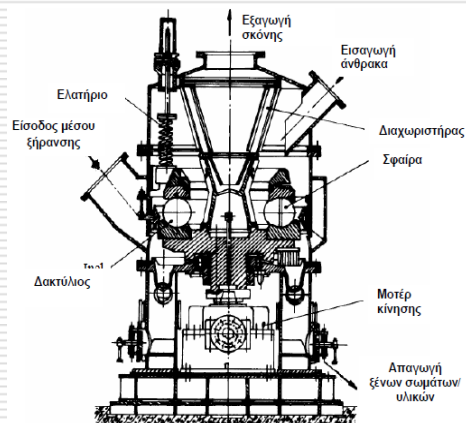
Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα -Σφαιρόμυλος με δακτύλιο (αυλάκι)

- ✓ Τα στοιχεία της σύνθλιψης ωθούνται από ελατήρια ή από υδραυλικά συστήματα.
- ✓ Η τροφοδοσία του ακατέργαστου άνθρακα γίνεται κεντρικά, από όπου η φυγόκεντρος δύναμη που αναπτύσσεται λόγω της περιστροφής της μάζας που βρίσκεται στο κέντρο κατευθύνει τον άνθρακα στο δακτυλιοειδές αυλάκι.



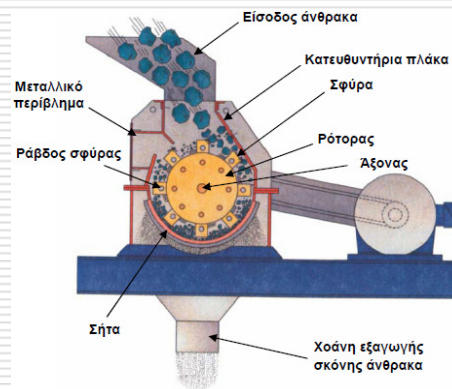
Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα -Σφαιρόμυλος με δακτύλιο (αυλάκι)

- ✓ Ο φυγόκεντρικός διαχωριστής βρίσκεται στο επάνω μέρος του μύλου.
- ✓ Η ειδική κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη και κυμαίνεται σε 12-18 kWh/t.
- ✓ Ο κυλινδρόμυλος έχει παρόμοια δομή με το σφαιρόμυλο με δακτύλιο, μόνο που οι σφαίρες αντικαθίστανται σε αυτή την περίπτωση με ρολά κυλινδρικού σχήματος.



Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Σφυρόμυλος

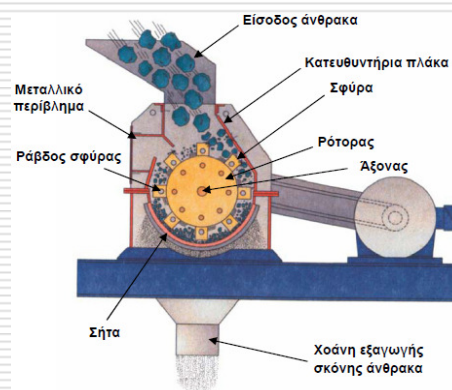
- ✓ Περιλαμβάνει μια σειρά από σταθερές ή ταλαντούμενες σφύρες, οι οποίες περιστρέφονται μέσα σε ένα περίβλημα που καλύπτεται από ανθεκτικές πλάκες.
- ✓ Ο άνθρακας θρυμματίζεται από τις συγκρούσεις και τις τριβές.
- ✓ Τα μεγαλύτερα σωματίδια συλλέγονται προς την άκρη των σφυρών, ως αποτέλεσμα των φυγόκεντρων δυνάμεων, ενώ τα λεπτότερα σωματίδια κινούνται προς τα εμπρός.



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Σφυρόμυλος

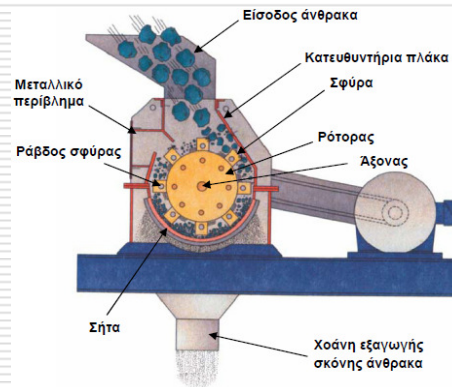
- ✓ Η θραύση του άνθρακα συνοδεύεται από μια αύξηση της πίεσης του αερίου φορέα, που συνεπάγεται τη χρήση ενός διαχωριστήρα βασιζόμενου στη φυγόκεντρο δύναμη για το διαχωρισμό των μεγάλων σωματιδίων, τα οποία στέλνονται πίσω ξανά για θραύση.
- ✓ Οι σφύρες κατασκευάζονται από κράματα χάλυβα ή χυτοσίδηρου με μαγγάνιο, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για 400-800 ώρες, χωρίς να μειωθούν οι θραυστικές τους επιδόσεις.



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

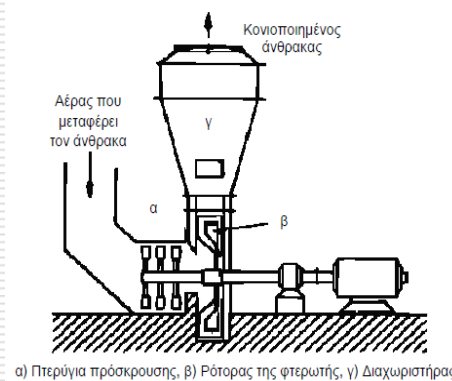
Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Σφυρόμυλος

- ✓ Όταν χρησιμοποιούνται τα καυσαέρια για την ξήρανση του καυσίμου, τα αέρια θα προέρχονται από το τμήμα του κλιβάνου όπου έχουν την υψηλότερη πίεση.
- ✓ Εάν τα καυσαέρια περιέχουν SO_2 , η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του μύλου πρέπει να διατηρείται πάνω από το σημείο δρόσου του οξέος.
- ✓ Ο μύλος έχει χαμηλή ειδική κατανάλωση ενέργειας (8 - 18 kWh/t) και χρησιμοποιείται στη θραύση φαιάνθρακα (λιγνίτη) με χαμηλή υγρασία και μιγμάτων ασφαλτούχου άνθρακα



Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Μύλος τύπου φτερωτής (ρότορα)

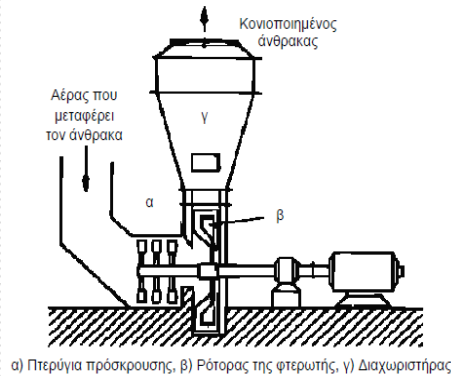
- ✓ Πέρα από τη λειτουργία της θραύσης, ο μύλος τύπου φτερωτής συμβάλει επίσης στον αερισμό, ωθώντας το καύσιμο στον καυστήρα.
- ✓ Η κατάθλιψη μπροστά από το ρότορα επιτρέπει το σχηματισμό του ανακυκλοφορούντος ρεύματος καυσαερίων στο άκρο του θαλάμου καύσης και, ως εκ τούτου, ο μύλος χρησιμοποιείται για τη θραύση φαιανθράκων με υψηλή υγρασία.



Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Μύλος τύπου φτερωτής (ρότορα)

✓ Ο πύργος προξήρανσης βρίσκεται πριν από το μύλο, όπου ο ακατέργαστος άνθρακας έρχεται σε επαφή με το καυσαέριο που αναρροφάται από το άκρο του θαλάμου καύσης.

✓ Το καύσιμο θρυμματίζεται από τα κτυπήματα των πτερυγίων, τα οποία περιστρέφονται με πολύ μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα (90-100 m/s).

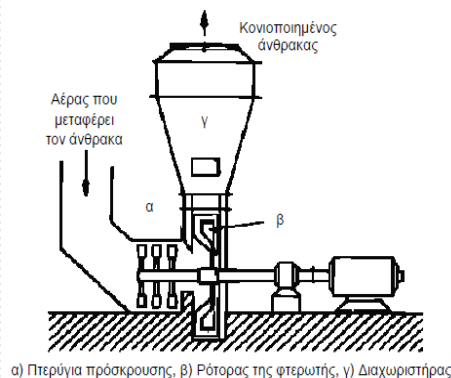


Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Μύλος τύπου φτερωτής (ρότορα)

✓ Η φτερωτή διεγείρει το μίγμα των φυσαλίδων και αυξάνει τόσο τη σχετική όσο και την απόλυτη ταχύτητα των σωματιδίων μέσα στο αέριο.

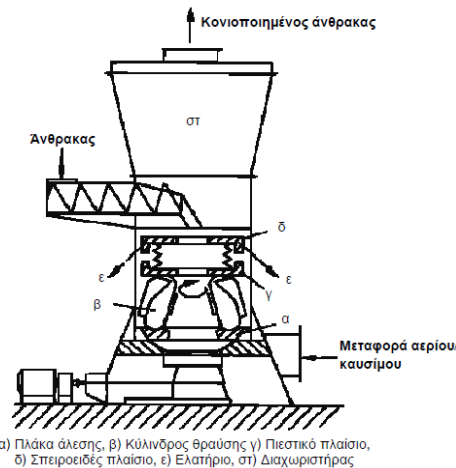
✓ Η ανάμιξη αυτή συμβάλλει στην ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων του άνθρακα και στη μείωση της υγρασίας του άνθρακα (ειδικά για την περίπτωση ανθράκων με υψηλά επίπεδα υγρασίας).

✓ Η ειδική κατανάλωση ενέργειας είναι χαμηλή (9-14 kWh/t).



Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Κυλινδρόμυλος με κοίλωμα (δακτύλιο)

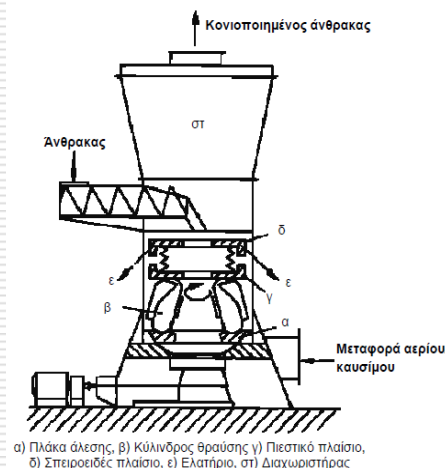
- ✓ Σε έναν κυλινδρόμυλο με κοίλωμα ο άνθρακας ψεκάζεται μεταξύ δύο επιφανειών που περιστρέφονται η μία πάνω στην άλλη.
- ✓ Τρεις κύλινδροι θραύσης τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις, κατά ένα τριγωνικό σύστημα φόρτισης.
- ✓ Αυτό οδηγεί στην εφαρμογή της πίεσης του ελατηρίου μέσω των αξόνων στήριξης του κυλίνδρου / ράουλου για τη φόρτιση των ράουλων, πιέζοντας έτσι την περιστρεφόμενη πλάκα άλεσης.



ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) Θραυστήρες άνθρακα - Κυλινδρόμυλος με κοίλωμα (δακτύλιο)

- ✓ Ο δακτύλιος θραύσης λειτουργεί σε χαμηλή ταχύτητα.
- ✓ Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι το 25-45% της διαμέτρου του δακτυλίου.
- ✓ Καθώς ο ακατέργαστος άνθρακας ωθείται μέσω του σωλήνα τροφοδοσίας, αναμιγνύεται μερικώς με το θρυμματισμένο άνθρακα και με τον αέρα, ο οποίος ανακυκλοφορεί στη ζώνη θραύσης.
- ✓ Εφόσον μειωθούν οι διαστάσεις των σωματιδίων, αυτά θα πρέπει να ξηραθούν και αποστέλλονται, με τον θερμό αέρα, προς τον εσωτερικό διαχωριστήρα.

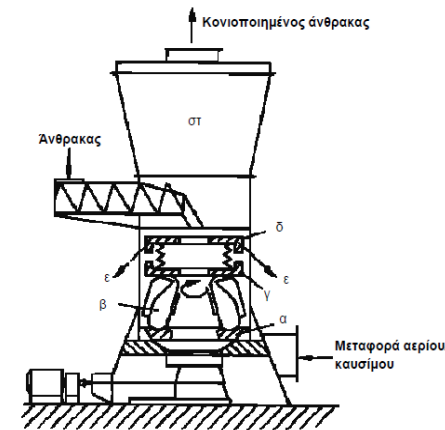


ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
22 – 23 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 2015, ΚΑΠΕ

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC)

Θραυστήρες άνθρακα - Κυλινδρόμυλος με κοίλωμα (δακτύλιο)

- ✓ Τα σωματίδια με μη ικανοποιητικές διαστάσεις πρέπει να επιστρέψουν στην περιοχή θραύσης ώστε να γίνουν μικρότερα, ενώ τα συμβατά μεταφέρονται στον καυστήρα.
- ✓ Η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας μειώνεται καθώς μειώνεται ο "Δείκτης Θραύσης" του άνθρακα, και η κατανάλωση ενέργειας ανά τόνο θερμότητας μειώνεται καθώς αυξάνεται ο ρυθμός θερμότητας.
- ✓ Οι τυπικοί κυλινδρόμυλοι μειώνουν τους σβόλους του άνθρακα με διάμετρο $> 5 \text{ cm}$ σε ένα προϊόν το οποίο εν γένει περιέχει κατά το 70% σωματίδια διαμέτρου $74 \mu\text{m}$



α) Πλάκα αλέσης, β) Κύλινδρος θραύσης γ) Πιστικό πλαίσιο, δ) Σπειροειδές πλαίσιο, ε) Ελατήριο, στ) Διαχωριστήρας

Παράδειγμα (2)

- Μονάδα ΑΗΣ καίει λιγνίτη ο οποίος στη φυσική του κατάσταση έχει θερμογόνο δύναμη $H_u=5600 \text{ kJ/kg}$, υγρασία 55 % και τέφρα 15%. Η κατά μάζα σύστασή του

Ιδιότητες	Τιμή
Θερμογόνο δύναμη λιγνίτη	$H_u = 5600 \text{ kJ/kg}$
Υγρασία : w	55%
Τέφρα : a	15%
Σύσταση κατά μάζα χωρίς υγρασία και τέφρα	
Άνθρακας : γ_c	0,56
Υδρογόνο : γ_H	0,05
Οξυγόνο : γ_O	0,21
Άζωτο : γ_N	0,02
Θείο : γ_S	0,01
Διοξείδιο του άνθρακα : γ_{CO_2}	0,15

- Η παροχή του νερού τροφοδοσίας στο λέβητα είναι 950 t/h στα 210 bar και $240 \text{ }^\circ\text{C}$ ενώ η έξοδος του υπερθέρμου είναι στα 190 bar και $540 \text{ }^\circ\text{C}$. Η είσοδος του αναθέρμου είναι 880 t/h στα 45 bar και $340 \text{ }^\circ\text{C}$ και η έξοδος του στα 40 bar και $540 \text{ }^\circ\text{C}$. Ο ολικός βαθμός απόδοσης του ατμοπαραγωγού είναι 0,84.
- Αν η ένδειξη από το ροόμετρο μέτρησης της παροχής του αέρα (το οποίο είναι τοποθετημένο στον αγωγό εισαγωγής του αέρα στο θάλαμο καύσης) είναι $0,85 \times 10^6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ και η κατ' όγκο περιεκτικότητα του ξηρού καυσαερίου σε οξυγόνο είναι $\gamma_{O_2}=4\%$ υπολογίστε:
 - α) τη συνολική παροχή μάζας αέρα που πραγματικά εισέρχεται στο θάλαμο καύσης
 - β) το ποσοστό (επί της συνολικής παροχής μάζας αέρα) του παρασιτικού αέρα ο οποίος εισέρχεται στο λέβητα λόγω της απορρόφησής του.



$$\dot{\gamma}_c = 0,56 \times (1 - w - a) = 0,56 \times (1 - 0,55 - 0,15) = 0,168$$

$$\dot{\gamma}_H = 0,05 \times (1 - 0,55 - 0,15) = 0,015$$

$$\dot{\gamma}_S = 0,01 \times (1 - 0,55 - 0,15) = 0,003$$

$$\dot{\gamma}_N = 0,02 \times (1 - 0,55 - 0,15) = 0,006$$

$$\dot{\gamma}_O = 0,21 \times (1 - 0,55 - 0,15) = 0,063$$

$$\dot{\gamma}_{CO_2} = 0,15 \times (1 - 0,55 - 0,15) = 0,045$$

$$\text{Λόγος αέρα: } n \approx \frac{21}{21-4} = 1,2353 = \frac{\dot{m}_L / \dot{m}_B}{(\dot{m}_L / \dot{m}_B)_S} = \frac{\mu_{LT}}{\mu_{LOT}}$$

$$\Rightarrow \mu_{LT} = n \mu_{LOT} \Rightarrow \dot{m}_L = \mu_{LT} \dot{m}_B = n \mu_{LOT} \dot{m}_B$$

$$\mu_{LOT} = 11,48 \times 0,168 + 34,194 \times 0,015 + 4,3 \times 0,003 - 4,308 \times 0,063 = 1,92864 + 0,51291 + 0,0129 - 0,2744 \Rightarrow$$

$$\mu_{LOT} = 2,18305$$

$$\mu_{LT} = n \mu_{LOT} = 1,2353 \times 2,18305 = 2,6967 \Rightarrow$$

$$\dot{m}_B = \frac{\dot{Q}_{\text{αερ}}}{H_u \eta_A} = \frac{\dot{m}_D (h_u - h_w) + \dot{m}_{av} (h_{av2} - h_{av1})}{H_u \eta_A}$$

$$\dot{m}_D = 950 \text{ tn/h} = 263,9 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{av} = 244,4 \text{ kg/s}$$

$$h_u (190 \text{ bar}, 540^\circ \text{C}) = 3373 \text{ kJ/kg}$$

$$h_w (210 \text{ bar}, 240^\circ \text{C}) = 1059 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{av2} (40 \text{ bar}, 540^\circ \text{C}) = 3537 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{av1} (45 \text{ bar}, 340^\circ \text{C}) = 3049 \text{ kJ/kg}$$

Παροχή μάζας καυσίμου:

$$\dot{m}_B = \frac{263,9 \times 2314 + 244,4 \times 488}{5600 \times 0,84} = 155,17 \text{ kg/s}$$

Πραγματική παροχή μάζας αέρα:

$$\dot{m}_L = \mu_{LT} \dot{m}_B = n \mu_{LOT} \dot{m}_B = 1,235 \times 2,18305 \times 155,17 = 418,44 \text{ kg/s}$$

Παροχή μάζας αέρα από το ροόμετρο

$$\dot{m}_L = \frac{0,85 \times 10^6 \times 1,29}{3600} \frac{\text{Nm}^3}{\text{s}} \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3} = 304,58 \text{ kg/s}$$

Παρασιτικός αέρας:

$$\dot{m}_L^{\text{II}} = \dot{m}_L - \dot{m}_L^{\text{I}} = 418,44 - 304,58 = 113,86 \text{ kg/s}$$

$$\text{Ποσοστό: } \dot{m}_L^{\text{II}} / \dot{m}_L = 113,86 / 418,44 = 27,2\%$$