

Υγεία και Ασφάλεια
στη Διεργασία Παραγωγής Τσιμέντου
Παρόν και Μέλλον

Άκης Μπελεζίνης, Ph.D.
Όμιλος Τσιμέντων TITAN

Τσιμέντο

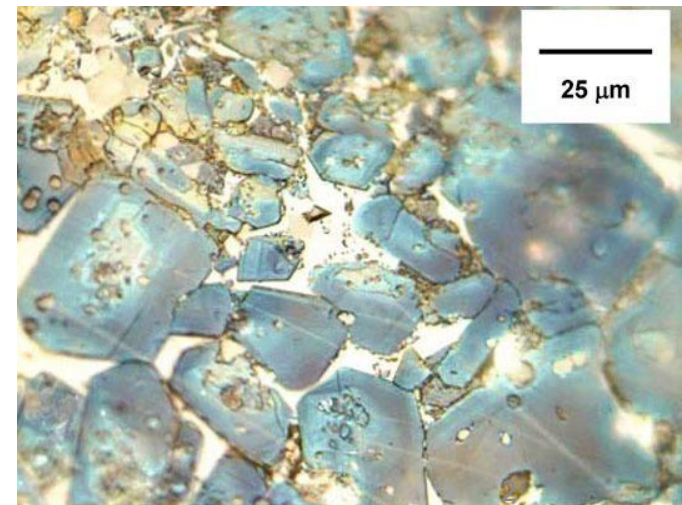
Αναγκαίες χημικές ενώσεις και αντίστοιχες πρώτες ύλες:

CaO Ασβεστόλιθοι (CaCO_3)

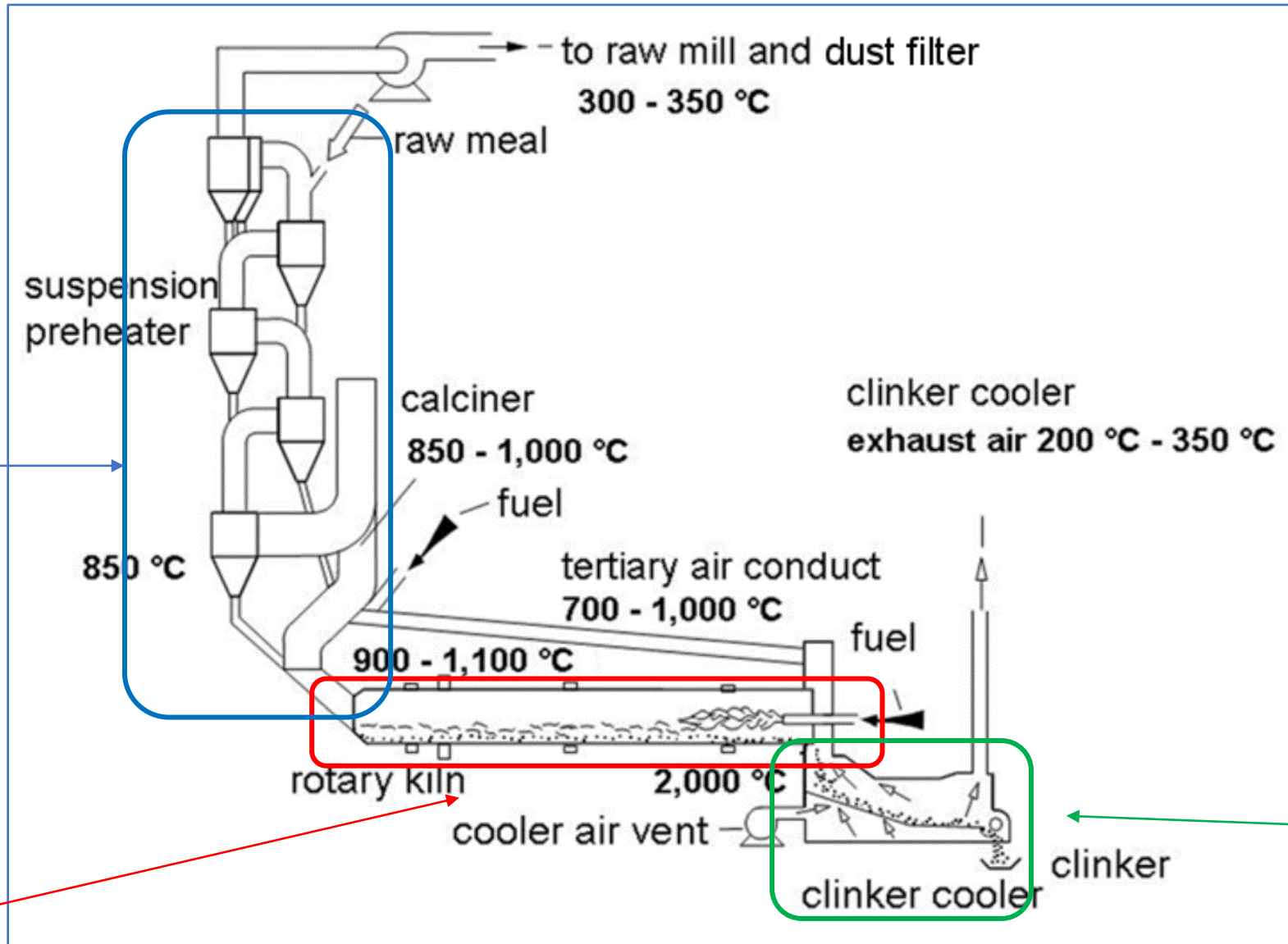
SiO₂ }
Al₂O₃ } Μάργες
Fe₂O₃ }

Μηχανική και θερμική διεργασία

Κλίνκερ



Διεργασία Παραγωγής / Έψηση



Προθερμαντής - ασβεστοποιητής

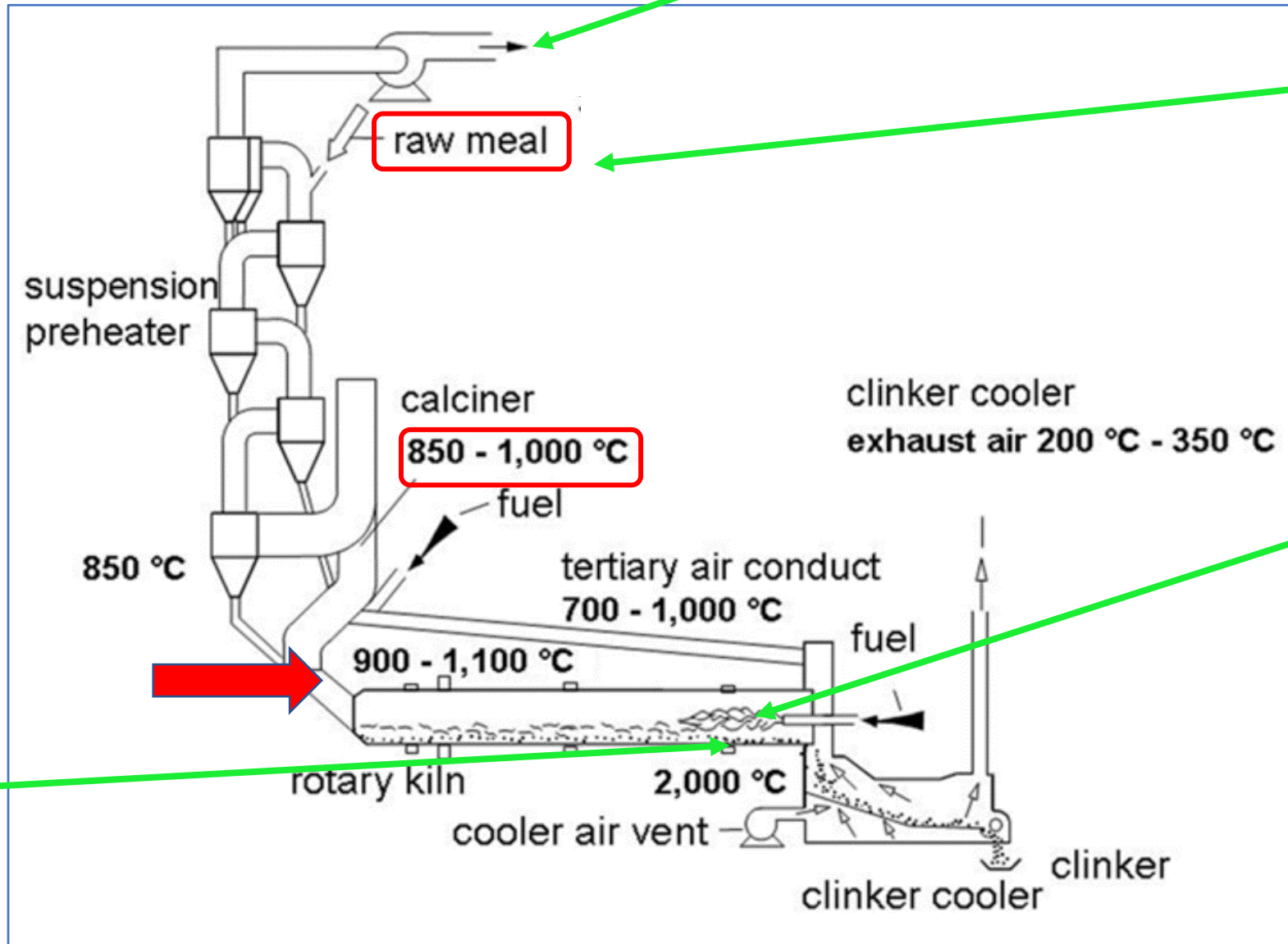
Κλίβανος

Ψύκτης

Διεργασία Παραγωγής / Έψηση

Καυσαέρια
300-350 °C

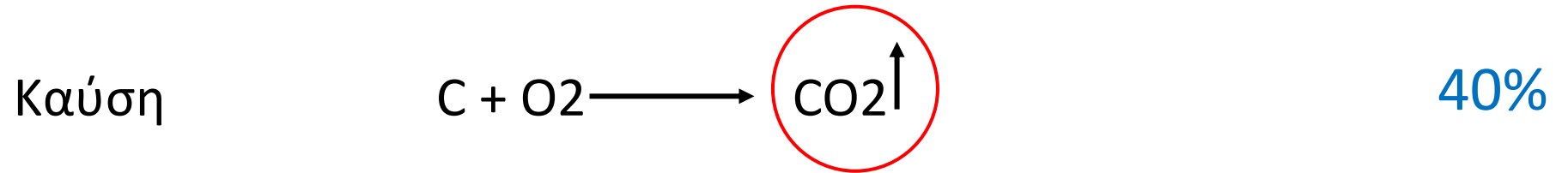
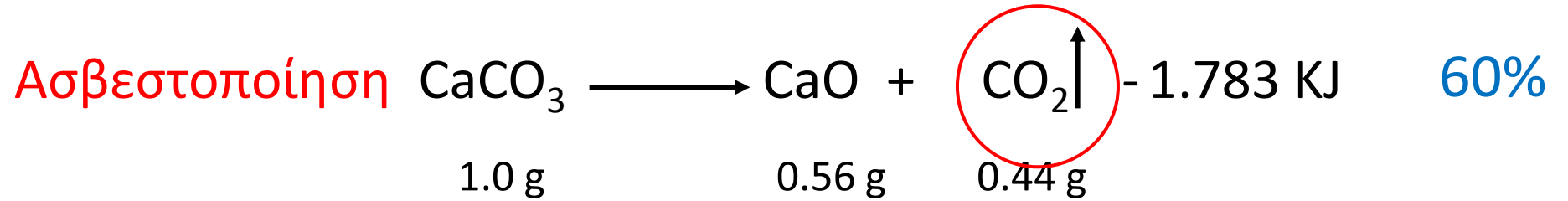
25 °C



Κλίνκερ
1,450 °C

Φλόγα
2,000 °C

Εκπομπές CO₂



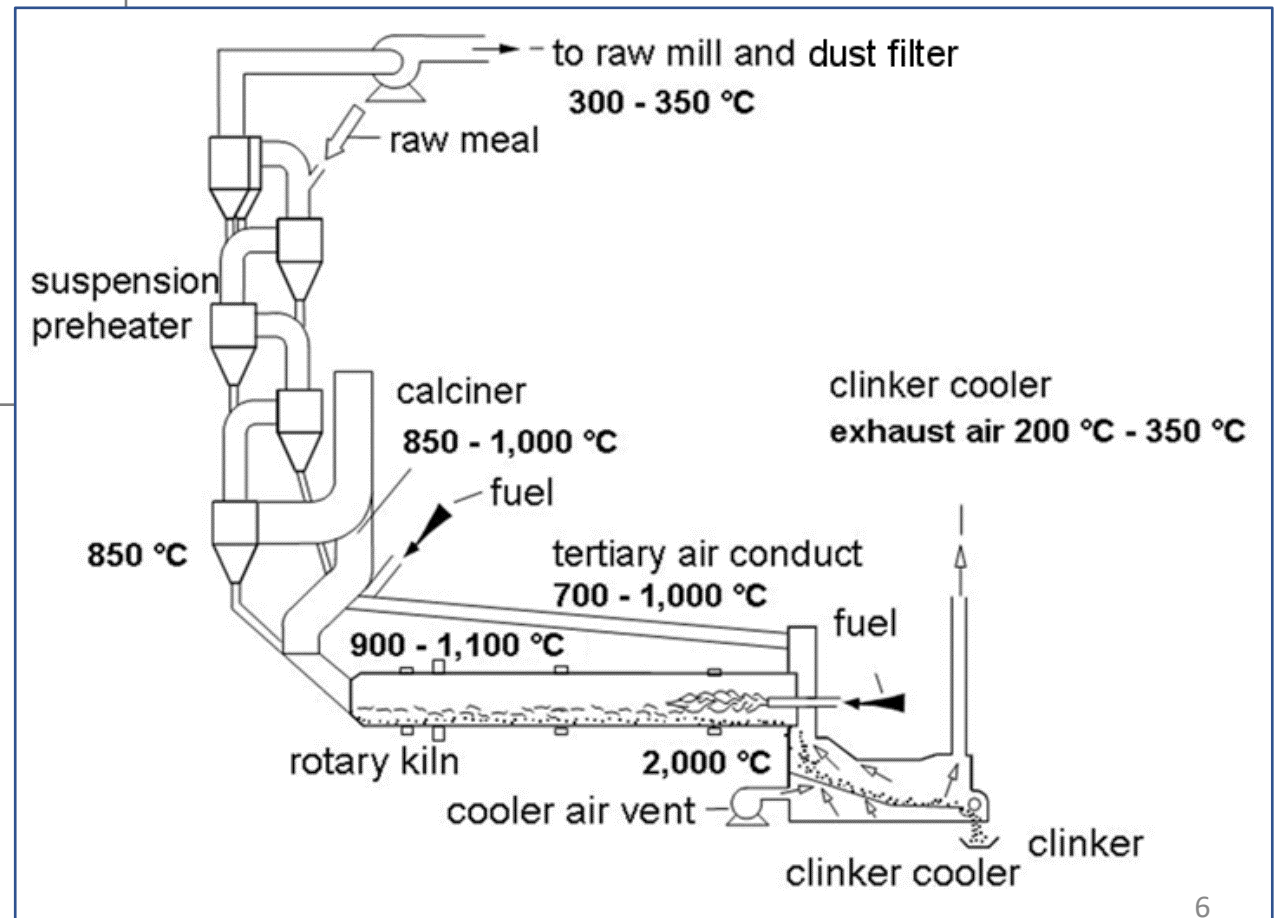
Ανάγκη μείωσης του CO₂

Πρώτη προσέγγιση (Επιτυχής)

- Βελτιστοποίηση της κατανάλωσης Καυσίμων και Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Σύνθετα τσιμέντα (μικρότερο % κλίνκερ)

Έψηση Αναγνώριση κινδύνων (HAZID)

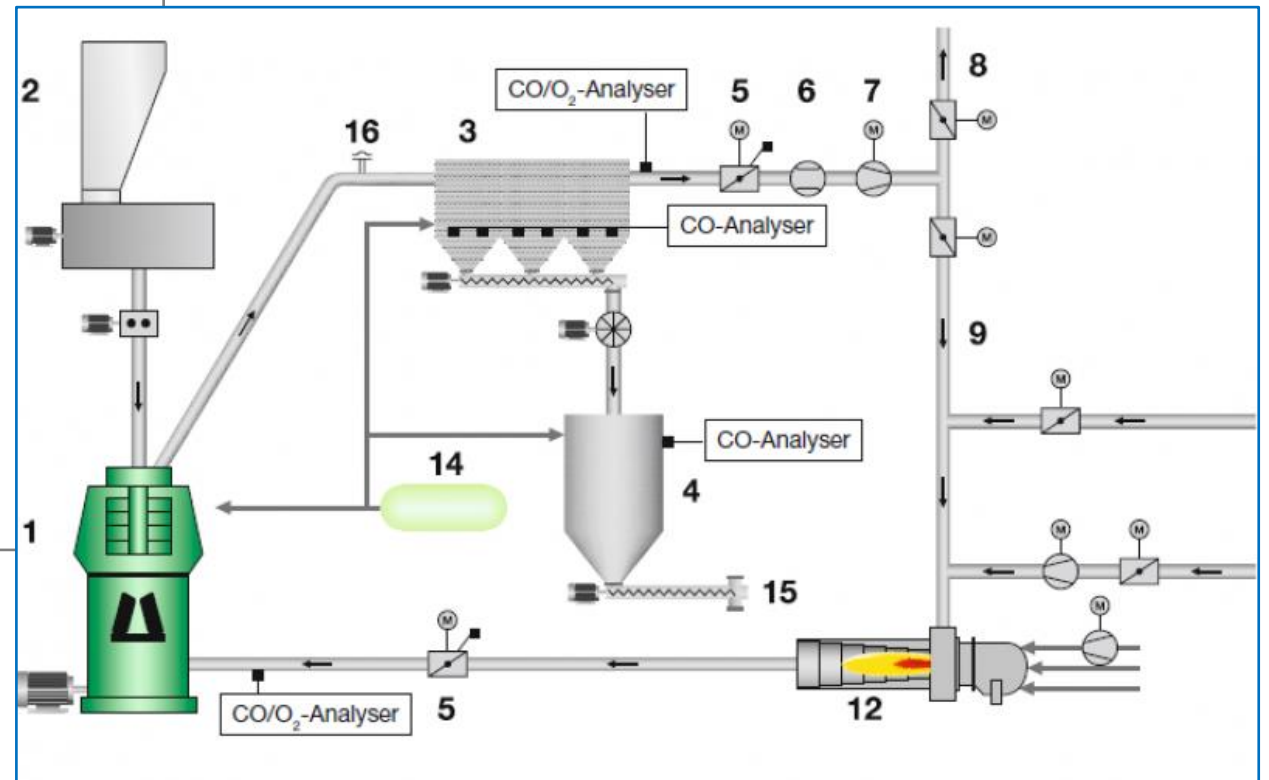
- Διαφυγή θερμών αερίων ή/και σκόνης
- Διαρροή καυσίμων
- Ανώμαλη ροή αερίων
- Ανώμαλη ροή καυσίμων
- Φραγμοί



Άλεση καυσίμων

Αναγνώριση κινδύνων (HAZID)

- Διαφυγή θερμών αερίων
- Διαρροή καυσίμων
- Ανάφλεξη / έκρηξη καυσίμου σε
 - Σιλό ωμού καυσίμου
 - Μύλο
 - Φίλτρο
 - Σιλό αλεσμένου καυσίμου
- Ανώμαλη ροή καυσίμου προς καυστήρα



Κλιματική αλλαγή:

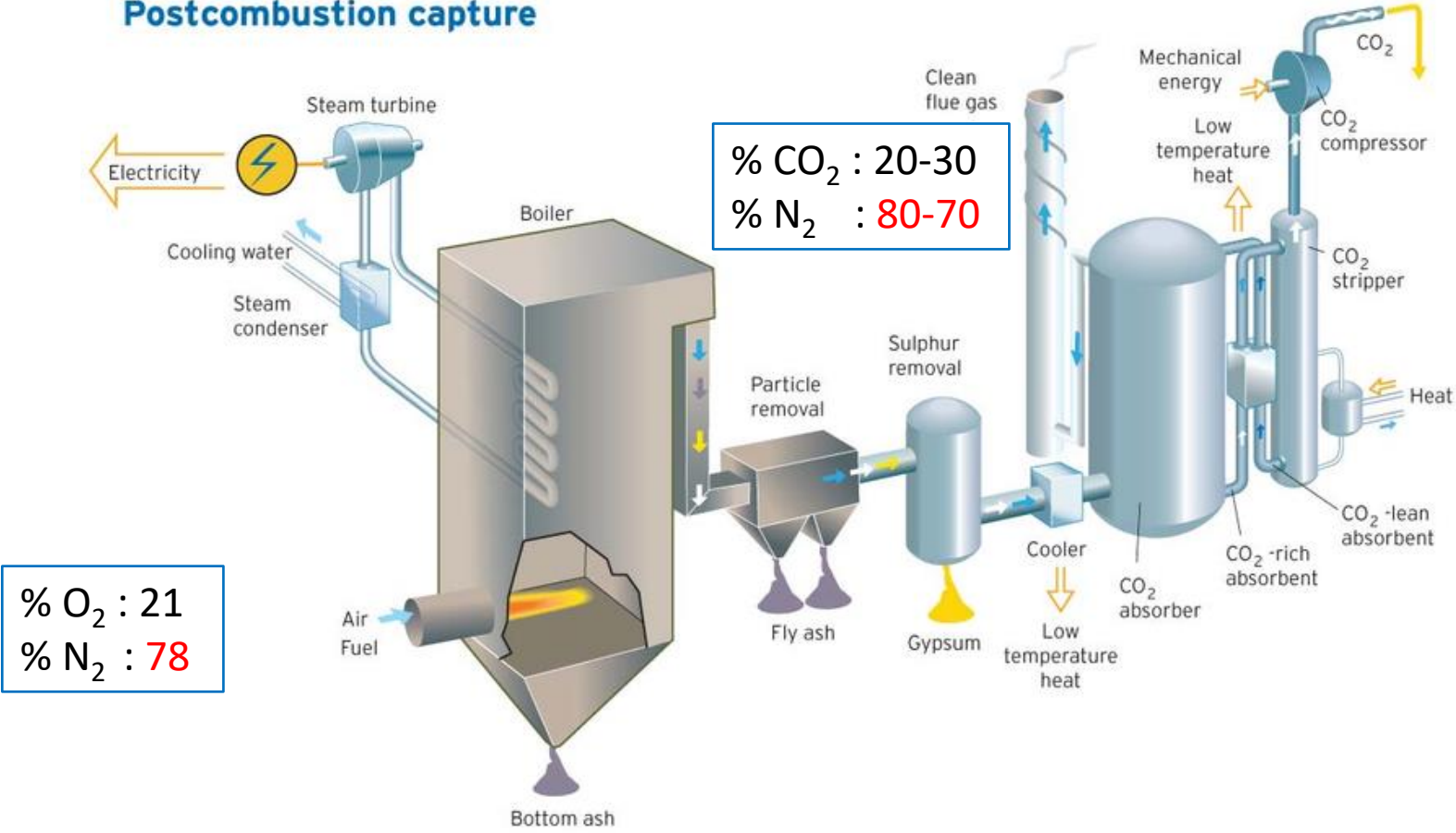
Περαιτέρω περιορισμός των εκπομπών CO₂

Τρεις μέθοδοι:

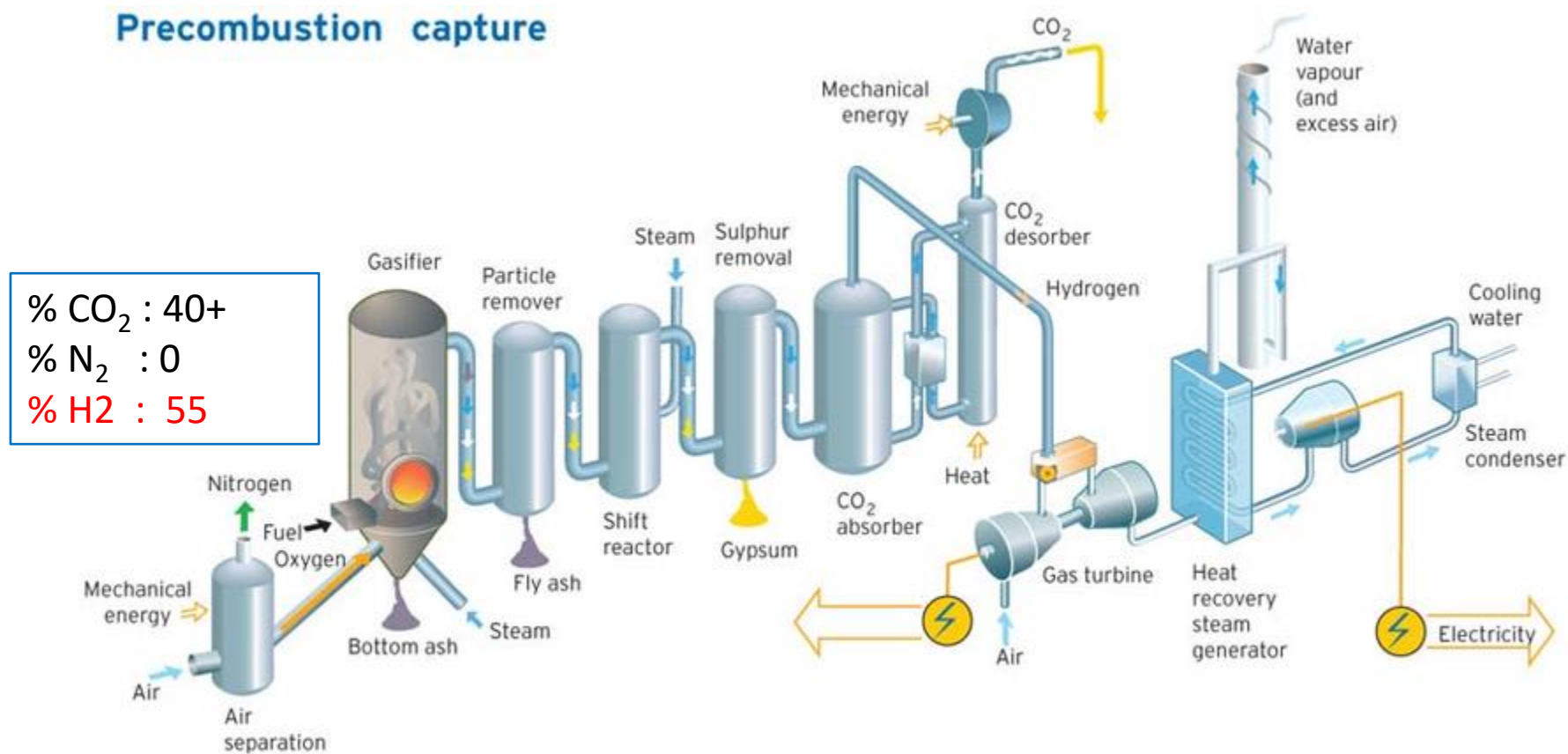
1. Διαχωρισμός του CO₂ **μετά** την ανάφλεξη (Post-combustion)
2. Διαχωρισμός του C(O₂) **πριν** την ανάφλεξη (Pre-combustion)
3. Καύση με **καθαρό O₂** (Oxyfuel combustion)

Post-combustion

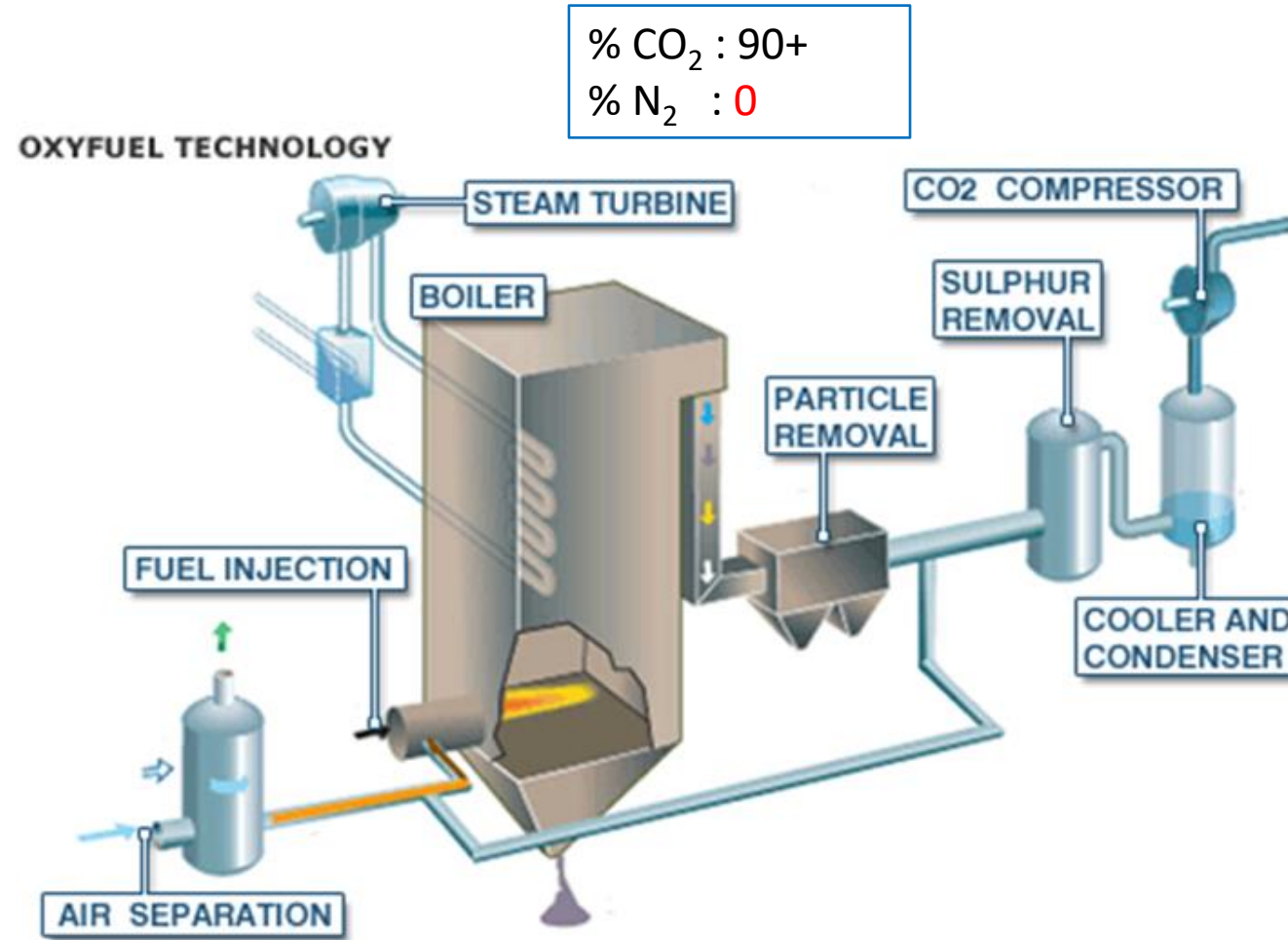
Postcombustion capture



Pre-combustion & παραγωγή H₂



Oxyfuel



Κίνδυνοι στη έψηση (ενδεικτικά)

Αύξηση του

- O₂ από 21 σε 30%
- CO₂ από 25 σε 90%

Συνεπάγεται άνοδο

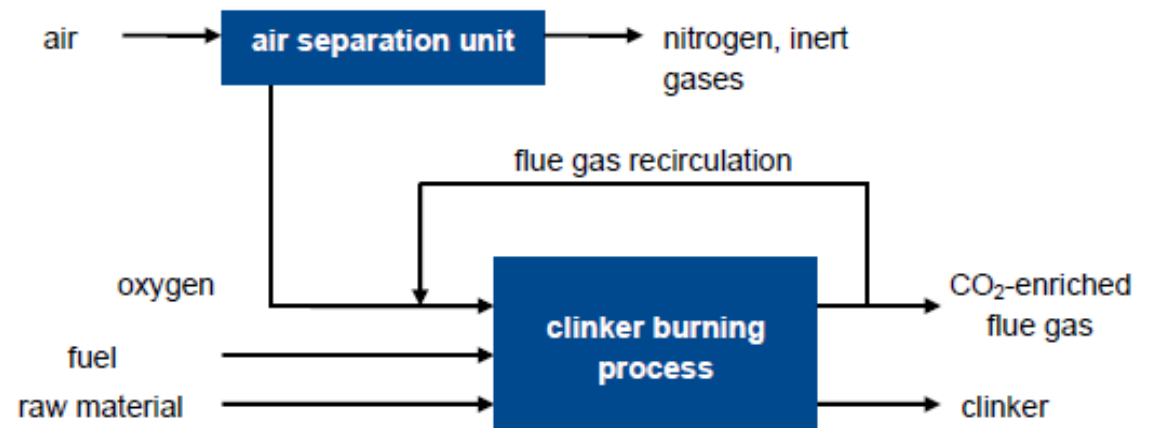
- T_{ασβεστ} από 800-850 σε 900 °C

- Υψηλότερη συγκέντρωση O₂ (κίνδυνος)
- Θερμότερη φλόγα -> κίνδυνος (και για τους χάλυβες?)

Ανάγκη ελέγχου της θερμοκρασίας

Επιλογή σημείου εισόδου του O₂

- Κίνδυνος λανθασμένης ανάφλεξης



- Με **ανακύκλωση** καυσαερίων ->
- Υψηλό CO₂ (κίνδυνος)
- **Θέματα**
- Διείσδυση ατμοσφαιρικού αέρα
- Διαρροή CO₂ -> ασφυκτικό αέριο
- Υγρασία -> φραγμοί

Νέες ανάγκες

- Καλύτερη **στεγανοποίηση**, κατά των διαρροών - εισροών
- Καλύτερα **όργανα και συστήματα αυτομάτου ελέγχου**, για να περιορίζουν τη θερμοκρασία ασβεστοποίησης σε ανεκτά όρια και να ρυθμίζουν την **ανακύκλωση**

- Ελαχιστοποίηση των περιπτώσεων που απαιτείται **άνοιγμα** του κυκλώματος
 - Άνοιγμα θυρίδας για καθαρισμό
 - Άνοιγμα της εξόδου του ψύκτη
 - Καθαρισμός ανεμιστήρων
- Πεπιεσμένο CO₂ για απομάκρυνση επικαθήσεων, **όχι αέρα!**



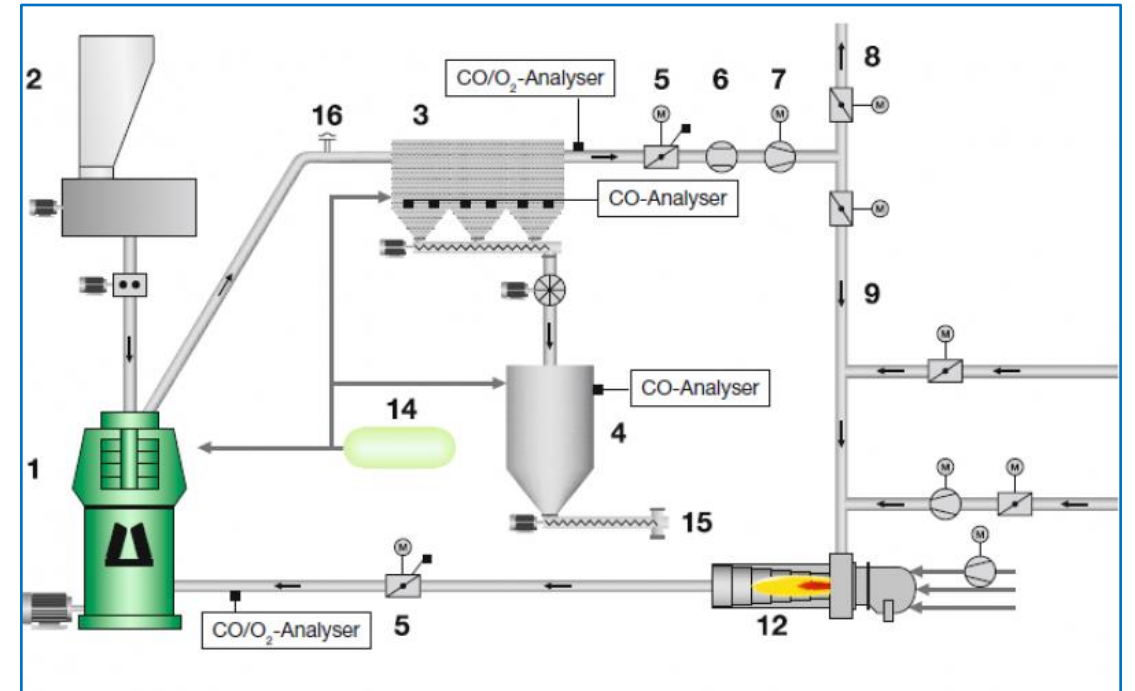
- Λεπτομερής επισήμανση κινδύνων (HAZOP & HAZID)
- Διαδικασίες ασφαλούς επέμβασης
- Διαδικασίες ασφαλούς λειτουργίας
- Ευφάνταστη ανάλυση WHAT-IF

Κίνδυνοι στον Μύλο Άνθρακα (ενδεικτικά)

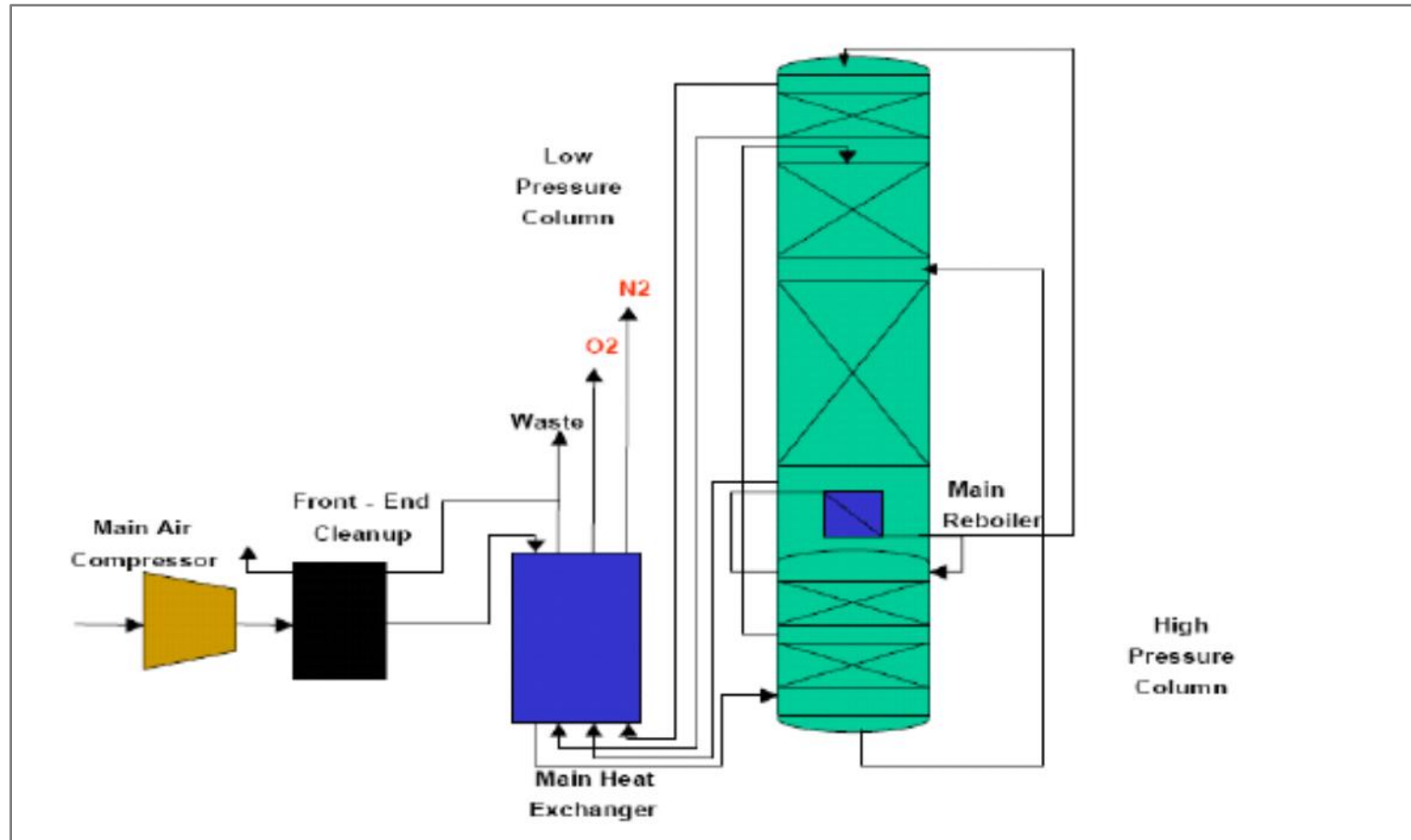
- Χαμηλό οξυγόνο, άρα δυσκολότερη ανάφλεξη, στα κυκλώματα άλεσης και μεταφοράς

αλλά και

- **Αεριοποίηση** (Gasification & Syngas)
- Κίνδυνος **διαρροής** λόγω ελλιπούς στεγανοποίησης ή από άνοιγμα του κυκλώματος για επέμβαση



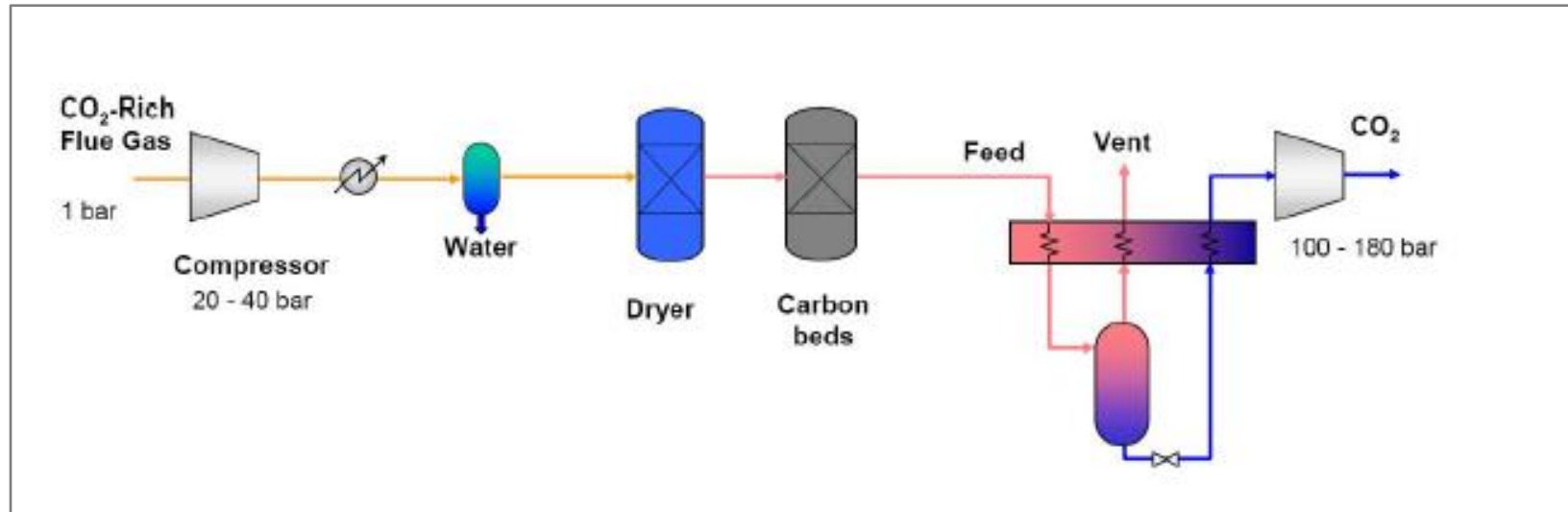
Βοηθητικό συγκρότημα: Μονάδα διαχωρισμού του αέρα (ASU) Κίνδυνοι (ενδεικτικά)



Υγροποιημένο O₂

- Οξειδωτική δράση -> ανάφλεξη
- Εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία
- Πολύ υψηλή πίεση

Βοηθητικό συγκρότημα: Μονάδα καθαρισμού και συμπίεσης CO₂ Κίνδυνοι (ενδεικτικά)



Υγροποιημένο CO₂

- Υψηλή πίεση
100-180 bar
- Διαρροή CO₂ -
Ασφυκτικό
- Διάβρωση, λόγω των
προσμίξεων

Δείκτες επίδοσης (Key Performance Indicators)

Για ορισμένο τομέα και χρονική περίοδο

Εγκατάσταση & Διεργασία:

- KPI_1 $\frac{\text{Αριθμός οργάνων που βρεθηκαν με έστω και ένα ελάττωμα}}{\text{Συνολικός αριθμός εγκατεστημένων οργάνων}}$
- KPI_2 Αριθμός περιστατικών που η θερμοκρασία T_k κινήθηκε *εκτός ορίων*

Προσωπικό:

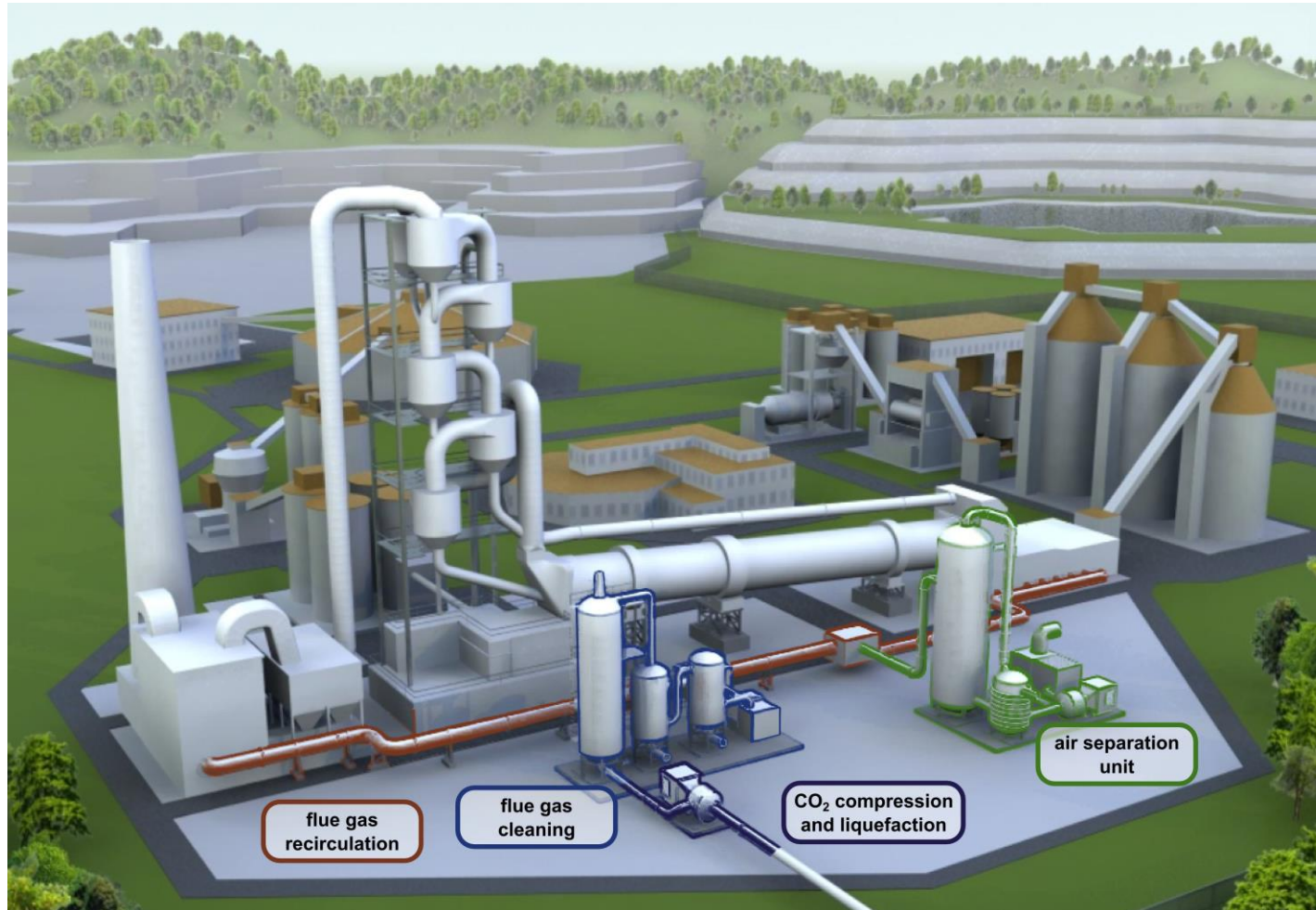
- KPI_3 Αριθμός περιστατικών που η διαδικασία Δ_k *δεν εκτελέστηκε 100% σωστά*

Διαδικασίες:

- KPI_4 Αριθμός διαδικασιών που βρέθηκαν *με έστω και ένα ελάττωμα*

Εφαρμογή oxyfuel στην παραγωγή τσιμέντου

Τα τεχνικά προβλήματα έχουν τεχνικές λύσεις!



Πηγές

- [1] European Cement Research Academy GmbH ECRA (2016), Technical Report A-2016/1039:7-8
- [2] 132-Loesche (2016) Mills-for-Solid-Fuels-Coal-Mill-E-2016:11
- [3] Zeman, F., & Lackner, K. (2008), The Reduced Emission Oxygen Kiln, Lenfest Center for Sustainable Energy, Columbia U. NY: 1-67
- [4] Stroemberg, L. (2008), Carbon Capture and Storage, Technology, Costs and the Way Forward :13-15
- [5] ECRA (2018) Cement industry launches an industrial-scale carbon capture project
- [6] Ditaranto, M., & Bakken, J. (2019), Study of a Full-Scale Oxy-Fuel Cement Rotary Kiln, Int. Journal of Greenhouse Gas Control 83:166-175.
- [7] ECRA (2009), Technical Report TR-ECRA-106/2009
- [8] ECRA (2007), Technical Report TR044:26-30.
- [9] Labahn, O., & Kohlhaas, B. (1983), Cement Engineers' Handbook, Bauverlag GmbH