

Καινοτόμες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων

Ημερίδα «ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΙΑΣ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ»

15-01-2016



Σ. Καρέλλας, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ηρώων Πολυτεχνείου 9,

15780, Ζωγράφου

Email: sotokar@mail.ntua.gr

URL: www.lsbtp.mech.ntua.gr

Περιεχόμενα

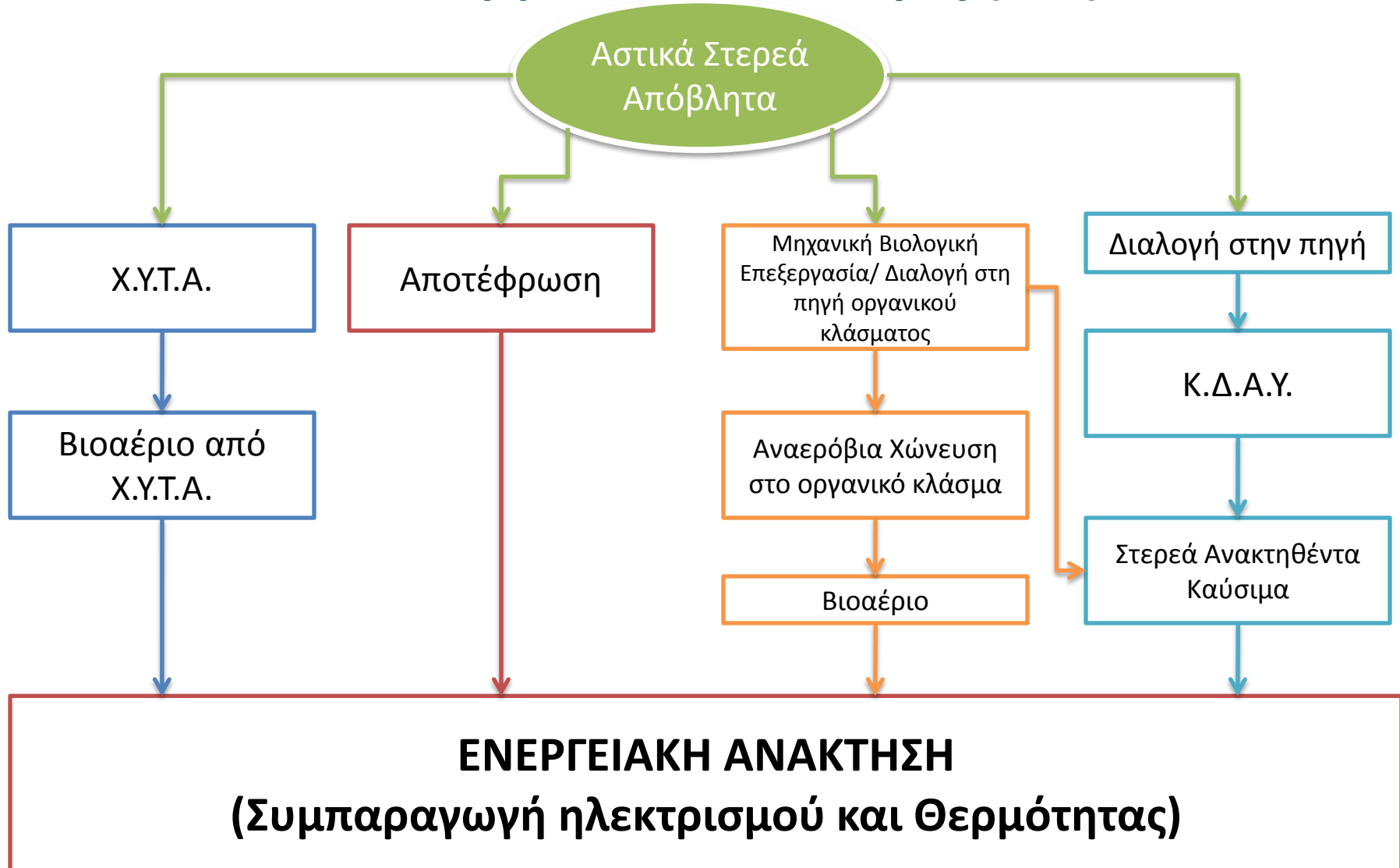
- Εισαγωγή – Μέθοδοι Ενεργειακής Αξιοποίησης
- Ενεργειακή Αξιοποίηση Σύμμεικτων Απορριμμάτων
- Ενεργειακή Αξιοποίηση Στερεών Ανακτηθέντων Καυσίμων
 - Αξιοποίηση μέσω αποτέφρωσης/συναποτέφρωσης
 - Αξιοποίηση μέσω αεριοποίησης
 - Παράδειγμα polystabilat





ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

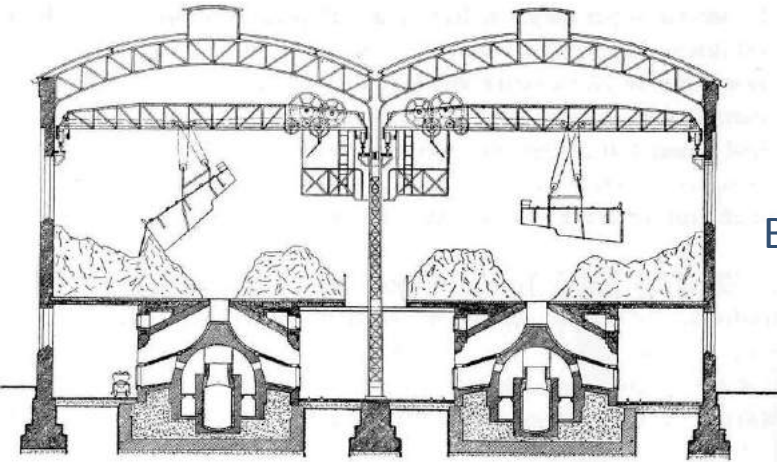
Αστικά Στερεά Απόβλητα – Ενεργειακή Αξιοποίηση (1/2)



Αστικά Στερεά Απόβλητα – Ενεργειακή Αξιοποίηση (2/2)



Αποτεφρωτήρες – Ιστορική αναδρομή



Hamburg
Bullerdeich
1896

Πηγή: Vehlown, ITC-TAB

Wien Spittelau



2 x 360 t/d Rückschub-Rost

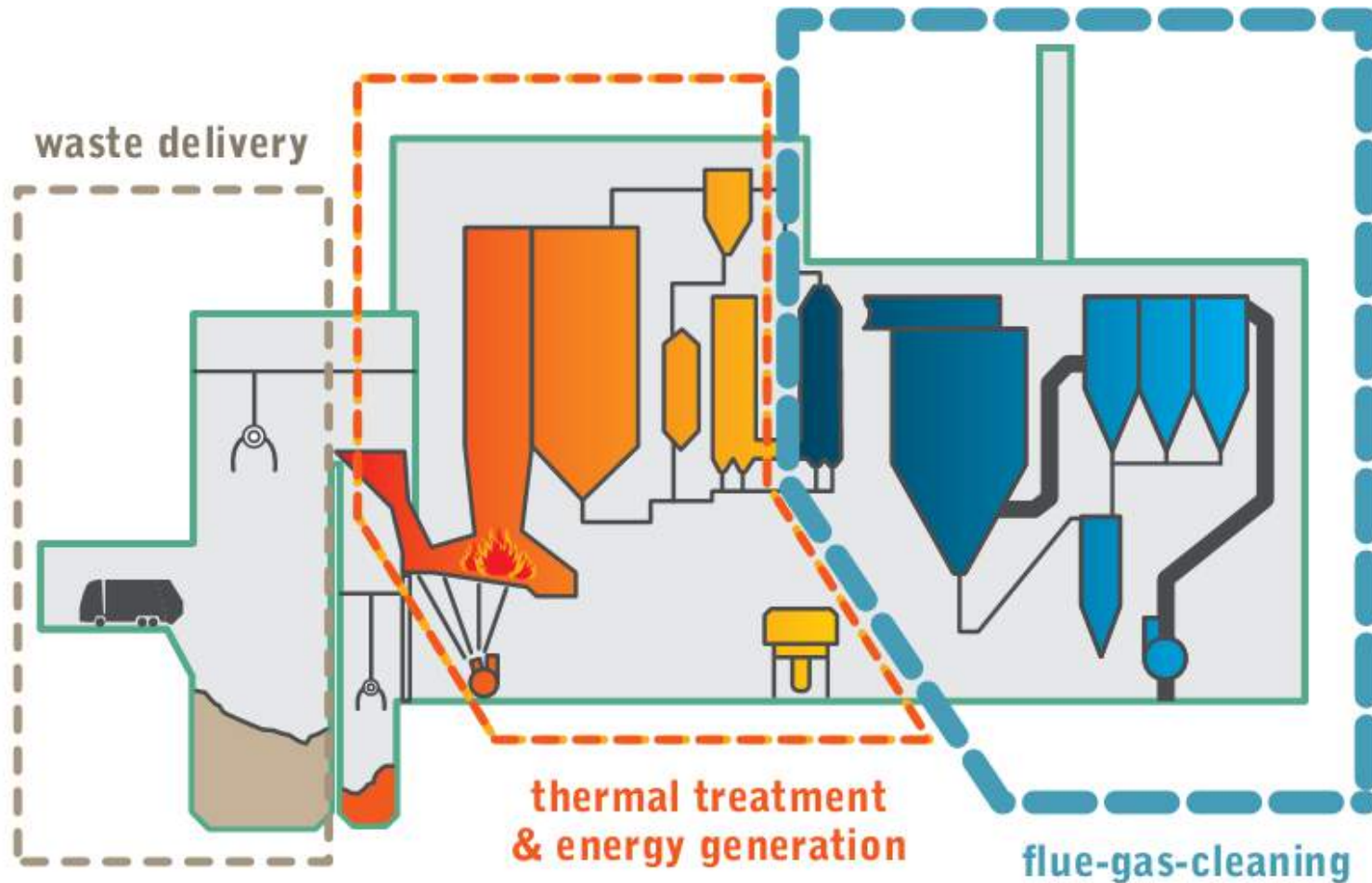
Πηγή: Martin

Tokyo-Minato (Ιαπωνία)



3 σειρές εσχάρων
καύσης με
δυναμικότητα
καθεμίας 300
t/ημέρα

Σχηματικό Διάγραμμα Εργοστασίου αποτέφρωσης ΑΣΑ



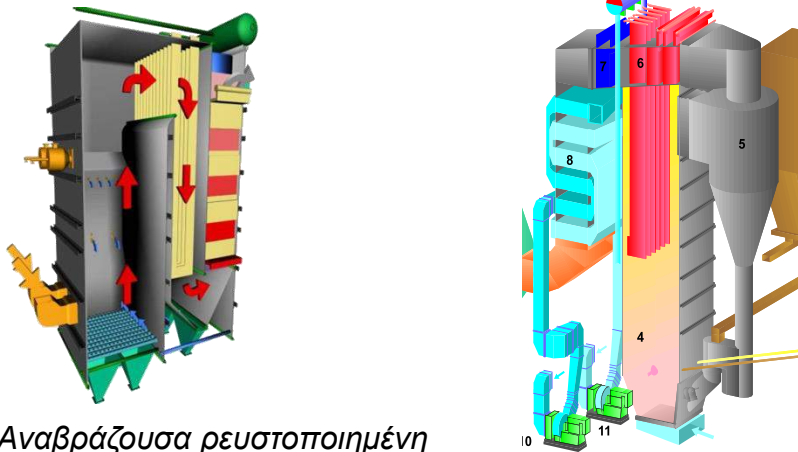
Πηγή: CEWEP

Αποτέφρωση σε ρευστοποιημένη κλίνη

Ένα σύστημα αποτέφρωσης με ρευστοποιημένη κλίνη αποτελείται από :

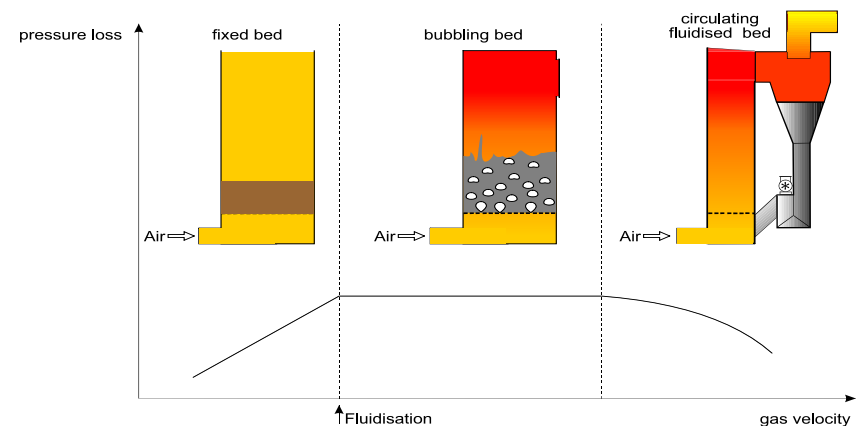
- Σύστημα προεπεξεργασίας και τροφοδοσίας αποβλήτων.
- Σύστημα προετοιμασίας των χημικών αντιδραστηρίων της κλίνης (πχ. CaO).
- Σύστημα προσαγωγής του αέρα καύσης.
- Ρευστοποιημένη κλίνη.
- Σύστημα απαγωγής της τέφρας.
- Κυκλωνικός διαχωριστής σωματιδίων (για την περίπτωση ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία).

Κατηγορίες Ρευστοποιημένης κλίνης



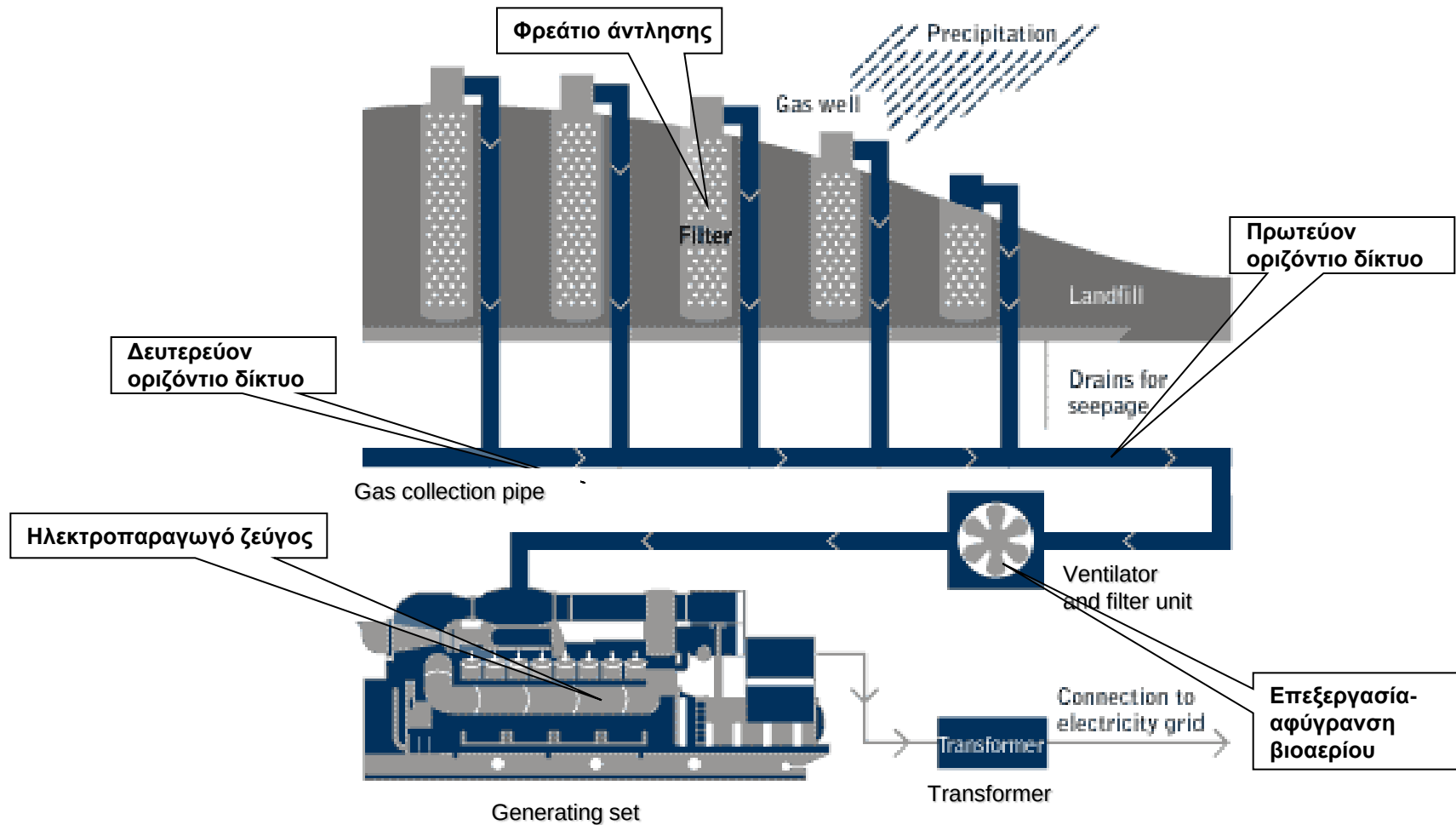
(α) Αναβράζουσα ρευστοποιημένη κλίνη [Austrian Energy]

(β) Ρευστοποιημένη κλίνη ανακυκλοφορίας [Austrian Energy]



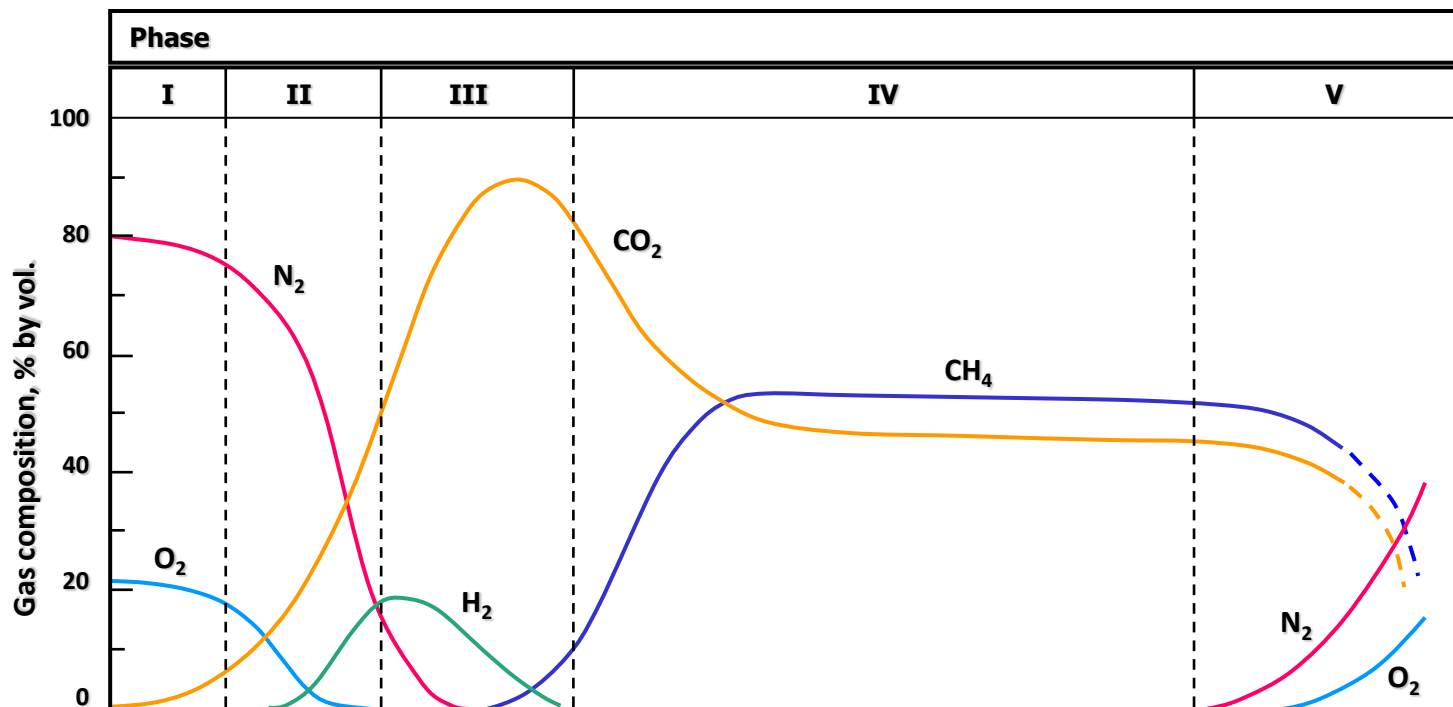
Πεδίο λειτουργίας ρευστοποιημένης κλίνης [Austrian Energy]

Συλλογή, αξιοποίηση βιοαερίου σε ΧΥΤΑ



Παραγωγή - σύσταση βιοαερίου σε ΧΥΤΑ

- Παραγωγή μεταβλητή, ανάλογα με την πάροδο του χρόνου
- Μέσο ενεργειακό περιεχόμενο ($\sim 5\text{-}6\text{kWh/Nm}^3$)



Παραγωγή βιοαερίου σε ΧΥΤΑ - Ενεργειακή αξιοποίηση

- Αναερόβια χώνευση: φυσική διαδικασία κατά την οποία οι οργανικές ύλες διασπώνται από ένα μικροβιακό πληθυσμό που ζει σε αναερόβιο περιβάλλον
- Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε ΜΕΚ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Προϋποθέσεις εκμετάλλευσης
 - Καταλληλότητα (πρώτη ύλη - τεχνολογία)
 - Επαρκής ποσότητα (οικονομικότητα)
 - Τεχνογνωσία (υλοποίηση – λειτουργία)
- Για έργα βιοαερίου
 - Αξιολόγηση του δυναμικού βιοαερίου
 - Κατασκευή δικτύου συλλογής
 - Κατασκευή σταθμού αξιοποίησης
 - Αντιμετώπιση τεχνικών, οικονομικών και θεσμικών κινδύνων
 - Δημιουργία μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης
 - Ανάλυση ελεύθερα εκλυόμενου βιοαερίου από την επιφάνεια
 - Ανιχνευτικές γεωτρήσεις και δοκιμαστική άντληση 2 μηνών



Έργα συλλογής και ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου από ΧΥΤΑ στην Ελλάδα



Μονάδα Συμπαγωγής Άνω Λιοσίων Δυτικής Αττικής

- Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: 23,58 MW
- Κατανάλωση 12.000 m³/h βιοαερίου από τα κύτταρα ΧΥΤΑ της ΟΕΔΑ Άνω Λιοσίων
- Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας στο ΛΑΓΗΕ
- Εξοικονόμηση 148.000 t CO₂ ετησίως από την αντίστοιχη παραγωγή με ορυκτά καύσιμα



Σταθμός Εκμετάλλευσης Βιοαερίου ΧΥΤΑ Ταγαράδων Θεσσαλονίκης

- Συνολική εγκατεστημένη ισχύς: 5,048 MW
- Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο ΛΑΓΗΕ Α.Ε.



ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΝΑΚΤΗΘΕΝΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Στερεά Ανακτηθέντα Καύσιμα: Παραγωγή

Κύρια στάδια της διαδικασίας παραγωγής ανακτηθέντων καυσίμων

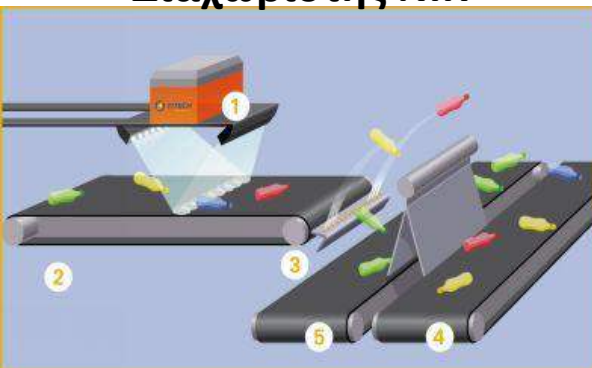
Κέντρα Διαλογής
Ανακυκλώσιμων
Υλικών (Material
Recycling Facilities)

Μηχανικής και
Βιολογικής
Επεξεργασίας
(Mechanical and
Biological Treatment)

- Κοσκίνισμα
- Μείωση μεγέθους (άλεση σε διαφόρους τύπους μύλων)
- Μηχανικός διαχωρισμός (αεροδιαχωρισμός, βαλλιστικός διαχωρισμός)
- Διαχωρισμός με οπτικές μεθόδους (NIR)
- Ανάμιξη διαφορετικών ρευμάτων ομογενοποίηση
- Ξήρανση και πελλετοποίηση – (Προαιρετικό)

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ

Διαχωριστής NIR



Οργανικό κλάσμα

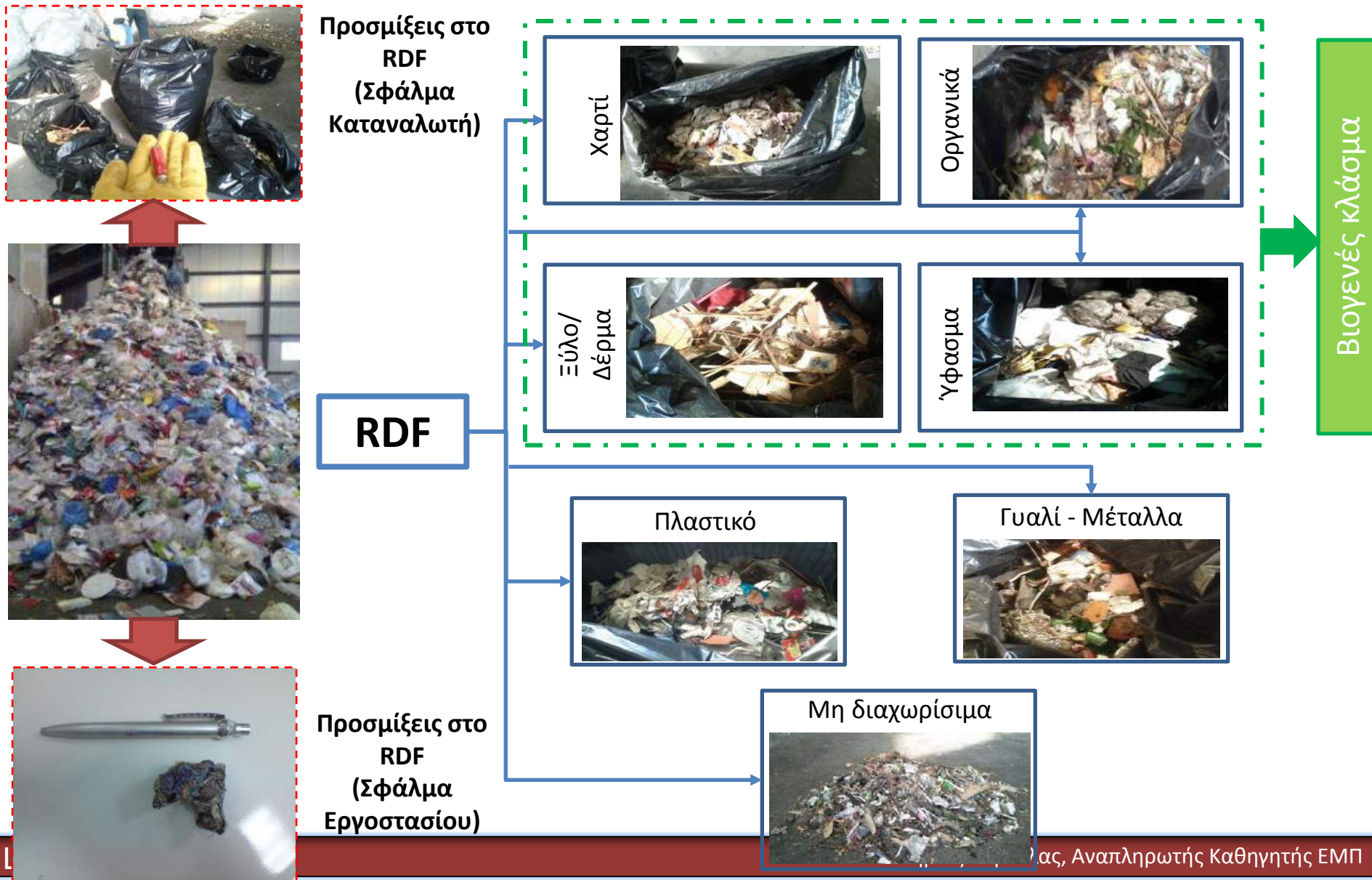
Αερόβια
χώνευση

Αναερόβια
χώνευση

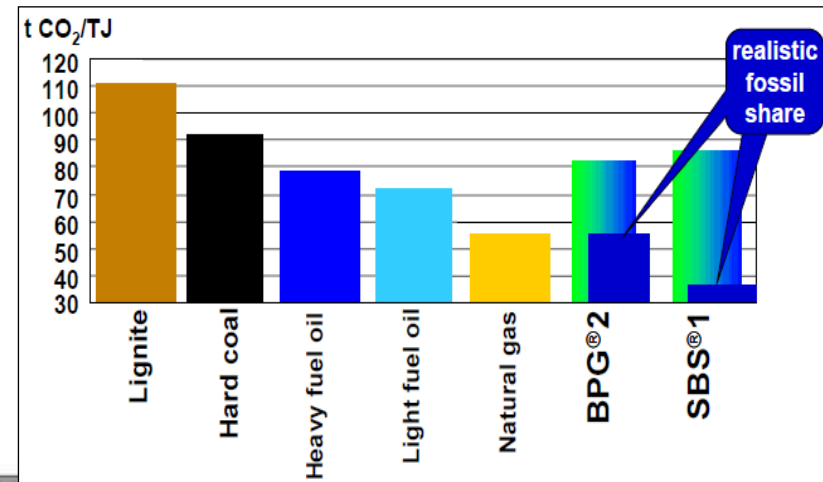
Στερεό Ανακτηθέν Καύσιμο
(Refuse Derived Fuel)



Ποιοτική ανάλυση παραγόμενου Ανακτηθέντος Καυσίμου



Στερεά Ανακτηθέντα Καύσιμα – Ενεργειακή Αξιοποίηση - Χρήσεις



Συν-χρησιμοποίηση Ανακτηθέντων Στερεών Καυσίμων

Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας

Βιομηχανικές Διεργασίες

Στερεά Καύσιμα

Καύση Αερίου/
Πετρελαίου

Ενεργειακή
Χρήση

Χρήση υλικών και
ιδιοτήτων υλικών

Κονιοποιημένο
Καύσιμο

Υγρού Πυθμένα

Ξηρού Πυθμένα

Έμμεση
καύση π.χ.
Αεριοποίηση

Ρευστοποιημένη
κλίνη

Καύση σε εσχάρα

Ειδικές
εγκαταστάσεις

Υψικάμινοι

Παραγωγή
πλακιδίων/τούβλων

Τσιμεντοκλιβανοί

(Υψικάμινοι)

Παραγωγή
πλακιδίων/τούβλων

Παραγωγή
Μετάλλου

Παραγωγή
Ασφάλτου

Τσιμεντοκλιβανοί

Χρήση Ενεργειακή

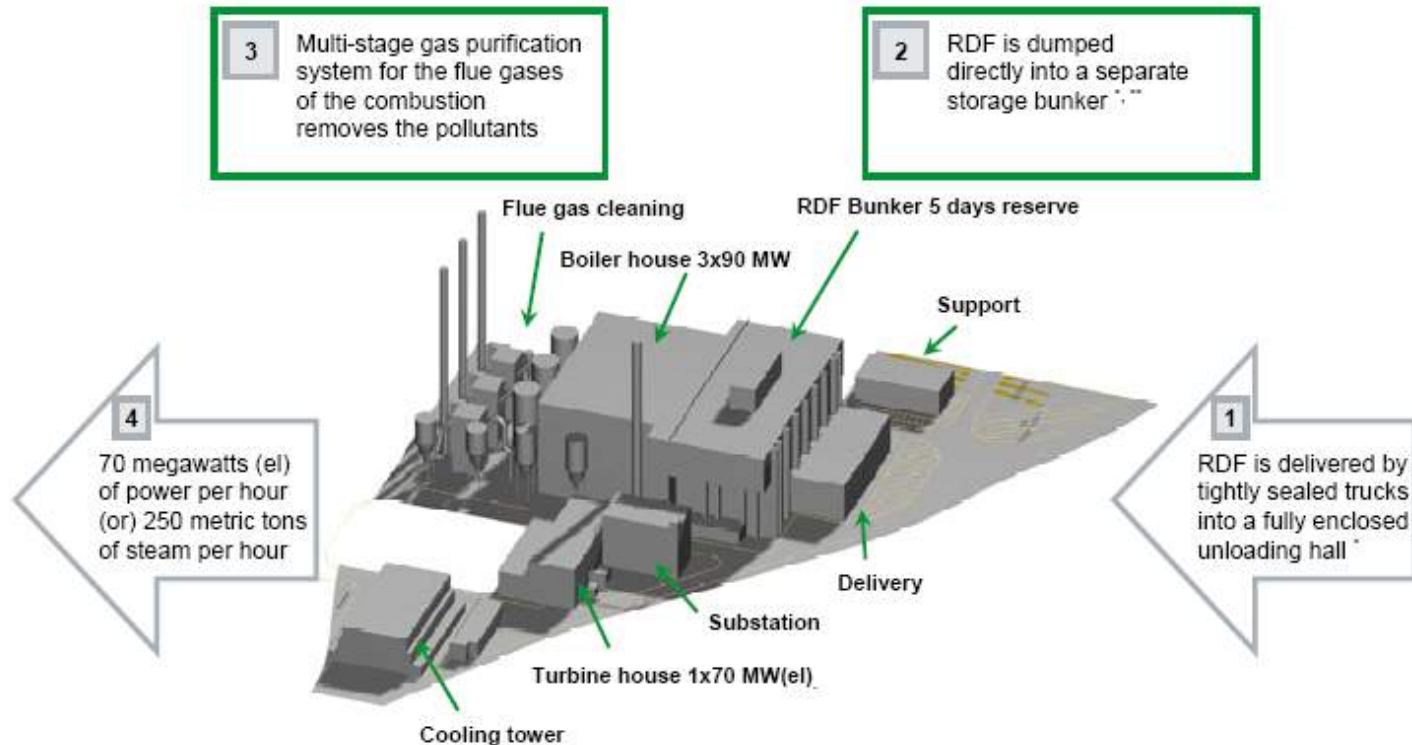
Χρήση των ιδιοτήτων των
υλικών



ΚΑΥΣΗ



Αυτόνομη ενεργειακή αξιοποίηση RDF/SRF (1/2) Η μονάδα συμπαραγωγής RDF/SRF στο Industriepark Höchst



- Η μονάδα υλοποιείται στο Industriepark Höchst και θα αξιοποιεί 675.000 τόνους RDF/SRF σε ετήσια βάση, παράγοντας ~70 MWe (~250 kg ατμού/h).
- Η μονάδα συμπαραγωγής αξιοποιεί την τεχνολογία ρευστοποιημένης κλίνης με εσωτερική ανακυκλοφορία (ICFB) της εταιρείας EBARA.
- Ο προϋπολογισμός του έργου εκτιμάται σε ~300 Μ€ και οι θέσεις εργασίας σε 40.

Μικτή καύση SRF σε λιγνιτικές μονάδες στη Γερμανία (2/2)



- Εκτεταμένες δοκιμές μικτής καύσης SRF σε λιγνιτικές μονάδες έχουν γίνει στις μονάδες της RWE στο Berrenrath (CFB)-65.000 τόνοι/έτος και στο Weisweiler (PC)-100.000 τόνοι/έτος, στα πλαίσια του προγράμματος RECOFUEL (στοιχεία από ΕΜΠ).
- Από οικονομικής πλευράς, η αντικατάσταση λιγνίτη με SRF αναμένεται να έχει θετικά αποτελέσματα (από αυξημένα τέλη διάθεσης και μείωση εκπομπών CO₂).
- Από τεχνικής πλευράς, το αυξημένο % Cl στα αέρια εισόδου στο λέβητα δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα εφόσον η περιεκτικότητα του SRF δεν υπερβαίνει το 6% του καυσίμου του λιγνιτικού σταθμού (σε ενεργειακή βάση).
- Από περιβαλλοντικής πλευράς δεν διαπιστώθηκαν μεταβολές στις εκπομπές των αερίων ρυπαντών ενώ η τέφρα πληροί τις προδιαγραφές για ασφαλή διάθεση.
- Το μόνο που απαιτείται είναι η αναβάθμιση των συστημάτων αποθήκευσης του SRF και της τροφοδοσίας του στην εστία καύσης.



ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Γιατί αεριοποίηση;

Πλεονεκτήματα Αεριοποίησης:

- Αέριο σύνθεσης ιδιαίτερα εύχρηστο (αεριοστροβίλοι, παλινδρομικές ΜΕΚ,
- συνδυασμένος κύκλος)
- Δυνατότητα επίτευξης υψηλών βαθμών απόδοσης
- Μικρότερη παροχή όγκου αερίου σύνθεσης από ότι τα καυσαέρια και συνεπώς μικρότερη διάταξη καθαρισμού.

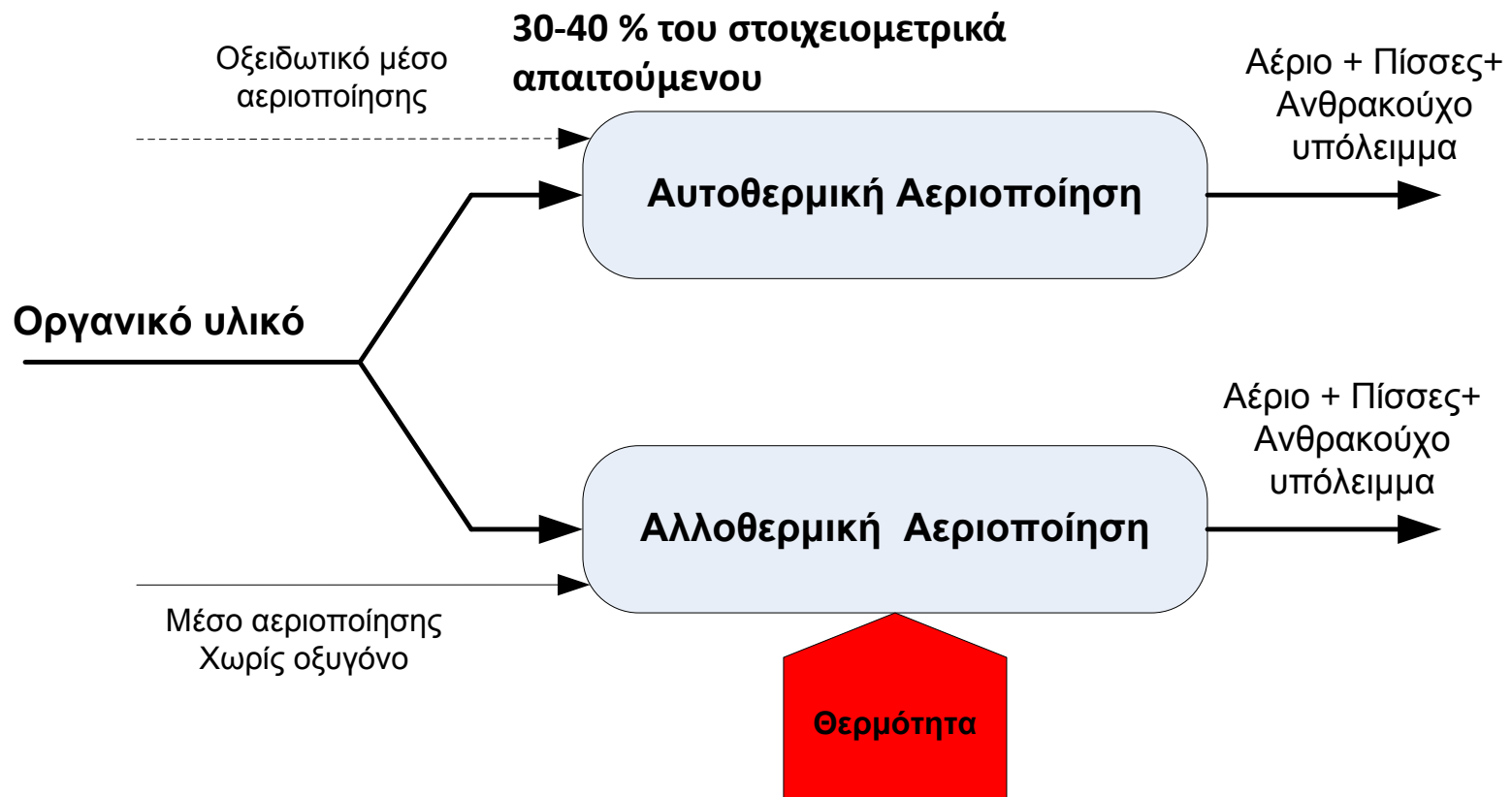
Μειονεκτήματα Αεριοποίησης:

- Τεχνολογία μη ευρέως εμπορικά διαθέσιμη
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας

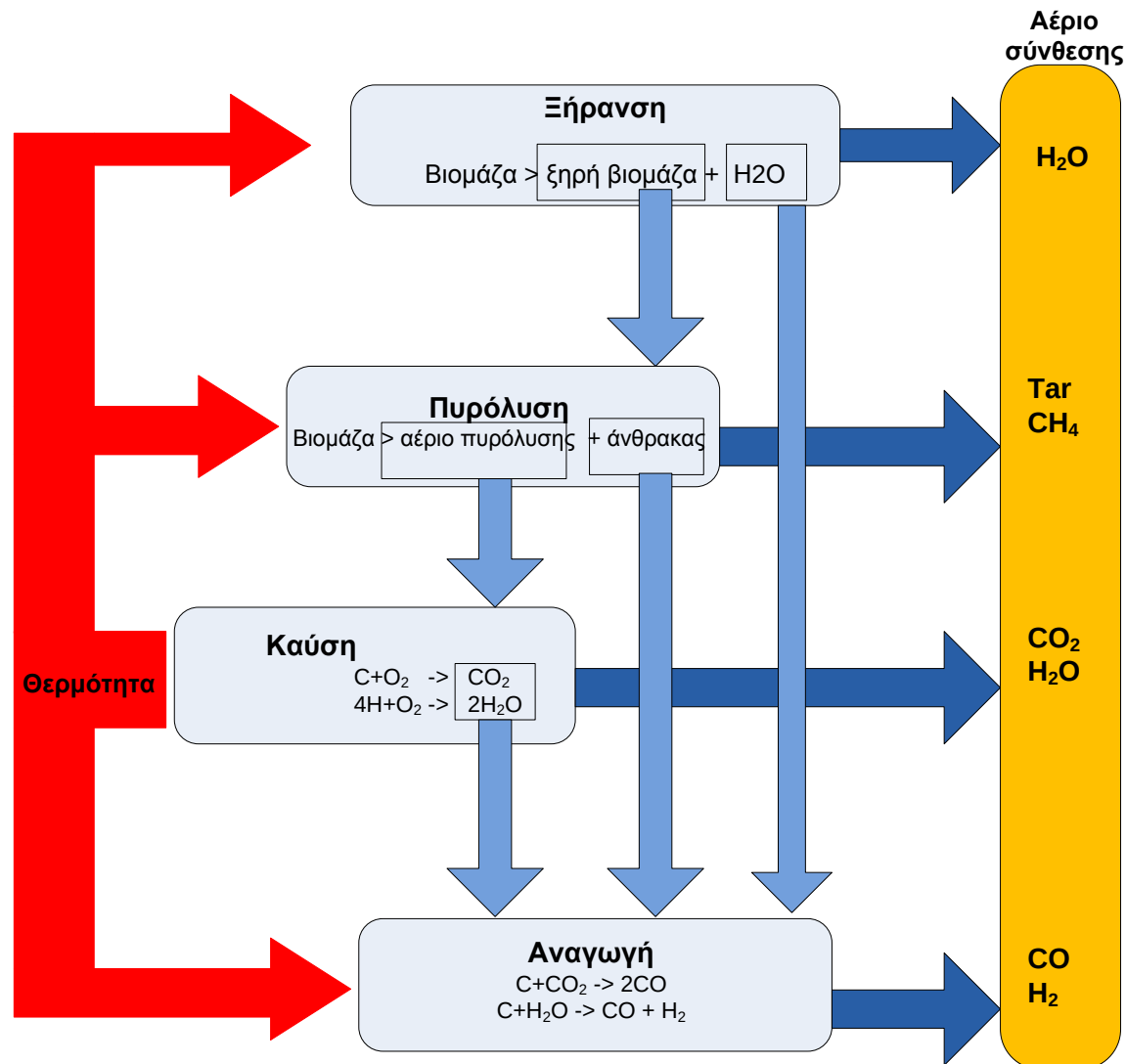


Διεργασία Αεριοποίησης

Η αεριοποίηση ορίζεται ως η θερμοχημική μετατροπή ενός στερεού οργανικού υλικού σε αέριο φορέα ενέργειας με τη βοήθεια κάποιου μέσου αεριοποίησης



Αυτοθερμική αεριοποίηση



Αεριοποίηση RDF – Stabilat®

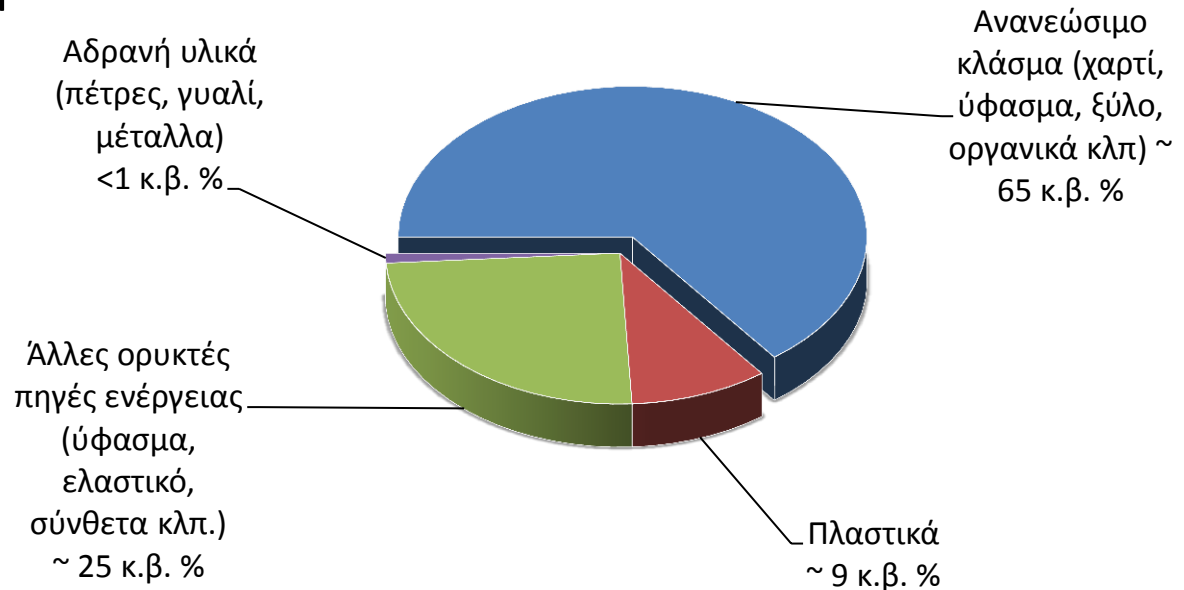
Stabilat®: Καύσιμο από μη επικίνδυνα αστικά απόβλητα από Μηχανική και Βιολογική επεξεργασία για ενεργειακή αξιοποίηση



Θερμογόνος Ικανότητα: 15 - 18 MJ/kg

Υγρασία: ~ 15 κ.β. %

Ποσοστό των συνολικών εισερχομένων ΑΣΑ: ~ 53 κ.β. %



Πλεονεκτήματα αεριοποίησης Stabilat®:

- Καθαρισμός καυσαερίου μετά την καύση
- Μικρότερος εξοπλισμός για καθαρισμό αερίου

Trockenstabilat® (soft pellets)

Floc



Hard pellet



Soft pellet

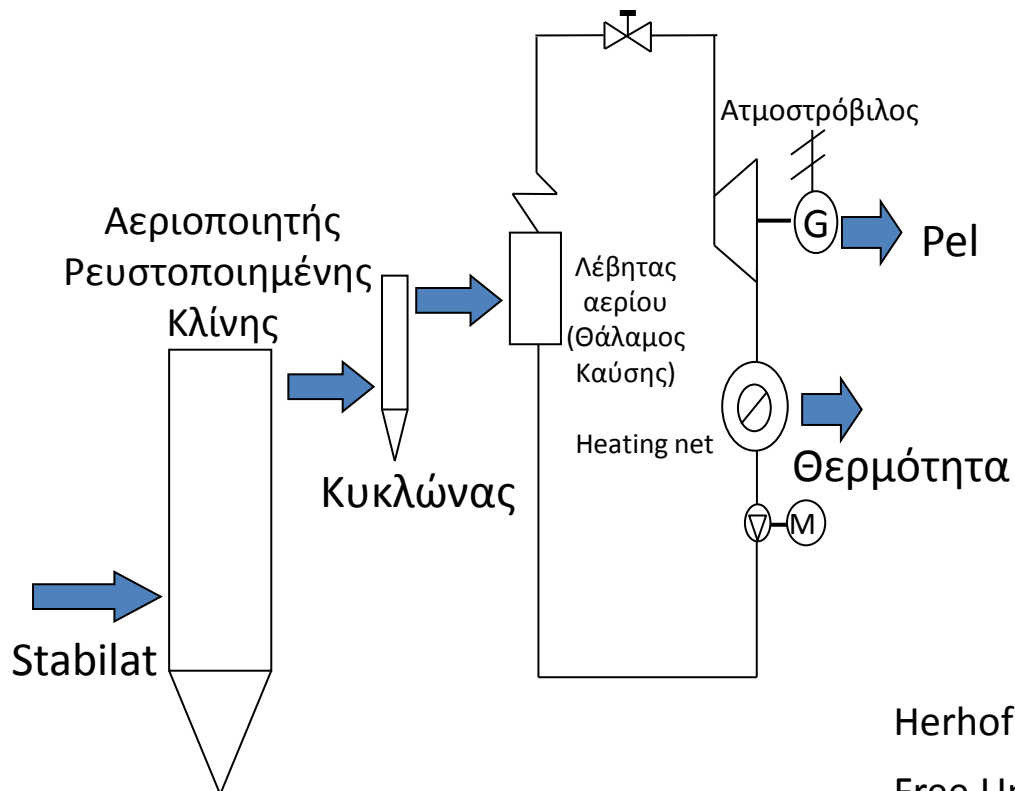




Σύγκριση του Stabilat με άλλα καύσιμα

Καύσιμο	Συντελεστής εκπομπών συνολικού CO ₂ -	Θερμογόνος Ικανότητα	Ανανεώσιμο κλάσμα	Συντελεστής εκπομπών ορυκτού CO ₂
	g CO ₂ /MJ	MJ/kg	% ενεργειακό περιεχόμενο	g CO ₂ /MJ
Λιγνίτης	111	8,6	0%	111
Λιθάνθρακας	93	29,7	0%	93
Πετρέλαιο	74	35,4	0%	74
Φυσικό αέριο	56	31,7	0%	56
Stabilat	71	15	66,8%	24

Παρουσίαση της μονάδας πολυπαραγωγής με αεριοποίηση του Stabilat στο Osnabrück



**Κύριος στόχος του έργου
POLYSTABILAT είναι η κατασκευή
ενός επιδεικτικού εργοστασίου ~ 750
kg/h Stabilat**

EU Project: TREN/FP7EN/219062
Polystabilat

Herhof Recyclingcenter Osnabrück GmbH

Free University of Brussels

National Technical University of Athens

University of Stuttgart



Διάγραμμα ροής αεριοποίησης στο Osnabrück (750 kg/h)

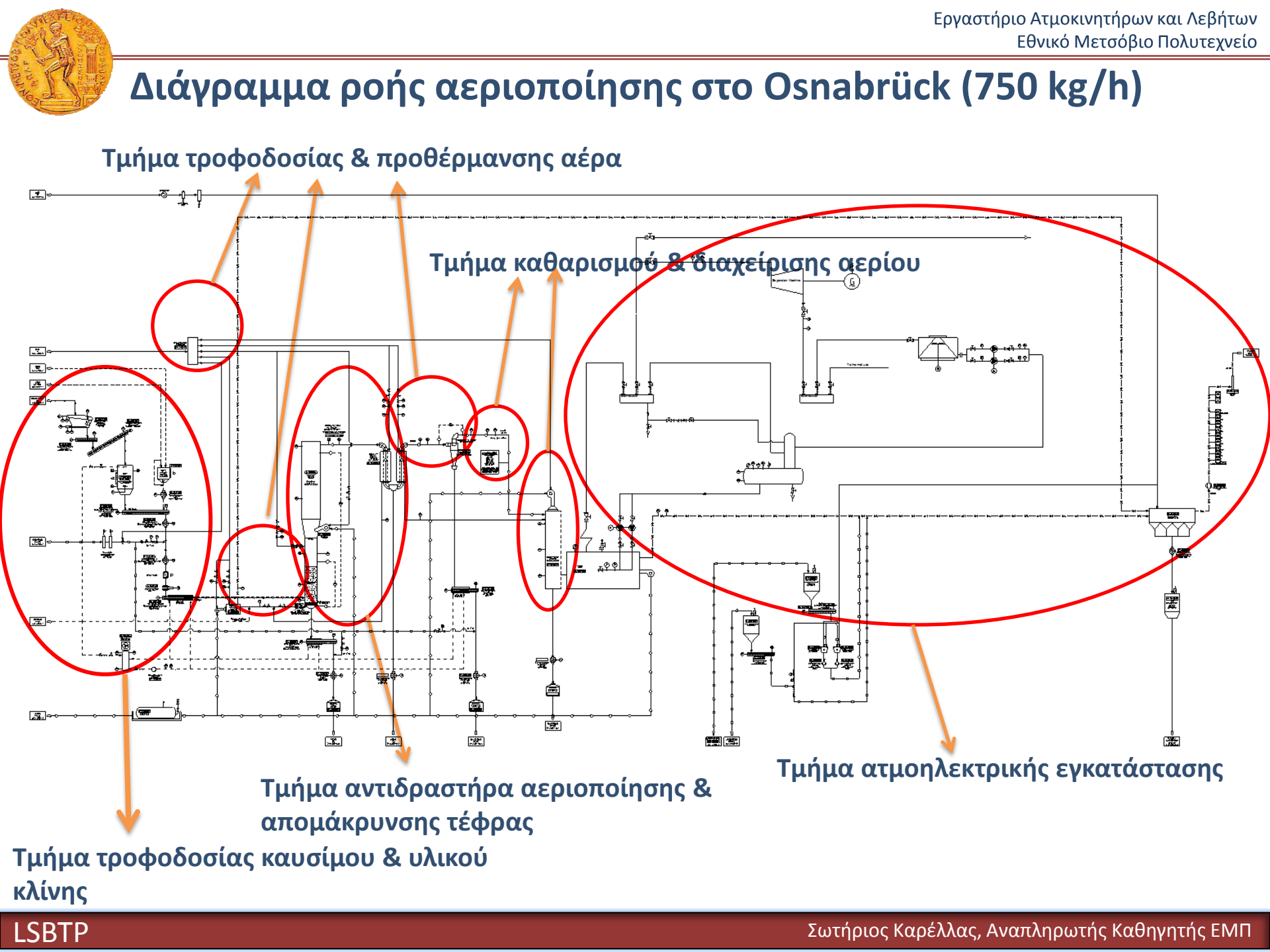
Τμήμα τροφοδοσίας & προθέρμανσης αέρα

Τμήμα καθαρισμού & διαχείρισης αερίου

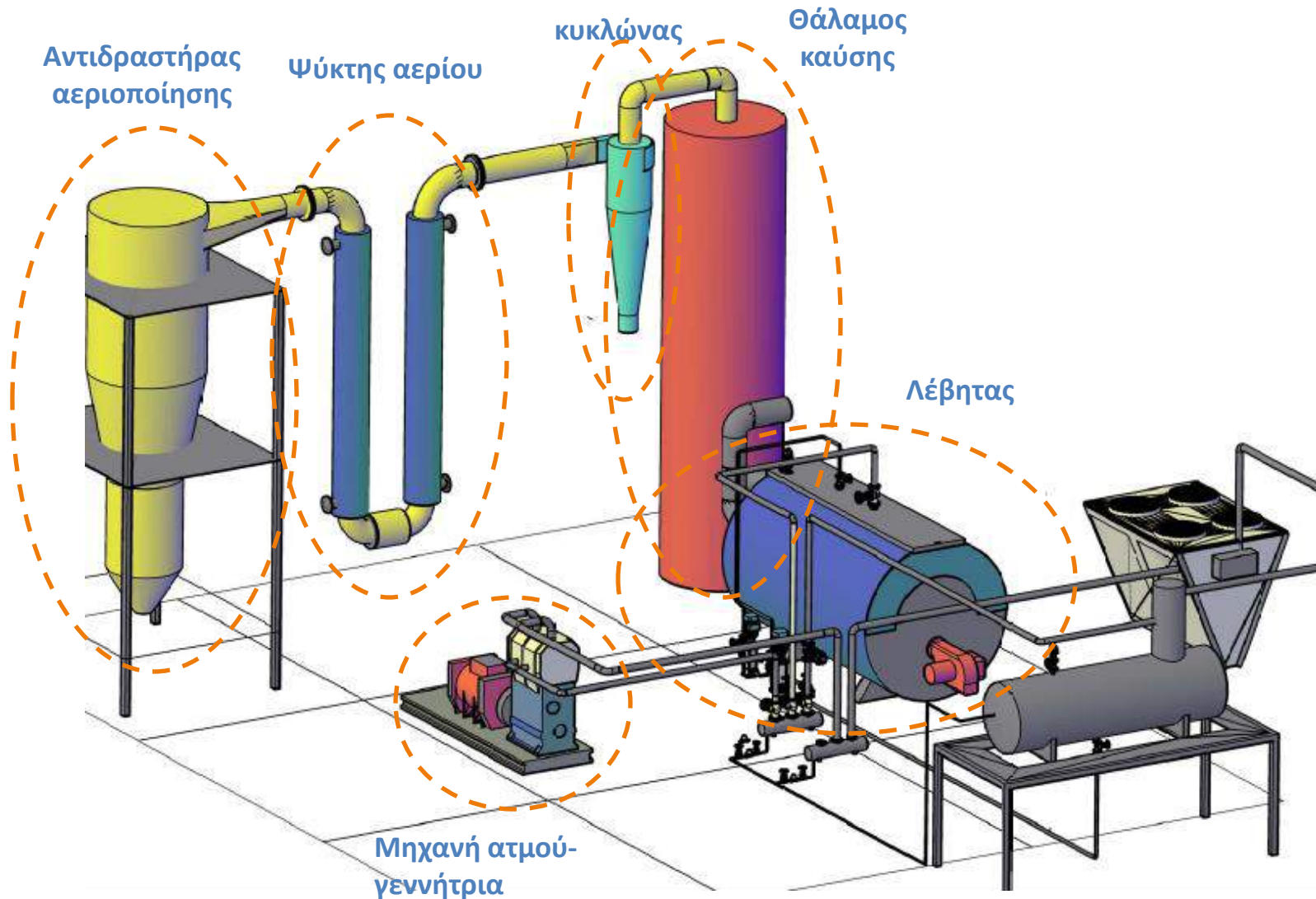
Τμήμα ατμοηλεκτρικής εγκατάστασης

Τμήμα αντιδραστήρα αεριοποίησης & απομάκρυνσης τέφρας

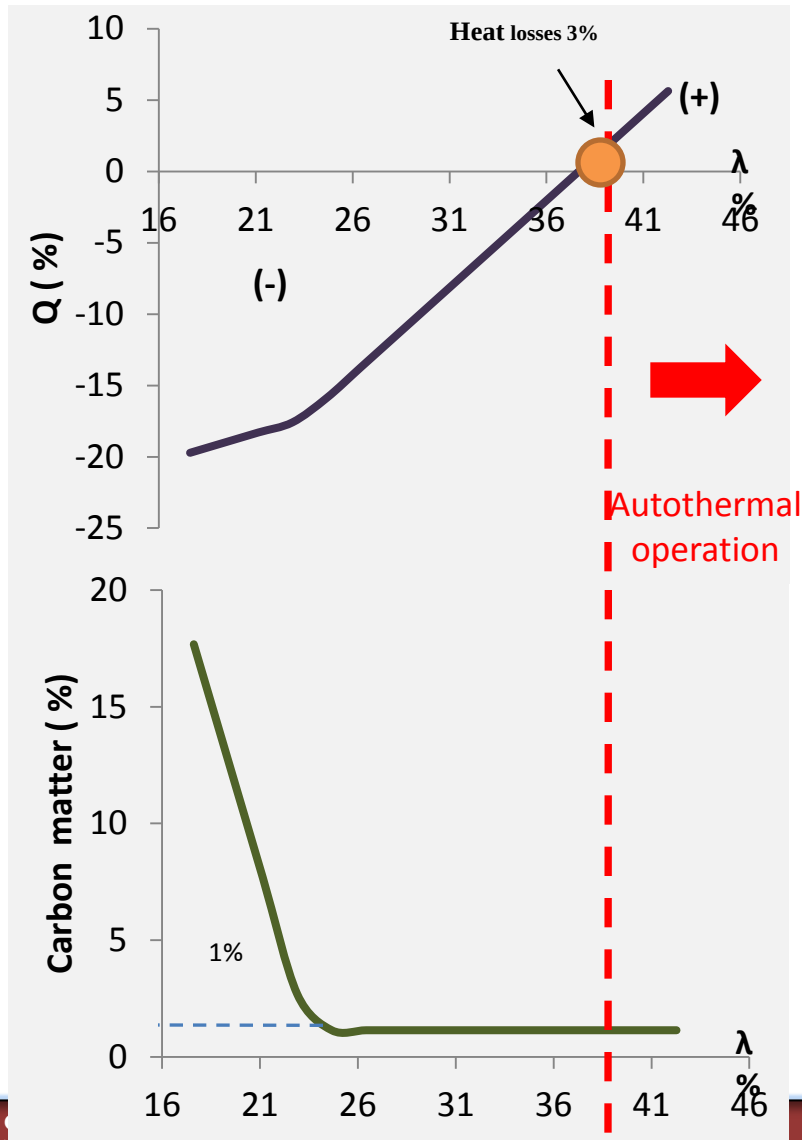
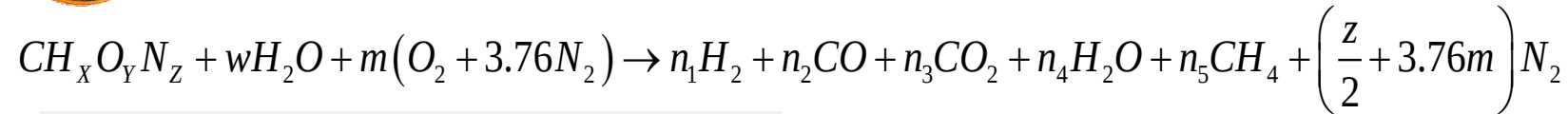
Τμήμα τροφοδοσίας καυσίμου & υλικού κλίνης



Εγκατάσταση ενεργειακής αξιοποίησης Stabilat®



Μελέτη διεργασίας Αεριοποίησης Stabilat®



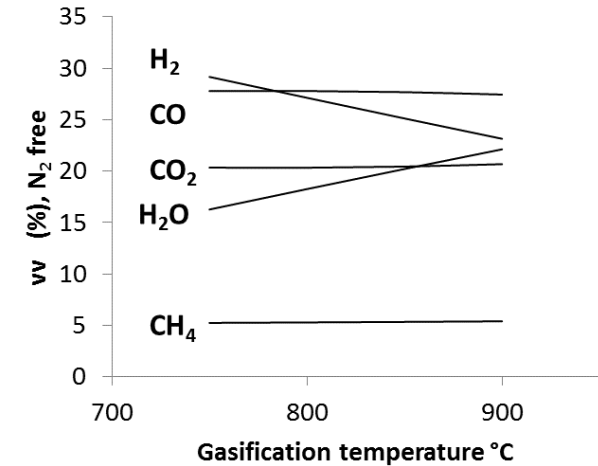
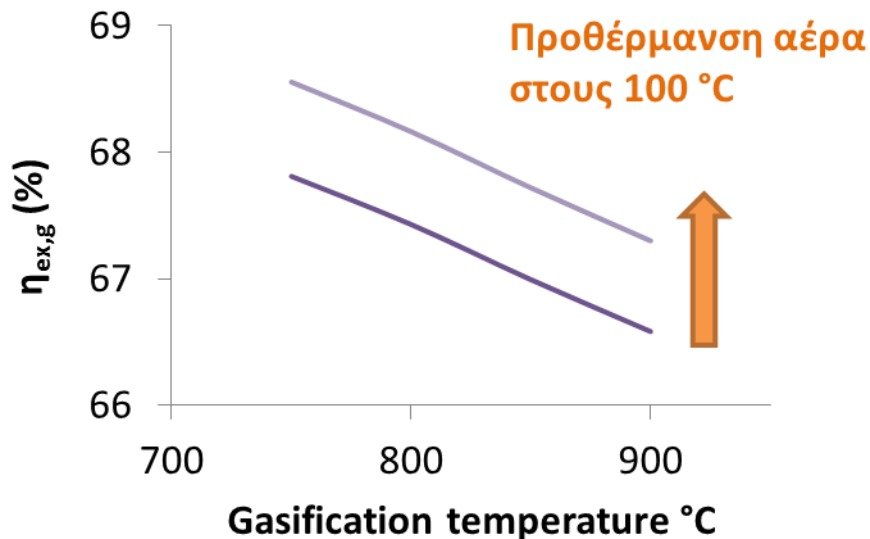
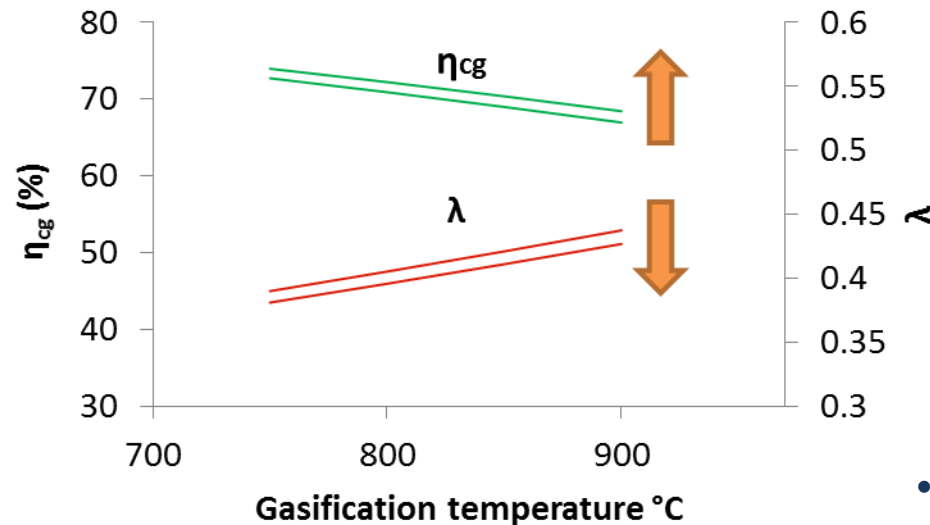
•Θερμοκρασία διεργασίας 850 °C.

•Αυτοθερμική λειτουργία επιτυγχάνεται για $\lambda > 0.38$ υποθέτοντας θερμικές απώλειες 3 %.

•Για $\lambda > 0.38$ εξασφαλίζεται μέγιστη μετατροπή άνθρακα.

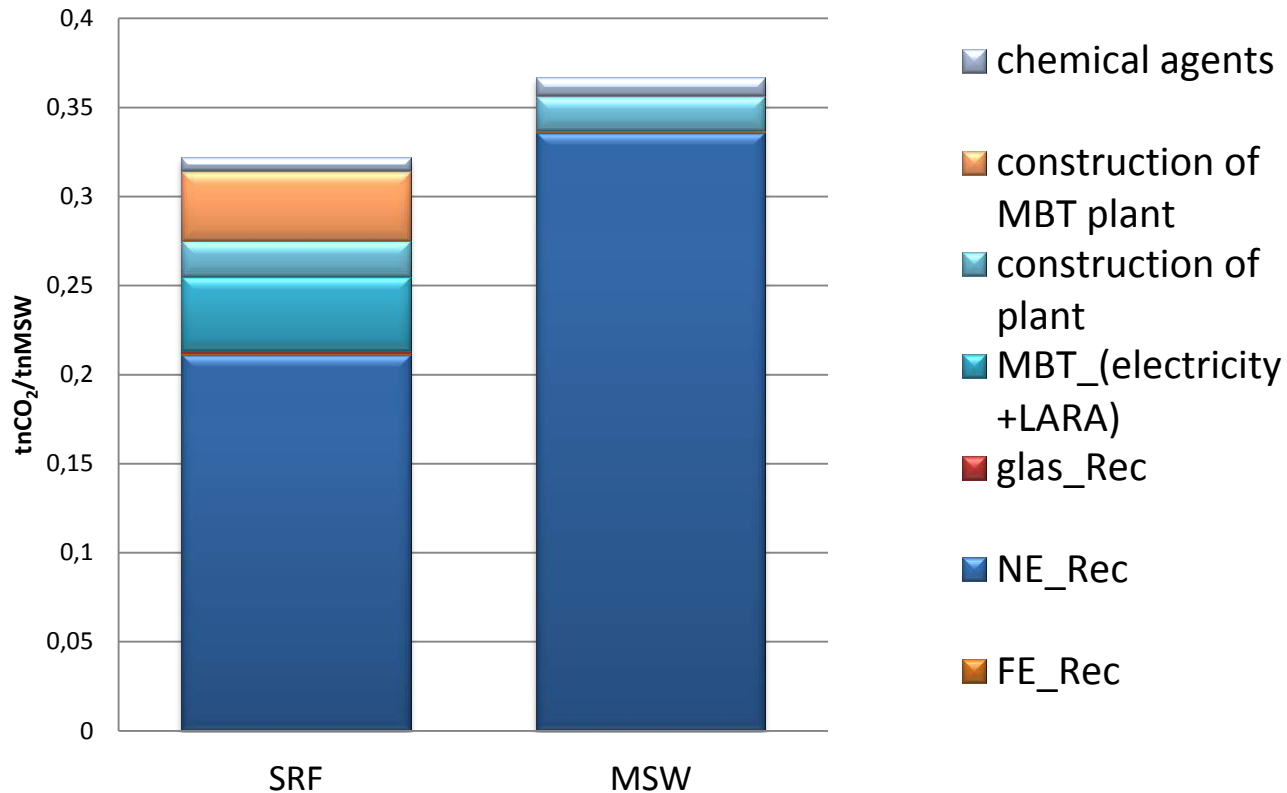
Θερμογόνος ικανότητα αερίου στους 850°C: 3.8 MJ/kg

Επίδραση θερμοκρασίας αεριοποίησης



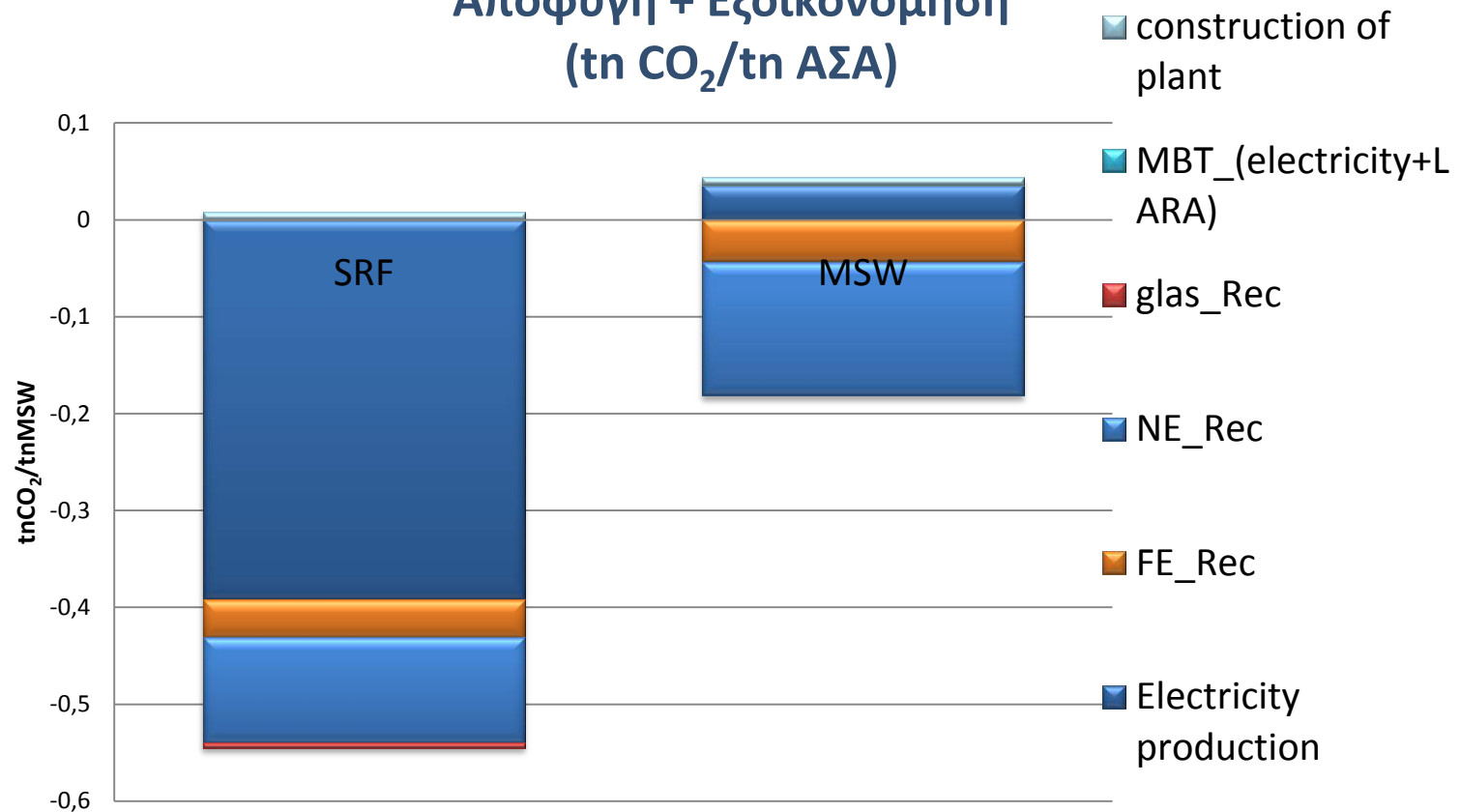
- Περισσότερος αέρας απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας, αύξηση λ
- Ο "ψυχρός" βαθμός απόδοσης μειώνεται καθώς αυξάνεται το N₂ στο αέριο
- Ο εξεργειακός βαθμός ομοίως μειώνεται
- Προθέρμανση του αέρα αεριοποίησης ευνοεί τόσο τον ψυχρό όσο και τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει το λ

Εκπομπές (tn CO₂/tn ΑΣΑ)

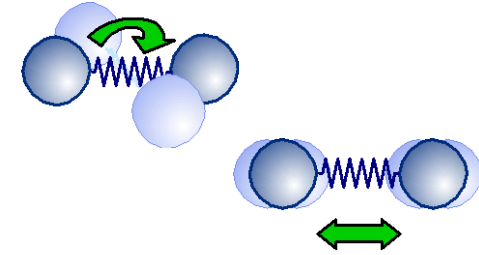
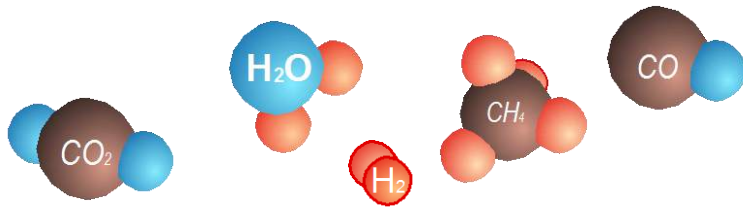


Εκπομπές σε δύο περιπτώσεις
α) SRF: Stabilat® β) ΑΣΑ: απευθείας καύση

Αποφυγή + Εξοικονόμηση (tn CO₂/tn ΑΣΑ)



Εκπομπές σε δύο περιπτώσεις
α)SRF: Stabilat® b) ΑΣΑ: απευθείας καύση



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!

