



Καινοτόμες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων

Περιβάλλον και Ανάπτυξη

23/03/2016



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

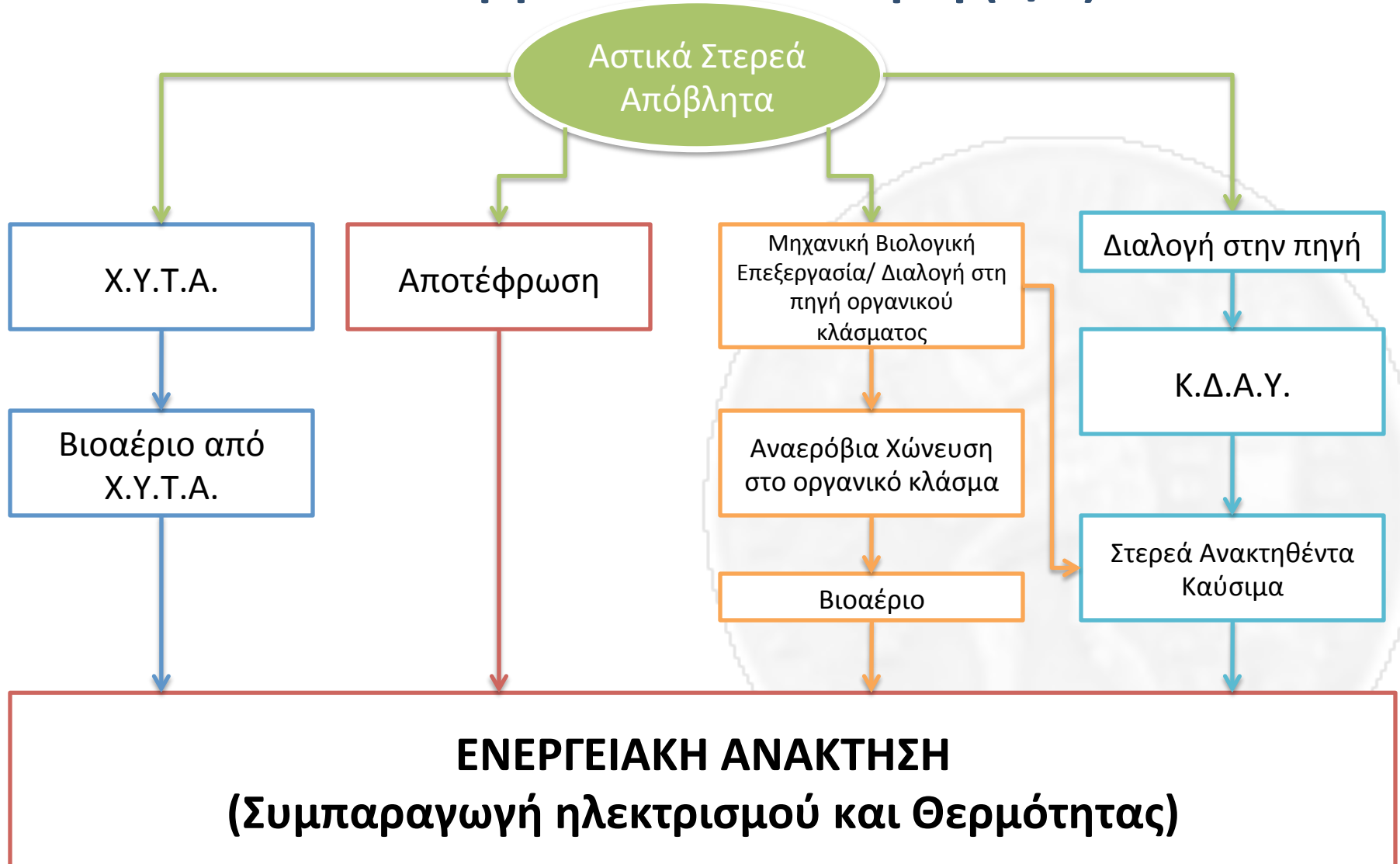


ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ



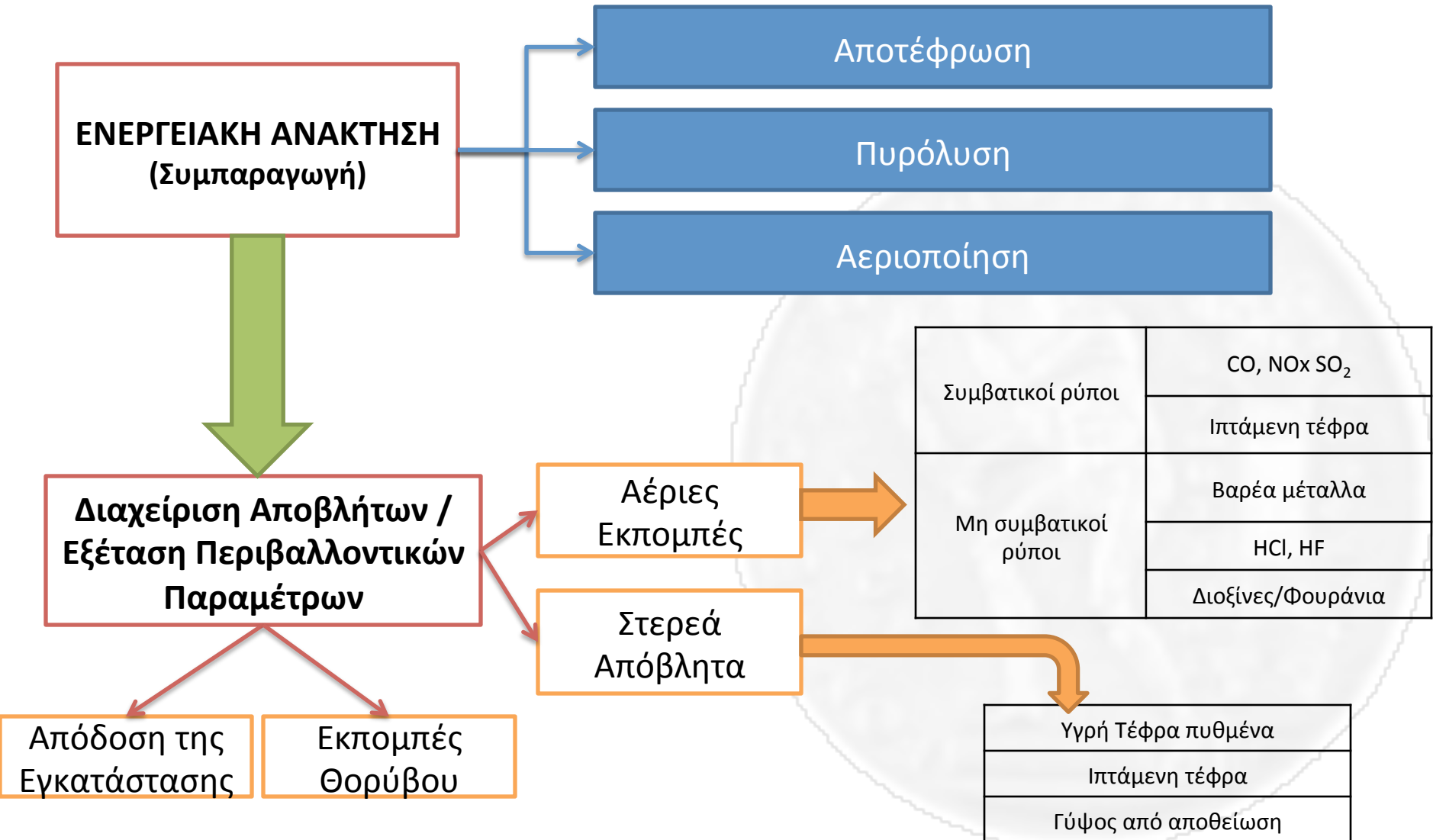


Αστικά Στερεά Απόβλητα – Ενεργειακή Αξιοποίηση (1/2)



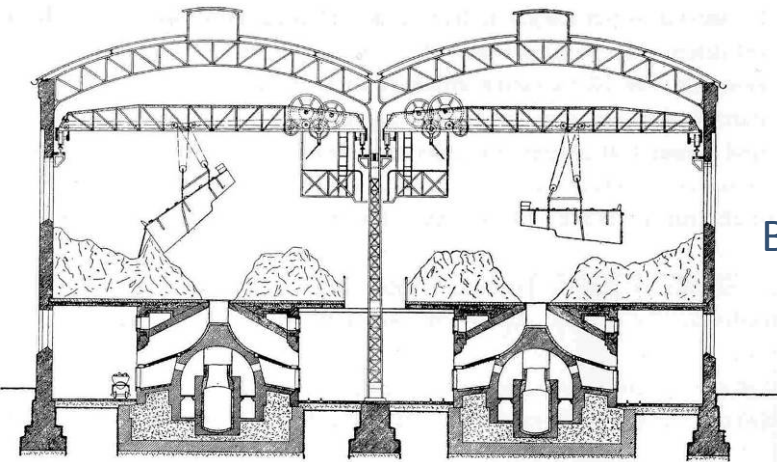


Αστικά Στερεά Απόβλητα – Ενεργειακή Αξιοποίηση (2/2)





Αποτεφρωτήρες – Ιστορική αναδρομή



Hamburg
Bullerdeich
1896

Πηγή: Vehlow, ITC-TAB

Wien Spittelau



2 x 360 t/d Rückschub-Rost

Πηγή: Martin

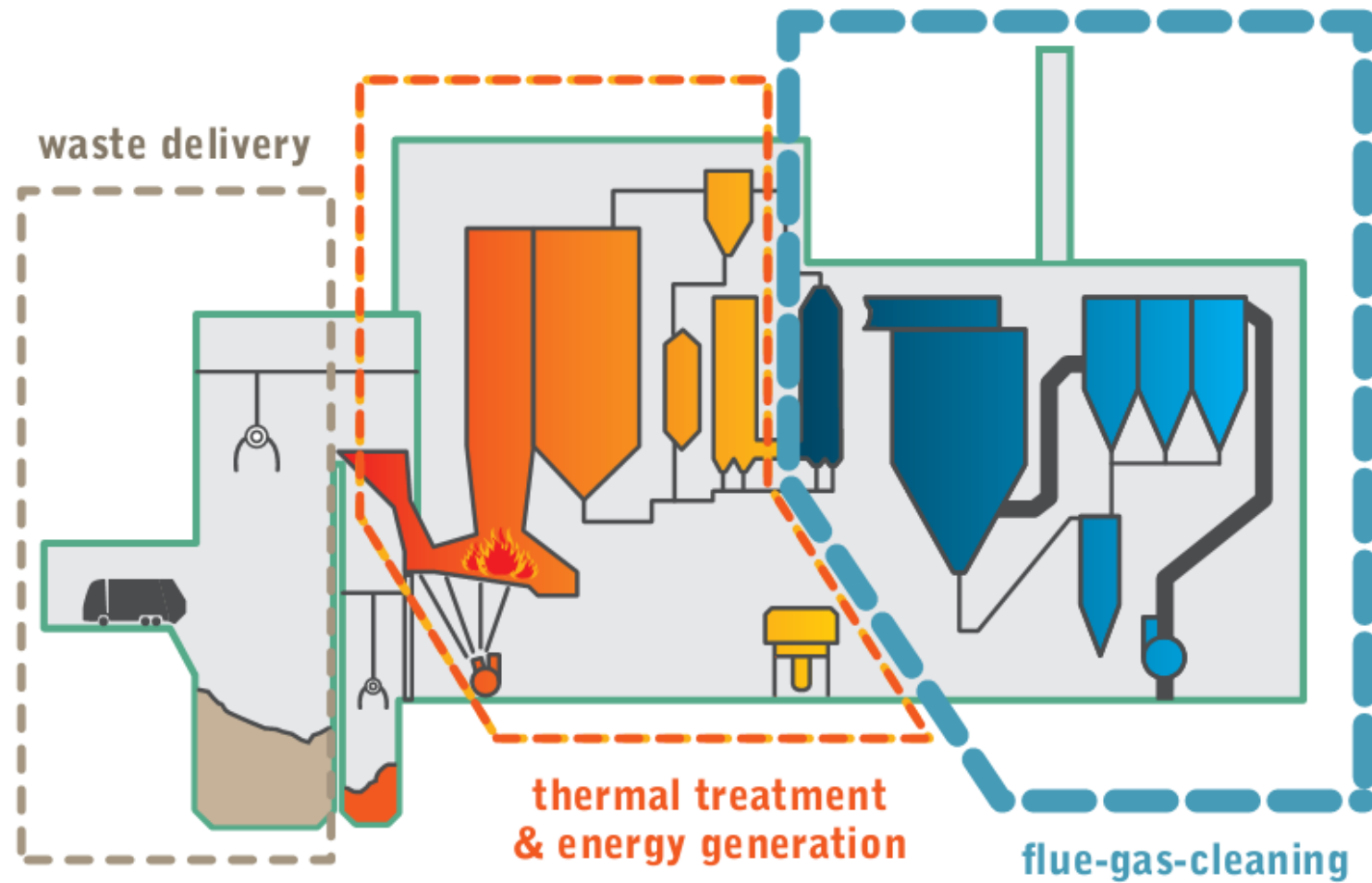
Tokyo-Minato (Ιαπωνία)



3 σειρές εσχάρων
καύσης με
δυναμικότητα
καθεμίας 300 t/
ημέρα



Σχηματικό Διάγραμμα Εργοστασίου αποτέφρωσης ΑΣΑ



Πηγή: CEWEP

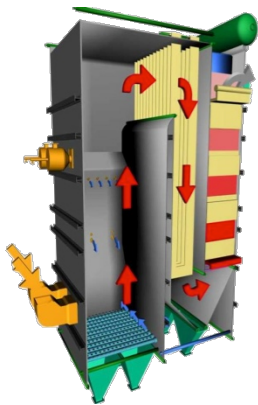


Αποτέφρωση σε ρευστοποιημένη κλίνη

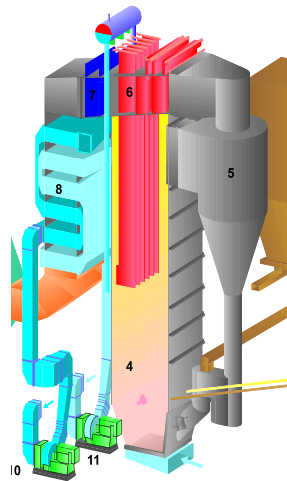
Ένα σύστημα αποτέφρωσης με ρευστοποιημένη κλίνη αποτελείται από :

- 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).

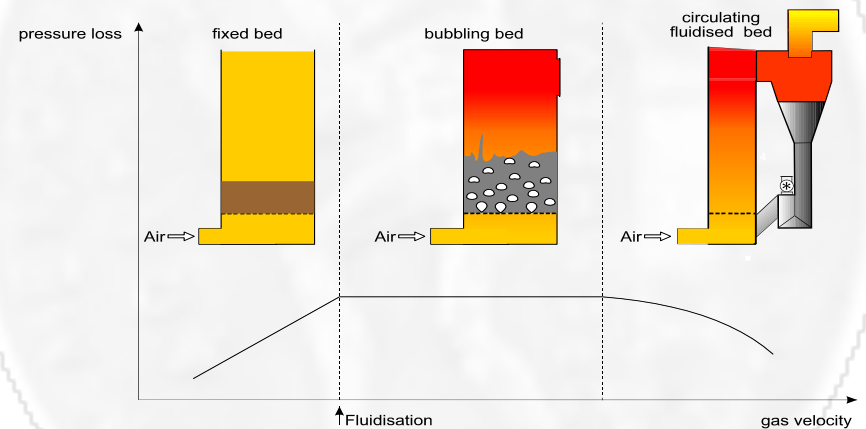
Κατηγορίες Ρευστοποιημένης κλίνης



(α) Αναβράζουσα ρευστοποιημένη κλίνη [Austrian Energy]



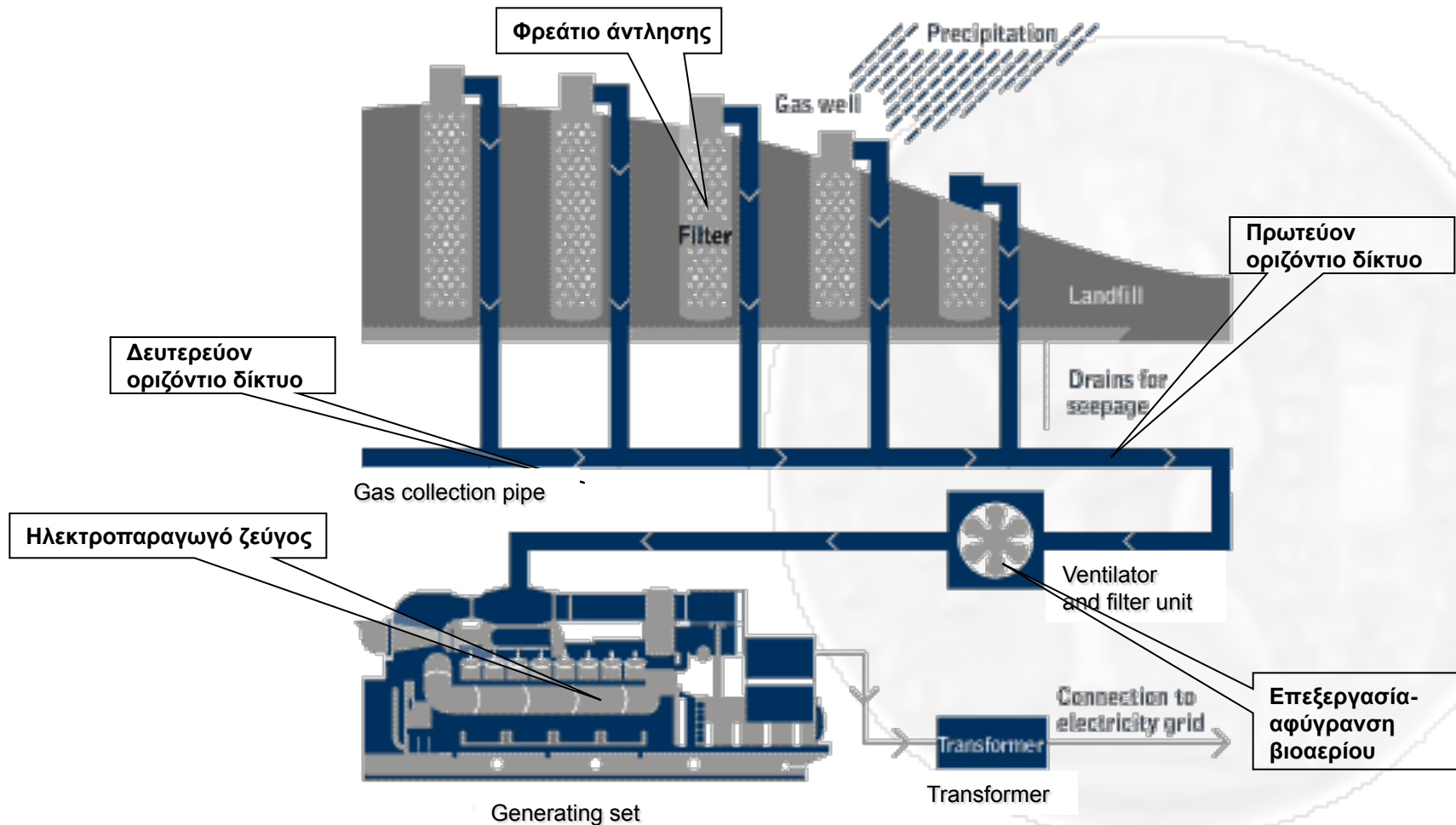
(β) Ρευστοποιημένη κλίνη ανακυκλοφορίας [Austrian Energy]



Πεδίο λειτουργίας ρευστοποιημένης κλίνης [Austrian Energy]



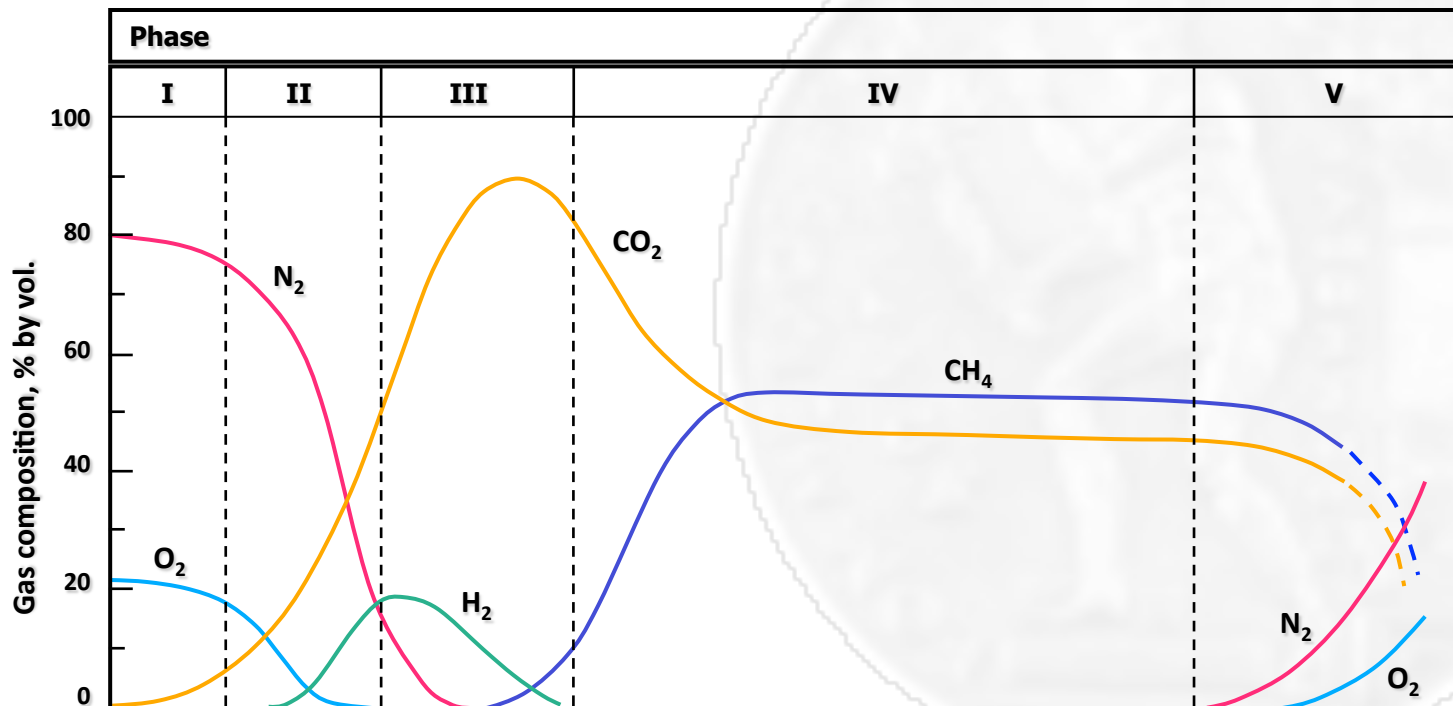
Συλλογή, αξιοποίηση βιοαερίου σε ΧΥΤΑ





Παραγωγή - σύσταση βιοαερίου σε ΧΥΤΑ

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





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 Συμπαραγωγής 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

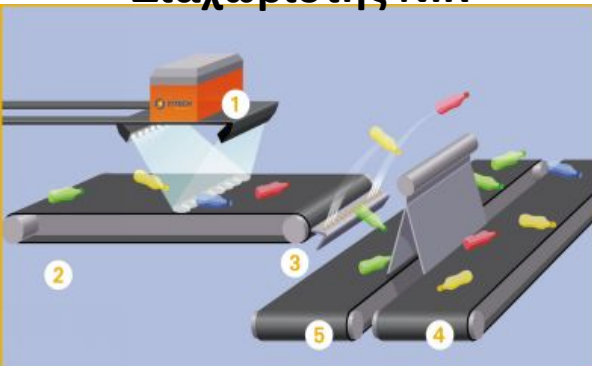
Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (Material Recycling Facilities)

Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (Mechanical and Biological Treatment)

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

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ

Διαχωριστής NIR



(Πηγή: www.titech.com)

Οργανικό κλάσμα

Αερόβια χώνευση

Αναερόβια χώνευση

Στερεό Ανακτηθέν Καύσιμο (Refuse Derived Fuel)



ΕΘ

υτεχνείο



Ποιοτική ανάλυση παραγόμενου Ανακτηθέντος Καυσίμου



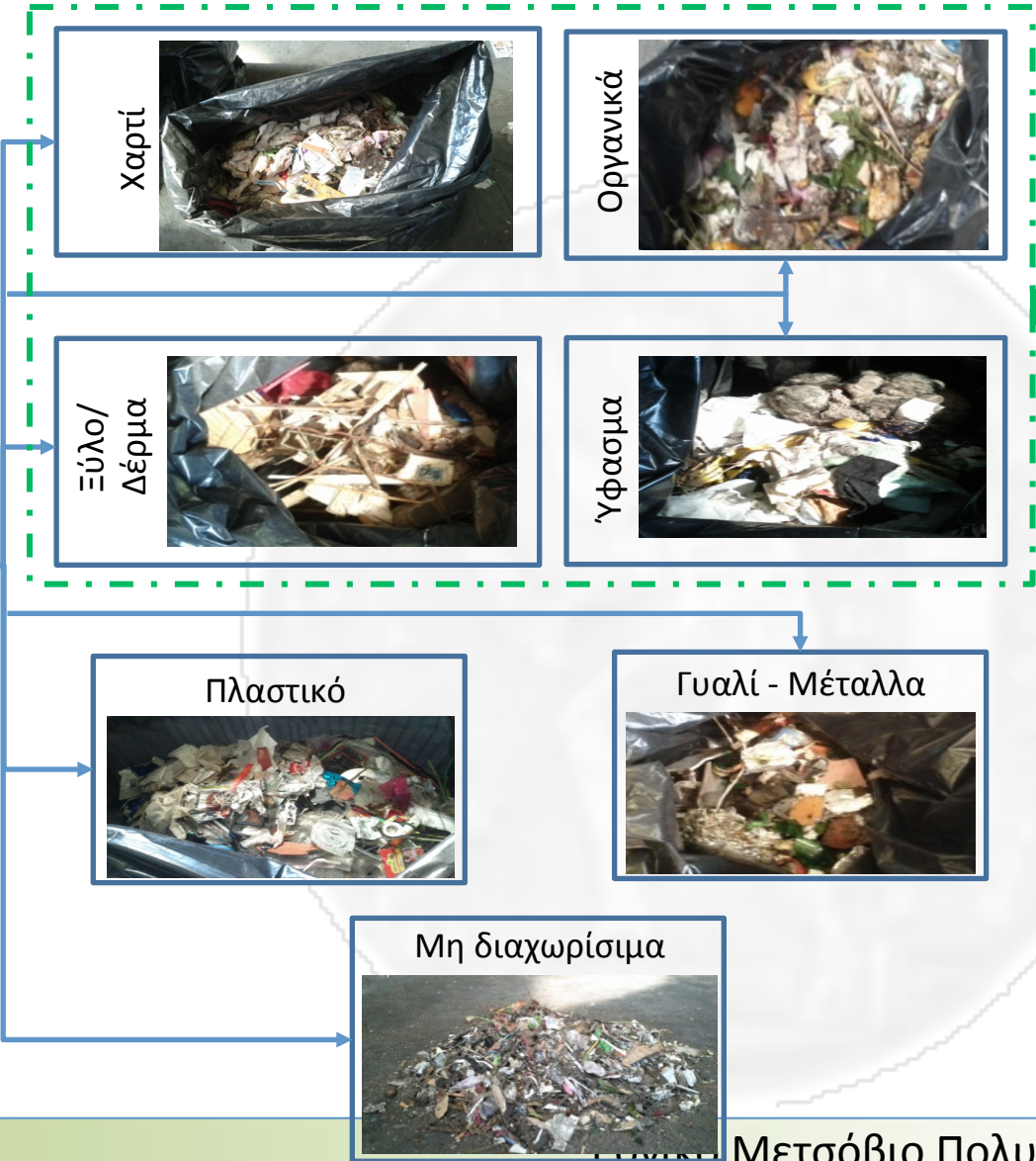
Προσμίξεις στο RDF
(Σφάλμα Καταναλωτή)



RDF



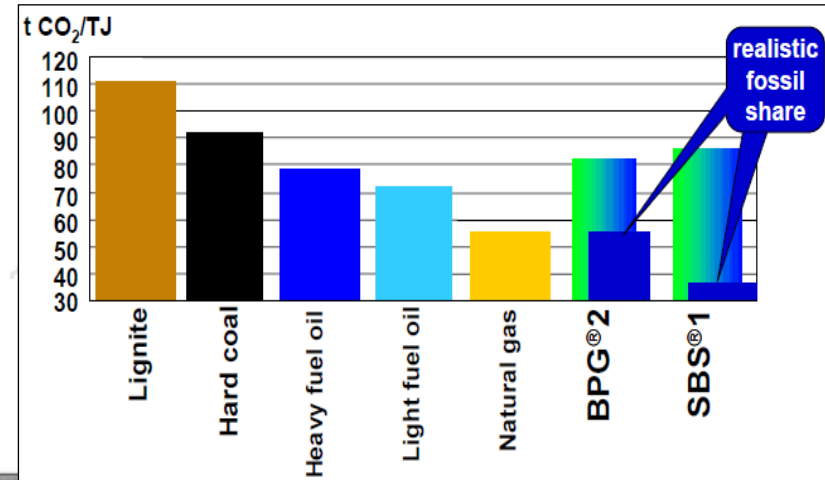
Προσμίξεις στο RDF
(Σφάλμα Εργοστασίου)



Βιογενές κλάσμα



Στερεά Ανακτηθέντα Καύσιμα – Ενεργειακή Αξιοποίηση - Χρήσεις



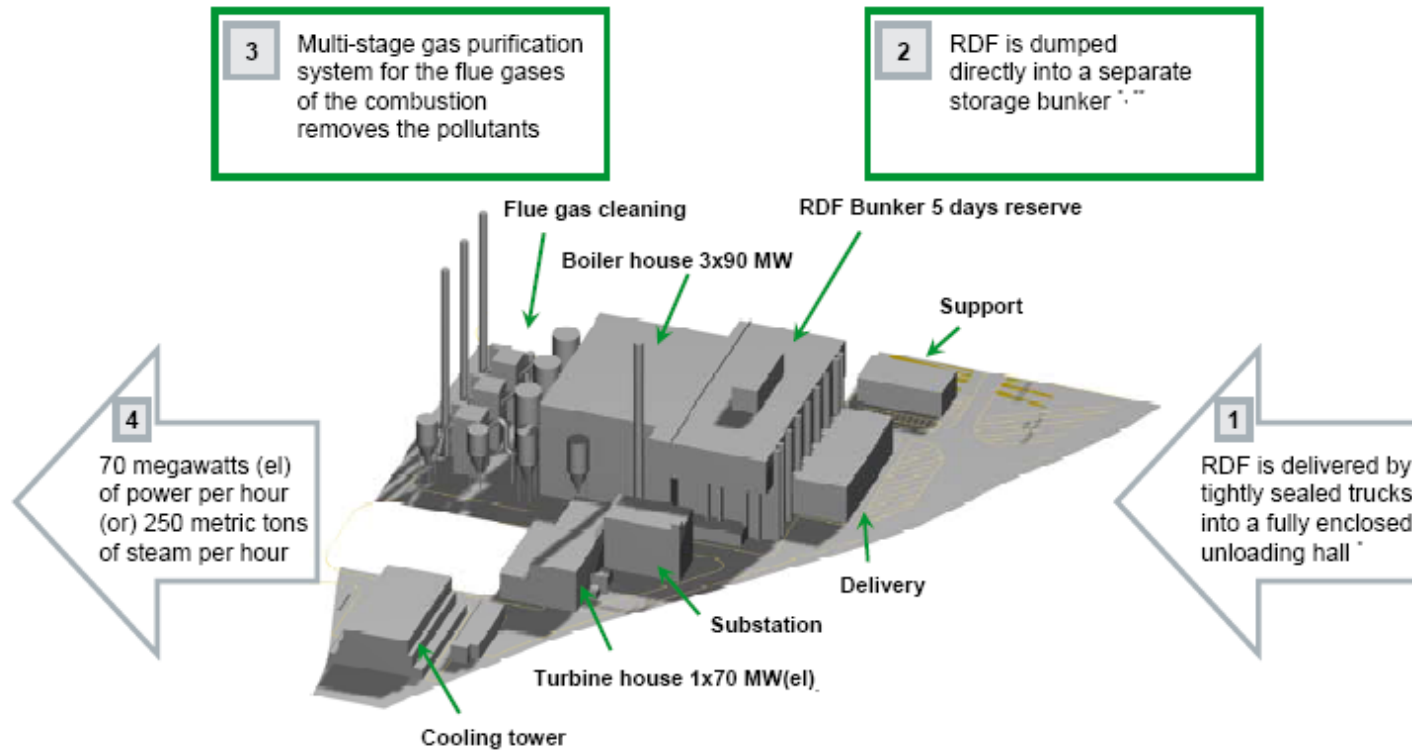


ΚΑΥΣΗ





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 αεροποίηση;

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.

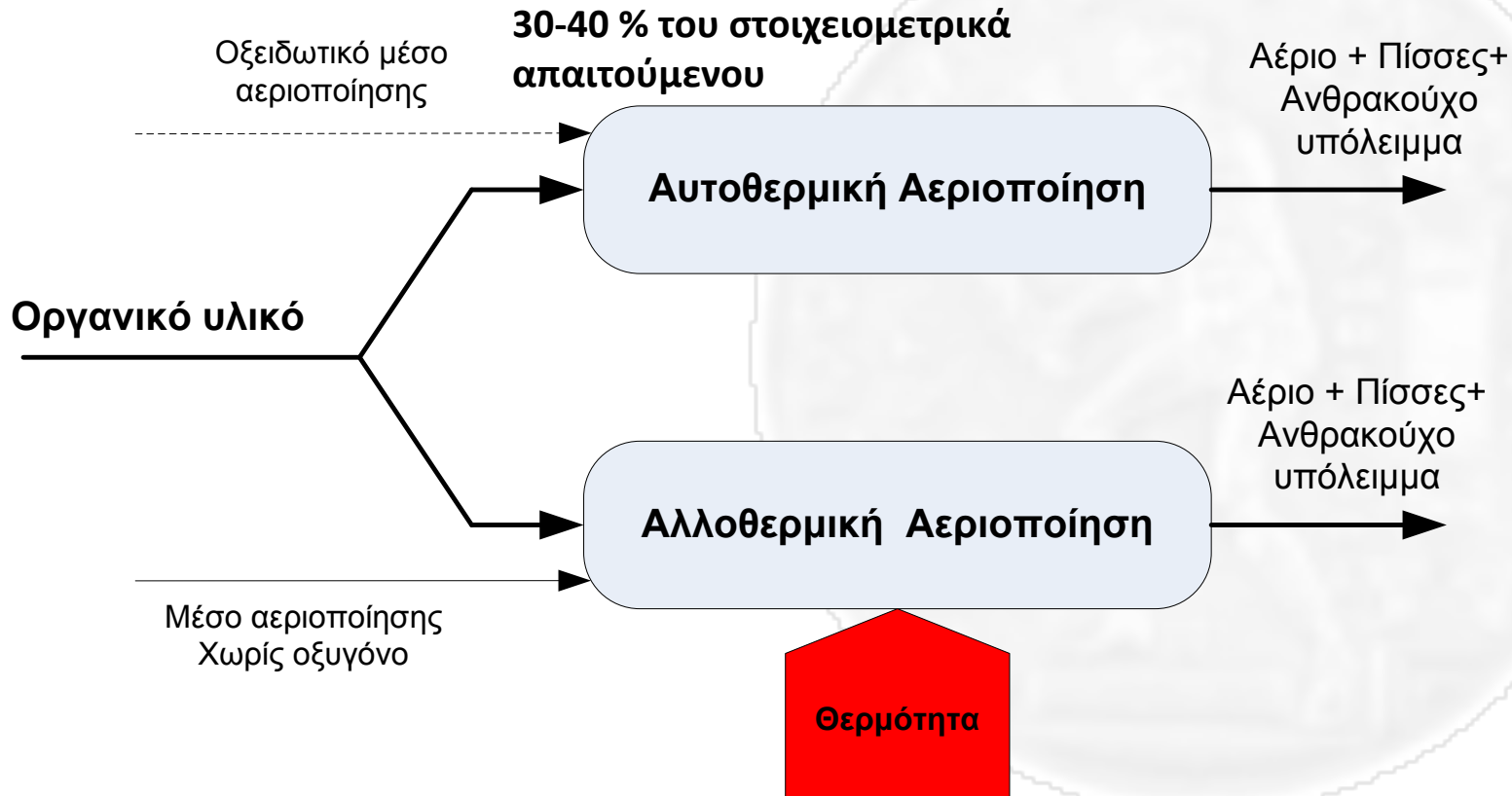
Μειονεκτήματα Αεριοποίησης:

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



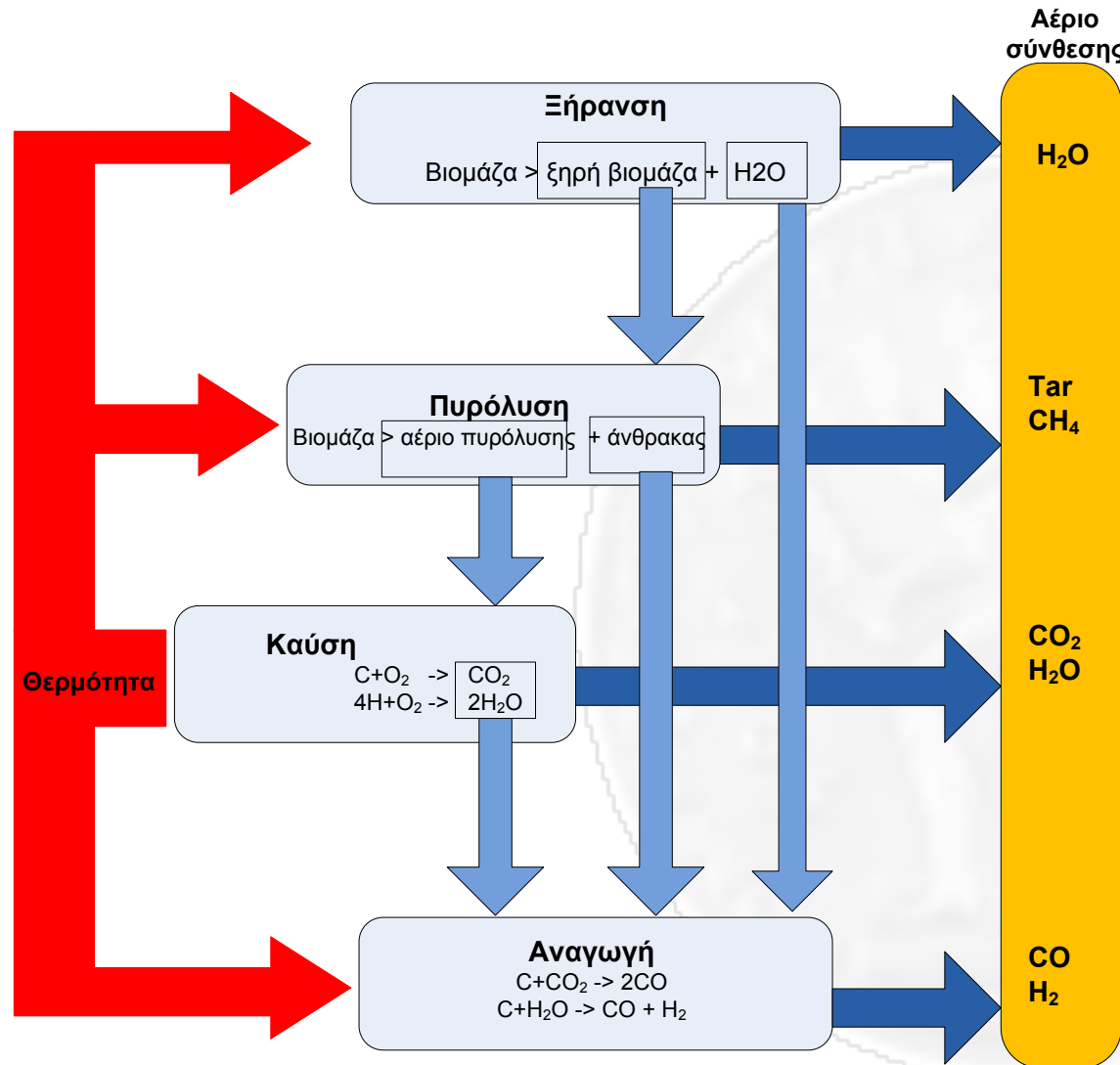
Διεργασία Αεριοποίησης

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



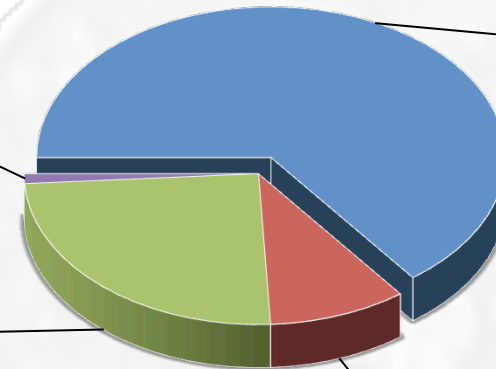
Θερμογόνος Ικανότητα: 15 - 18 MJ/kg

Υγρασία: ~ 15 κβ. %

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

Αδρανή υλικά
(πέτρες, γυαλί,
μέταλλα)
<1 κ.β. %

Άλλες ορυκτές
πηγές ενέργειας
(ύφασμα,
ελαστικό,
σύνθετα κλπ.)
~ 25 κ.β. %



Ανανεώσιμο
κλάσμα (χαρτί,
ύφασμα, ξύλο,
οργανικά κλπ) ~
65 κ.β. %

Πλαστικά
~ 9 κ.β. %

Πλεονεκτήματα αεριοποίησης Stabilat®:

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



Trockenstabilat® (soft pellets)

Floc



Hard pellet



Soft pellet



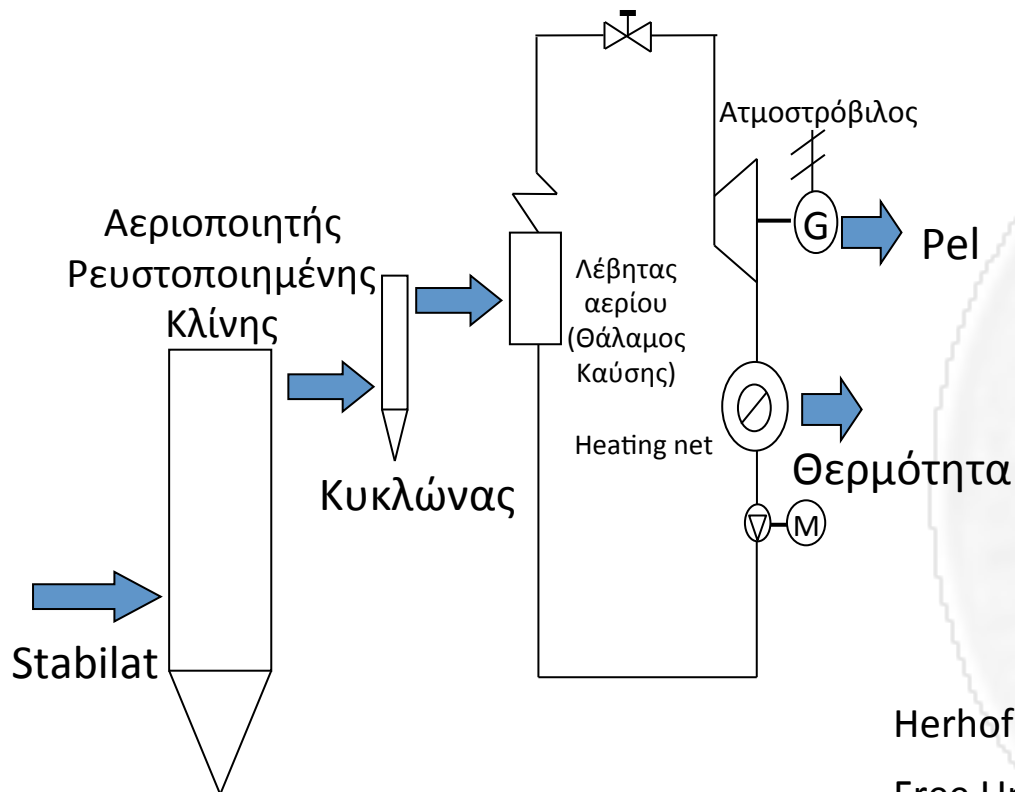


Σύγκριση του Stabilat με άλλα καύσιμα

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)

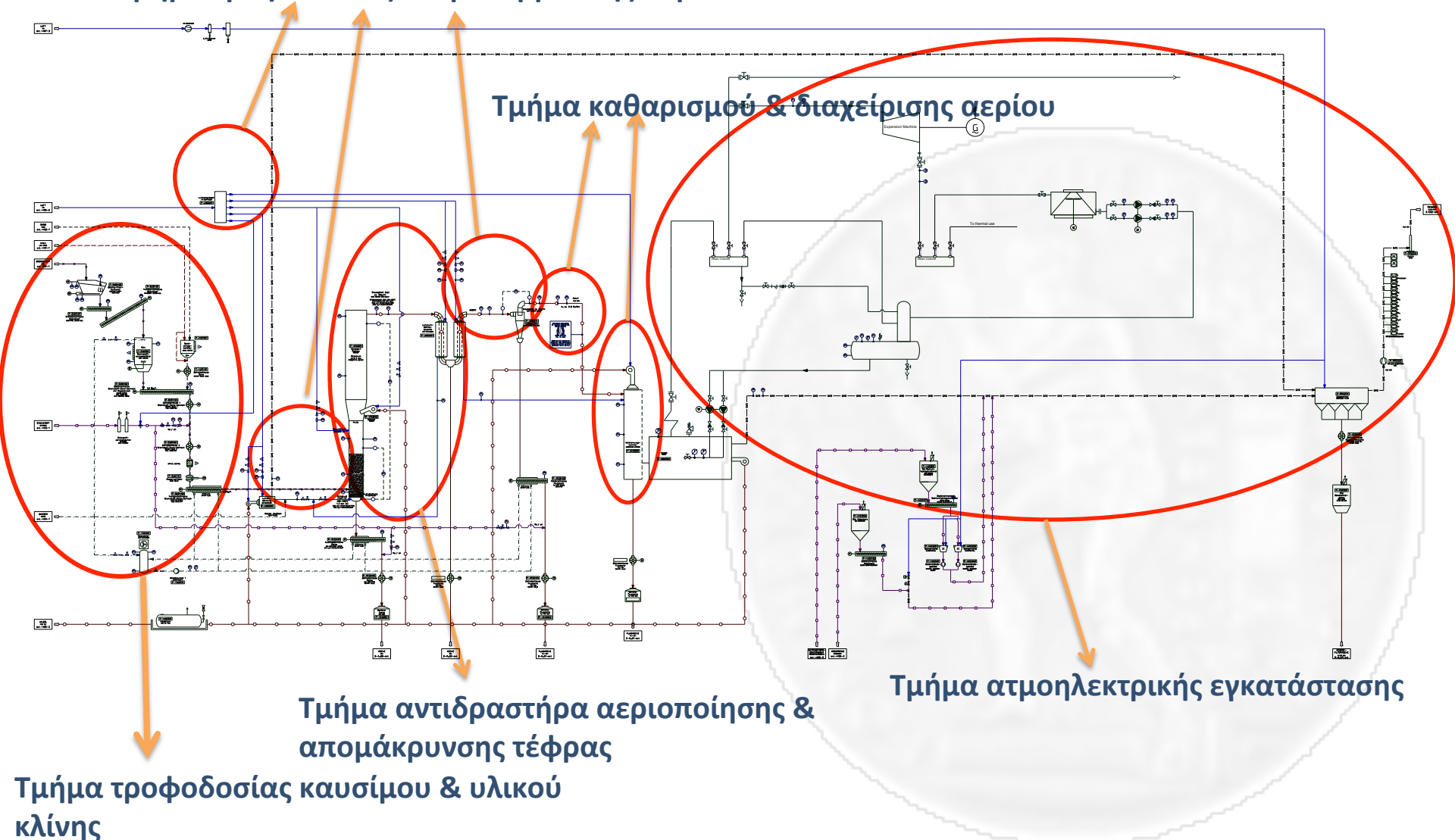
Τμήμα τροφοδοσίας & προθέρμανσης αέρα

Τμήμα καθαρισμού & διαχείρισης αερίου

Τμήμα αντιδραστήρα αεριοποίησης & απομάκρυνσης τέφρας

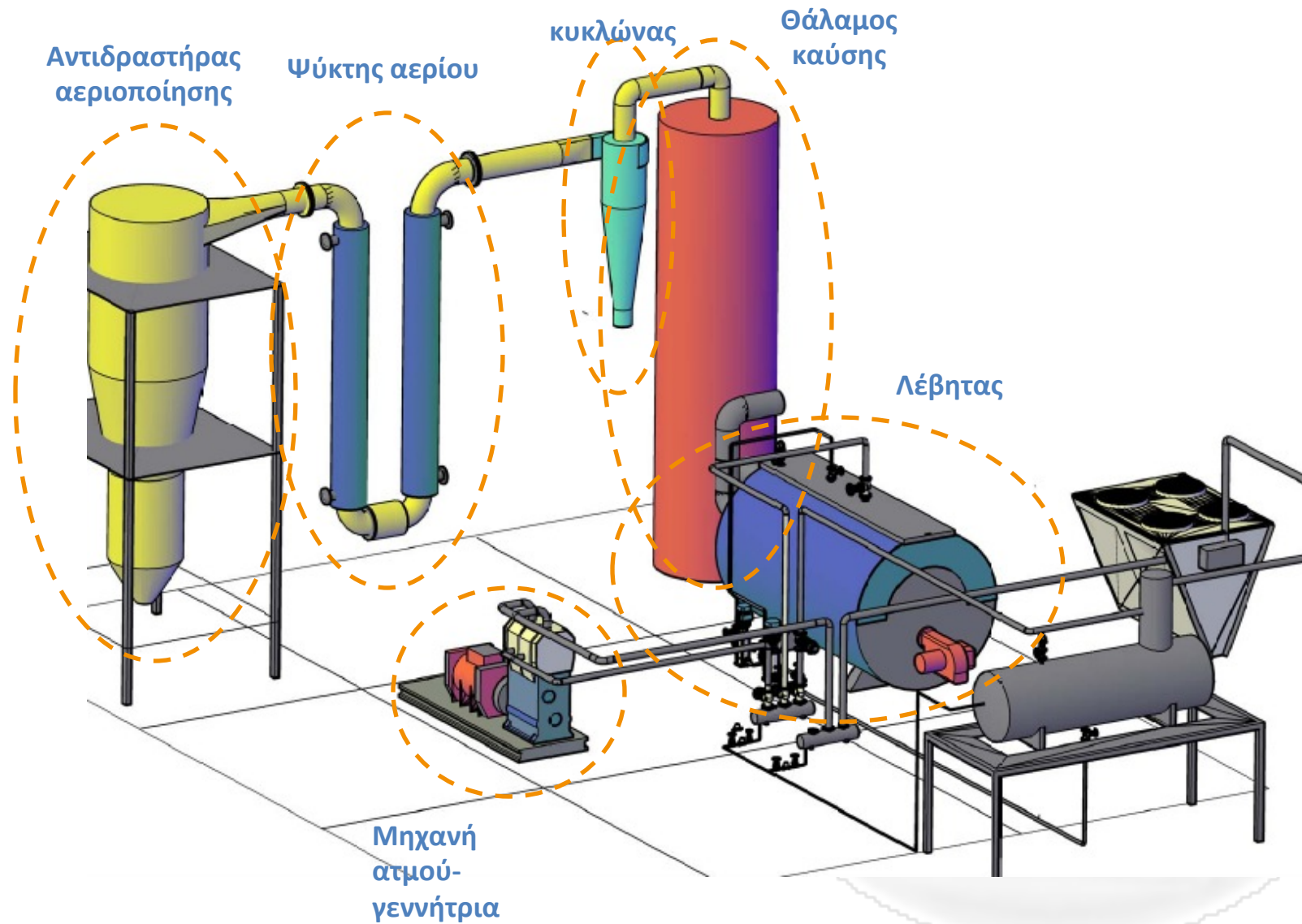
Τμήμα ατμοηλεκτρικής εγκατάστασης

Τμήμα τροφοδοσίας καυσίμου & υλικού κλίνης



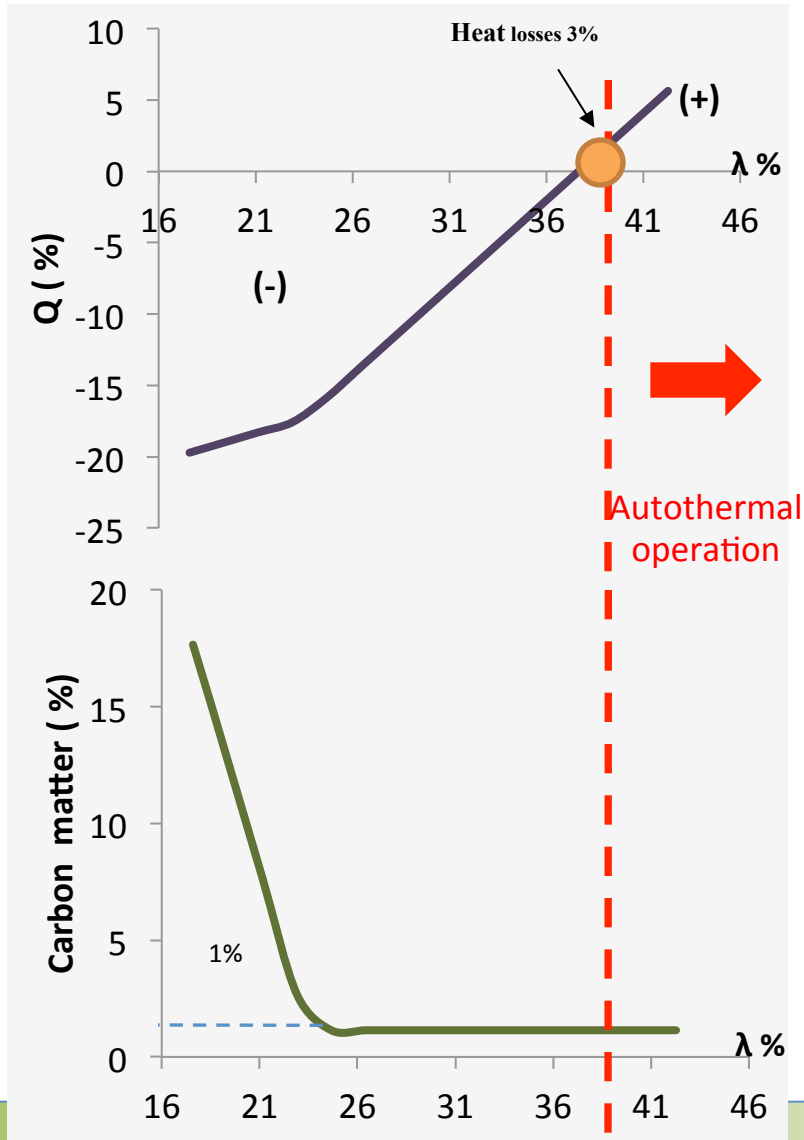
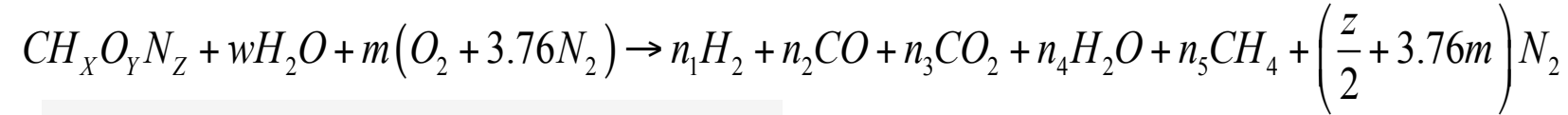


Εγκατάσταση ενεργειακής αξιοποίησης Stabilat®





Μελέτη διεργασίας Αεριοποίησης Stabilat®



- Θερμοκρασία διεργασίας 850 °C.

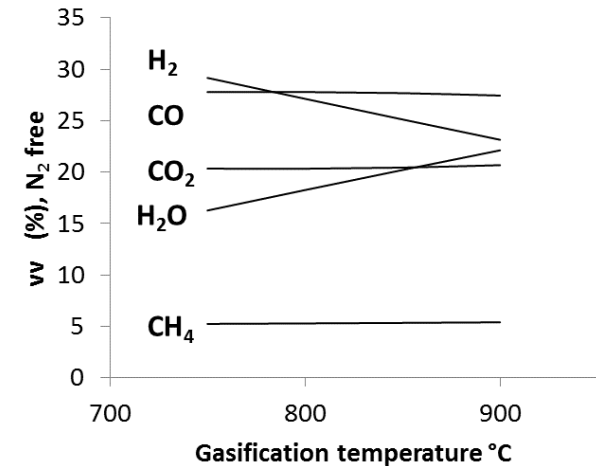
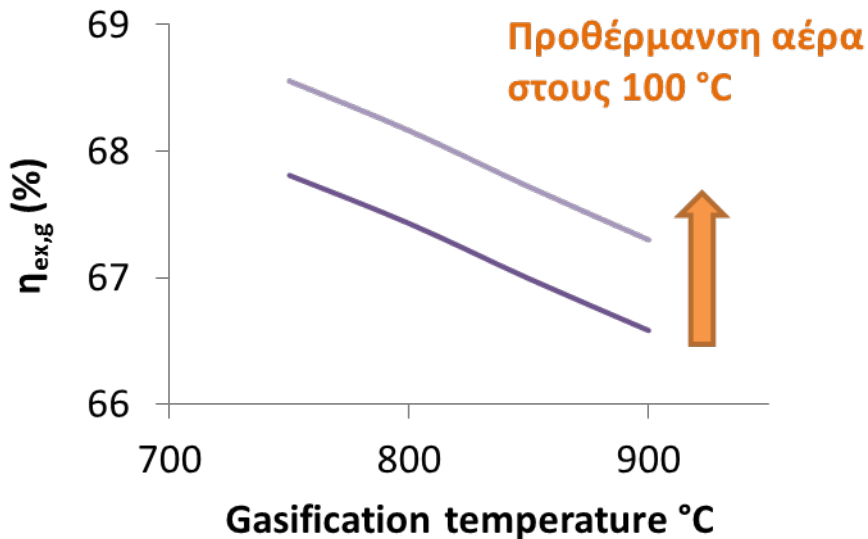
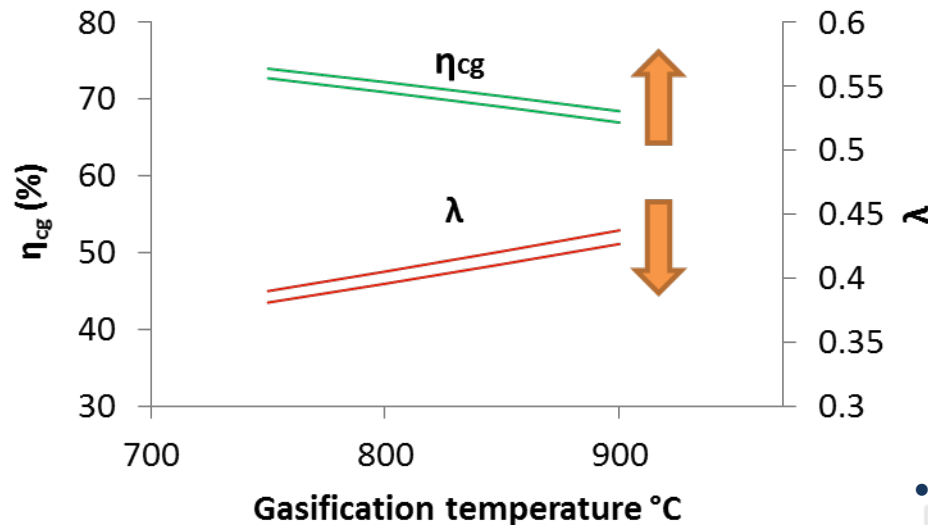
- Αυτοθερμική λειτουργία επιτυγχάνεται για $\lambda > 0.38$ υποθέτοντας θερμικές απώλειες 3 %.

- 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

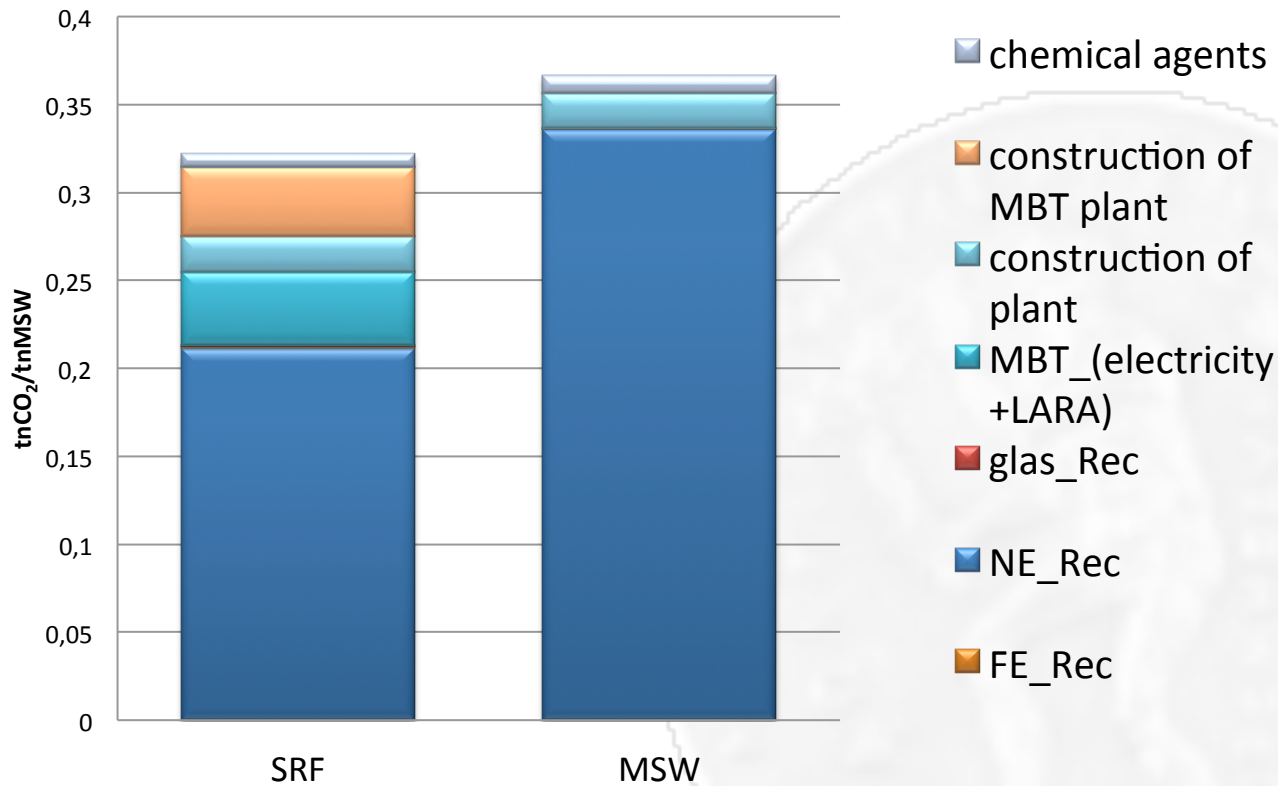
- Ο "ψυχρός" βαθμός απόδοσης μειώνεται καθώς αυξάνεται το N_2 στο αέριο

- Ο εξεργειακός βαθμός ομοίως μειώνεται

- Προθέρμανση του αέρα αεριοποίησης ευνοεί τόσο τον ψυχρό όσο και τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει το λ



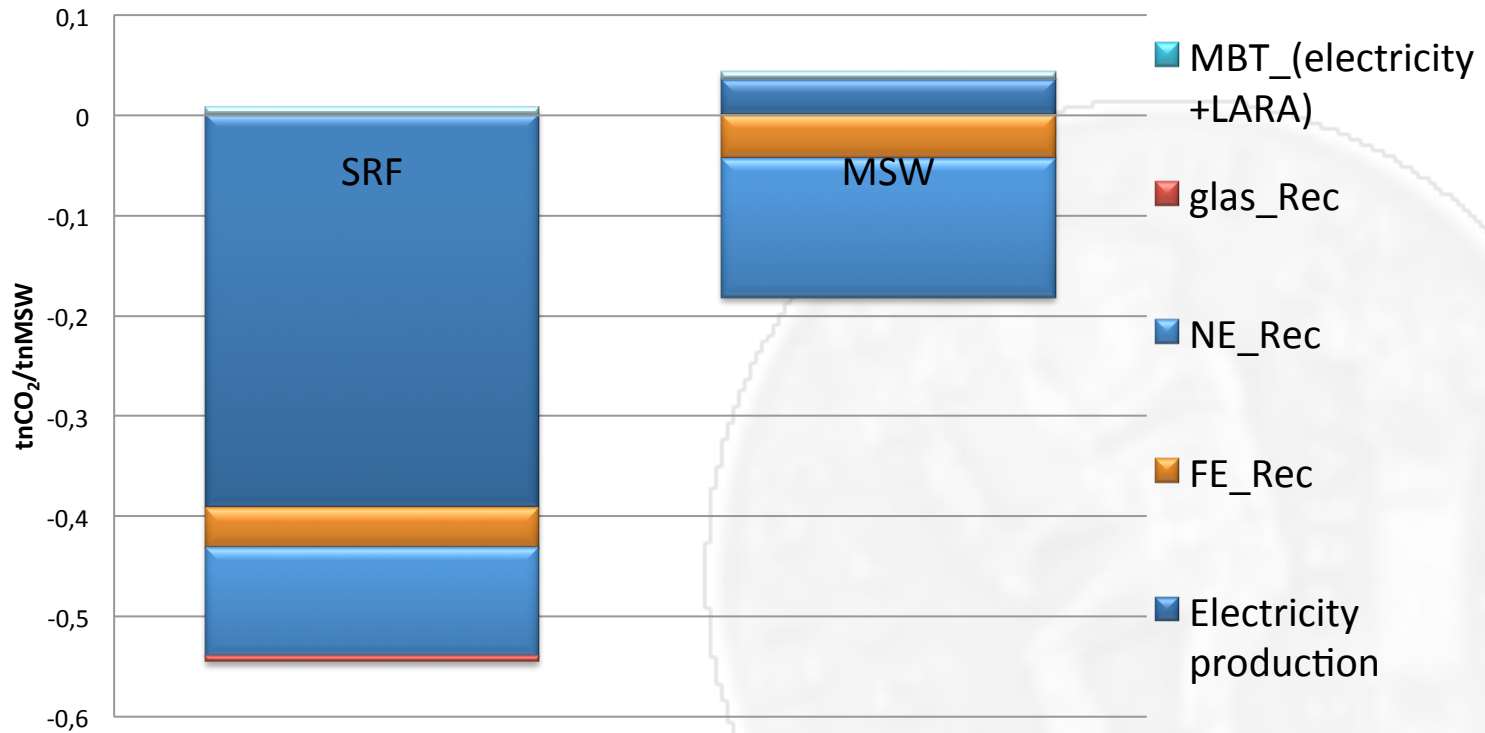
Εκπομπές (tn CO₂/tn ΑΣΑ)



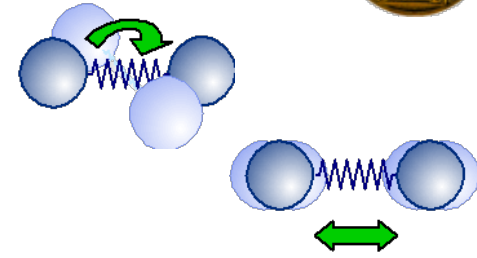
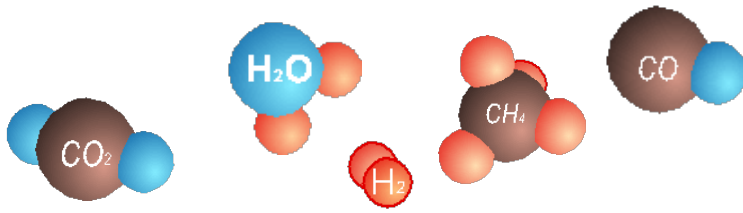
Εκπομπές σε δύο περιπτώσεις
a)SRF: Stabilat® b) ΑΣΑ: απευθείας καύση



Αποφυγή + Εξοικονόμηση (tn CO₂/tn ΑΣΑ)



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



Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!

