



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων

Ενότητα 7: Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων

Κορνάρος Μιχαήλ
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Διεργασίες θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ

- Καύση (incineration): θερμική οξείδωση παρουσία περίσσειας οξυγόνου
- Πυρόλυση (pyrolysis): θερμική επεξεργασία των αστικών στερεών απορριμμάτων σε απουσία αέρα
- Αεριοποίηση (gasification): συναφής διεργασία με την πυρόλυση, όπου πραγματοποιείται προσθήκη αερίων (οξυγόνο, ατμός ή υδρογόνο) με σκοπό την ενίσχυση του σχηματισμού αερίων προϊόντων και/ ή την απελευθέρωση θερμότητας μέσα στον αντιδραστήρα.



Καύση Απορριμμάτων με Ανάκτηση Ενέργειας (ΚΑΑΕ)

List of largest biomass gasifiers

No.	Company/Plant	Location	Country	Capacity MW _{th}	Capacity PJ/a
1	Lahti Energia	Lahti	Finland	160	4.0
2	Vaskiluodon Voima	Vaasa	Finland	140	3.5
3	Rüdersdorfer Zement	Rüdersdorf	Germany	100	2.5
4	Essent	Geertruidenberg	Netherlands	85	2.1
5	Electrabel (part of GDF Suez)	Ruien	Belgium	50	1.3
6	Södra Cell Värö Pulp Mill	Värö	Sweden	35	0.9
7	Agnion Technologies	Pfaffenhofen	Germany	33	0.8
8	Corenso United	Varkaus	Finland	32	0.8
9	Skive Fjernvarme	Skive	Denmark	32	0.8
10	Babcock & Wilcox Vølund	Kani-city, Gifu prefecture	Japan	12	0.3
11	NSE Biofuels	Varkaus	Finland	12	0.3
12	Ortner Anlagenbau	Oberwart	Austria	9	0.0
13	FICFB Güssing	Güssing	Austria	8	0.2
14	Babcock & Wilcox Vølund	Yamagata	Japan	8	0.2
15	Chalmers Technical University	Göteborg	Sweden	4	0.1

- Η καύση μπορεί να μειώσει τον όγκο των απορριμμάτων κατά 85-95%, παράγοντας παράλληλα ενέργεια.
- Έχει χαμηλές απαιτήσεις σε χώρο.

Βασικό πρόβλημα: ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλεί

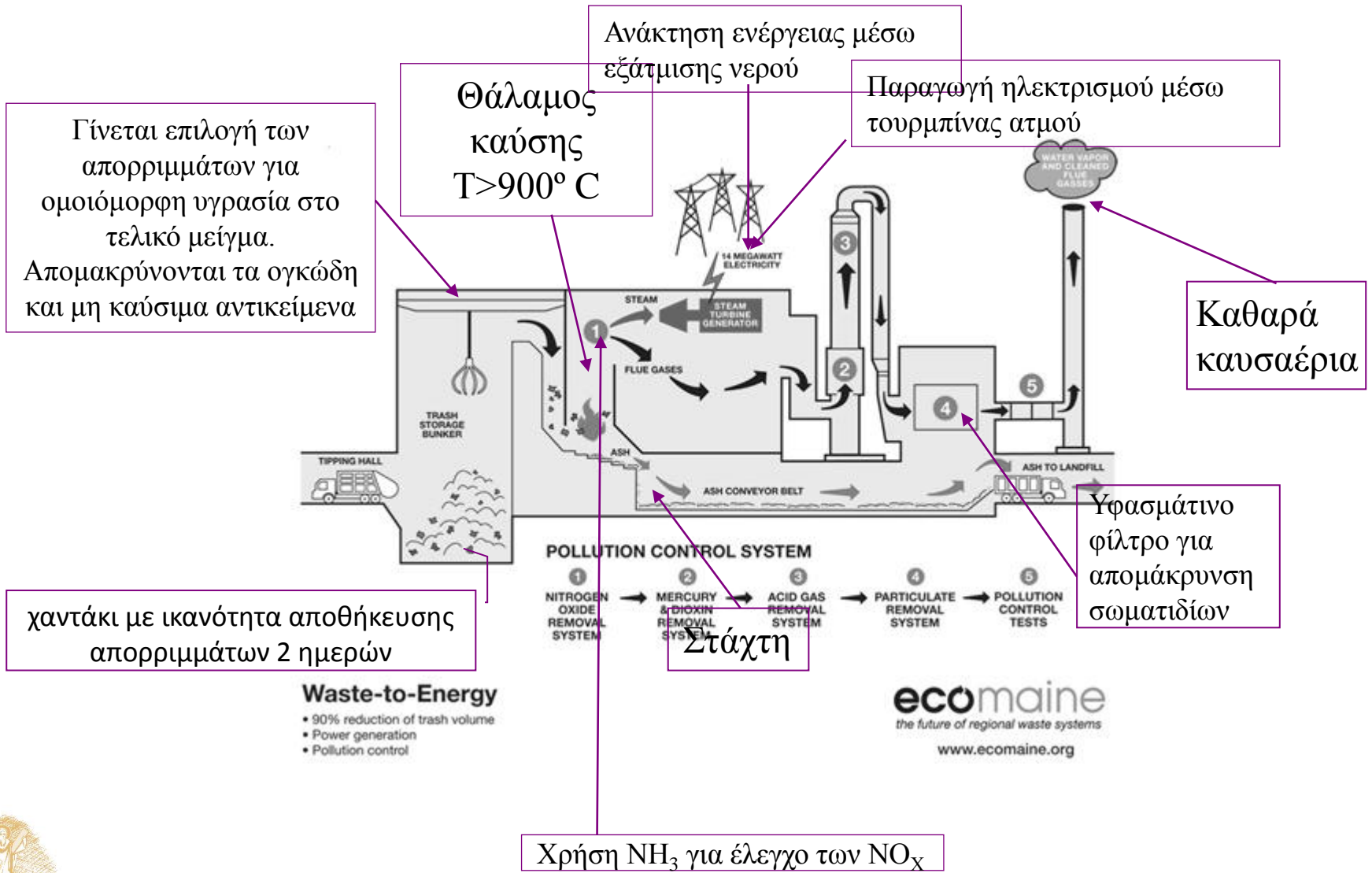


Καύση Απορριμμάτων με Ανάκτηση Ενέργειας (ΚΑΑΕ)

- Σημαντικοί παράγοντες για την καύση: η σύσταση των αστικών στερεών απορριμμάτων και ιδιαίτερα η θερμογόνο δύναμή τους.
- Κυριότερη πηγή θερμογόνου δύναμης: κυτταρίνη (π.χ. Στο χαρτί).
- Συνήθης τιμή θερμογόνου δύναμης (άμεση συνάρτηση της υγρασίας των απορριμμάτων): $\sim 2500 \text{ Kcal/ Kg}$ απορριμμάτων.
- Στην Ελλάδα, τυπική τιμή θερμογόνου δύναμης (λόγω αυξημένης υγρασίας των απορριμμάτων) : $\sim 1750 \text{ Kcal/Kg}$



Τυπική μονάδα καύσης



Απορρίμματα: C, O, N και S

- **Καυσαέρια**
 - CO₂, H₂O, N₂ και SO₂
 - Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία
 - Μεγάλο κόστος ελέγχου αέριων εκπομπών
- **Υγρά από**
 - τις εγκαταστάσεις απομάκρυνσης στάχτης
 - την απορροή υγρών απορροφητικών στηλών
 - τις αντλίες
 - καθαρισμούς και νοικοκύρεμα
 - συστήματα επεξεργασίας για την παραγωγή νερών βραστήρα υψηλής ποιότητας
 - πύργο ψύξεως
- **Στερεά υπόλοιπα**
 - καθιζάνουσα τέφρα
 - ιπτάμενη τέφρα
 - προϊόντα διήθησης



Καύσιμο από Απορρίμματα (Refuse Derived Fuel) (RDF)

- RDF: στερεό απόβλητο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε λέβητες για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας.
 - Αναμιγνύεται και καίγεται επίσης μαζί με άνθρακα.
- Παράγονται δύο είδη καύσιμης ύλης από απορρίμματα:
 - αλεσμένη μορφή (έχει υποστεί ελαφρά προεπεξεργασία όπου απαλλάσσεται από τυχόν μέταλλα και γυαλιά.
 - ποιοτικά αναβαθμισμένη μορφή υπό μορφή σφαιριδίων (αποτελείται αποκλειστικά από χαρτί και πλαστικό)



Πλεονεκτήματα χρήσης RDF

- Εύκολη μεταφορά και αποθήκευση της καύσιμης ύλης.
- Δυνατότητα καύσης του προϊόντος σε συμβατικούς καυστήρες στερεών καυσίμων, μόνο του ή σε συνδυασμό με άνθρακα.
- Συνδυασμός της παραγωγής του με τη μέθοδο της μηχανικής διαλογής.
- Αρκετά σταθερή ποιότητα καυσίμου.
- Καλή θερμική απόδοση.
- Μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση



Μειονεκτήματα χρήσης RDF

- Το μεγαλύτερο εμπόδιο στην ευρεία εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι η αγορά του RDF.
- Η αγορά του RDF αποτελείται από:
 - θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
 - βιομηχανίες τσιμέντου και χαρτιού και
 - μεταλλουργίες.



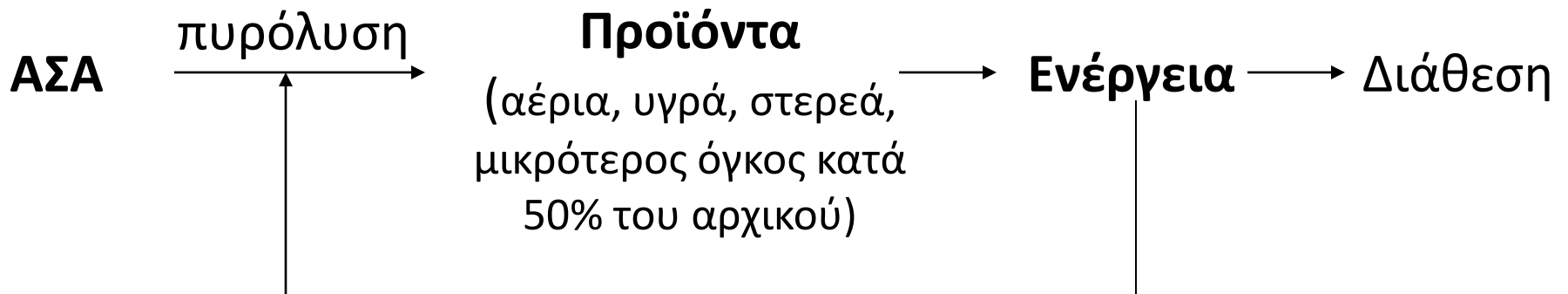
Σύγκριση του RDF με άνθρακα με βάση 18000 MJ ωφέλιμης παραγόμενης θερμικής ενέργειας

Χαρακτηριστικό	RDF	Άνθρακας
• Καύσιμο που καταναλώθηκε (Kg)	1266	781
• Καύσιμο που καταναλώθηκε (m ³)	2.11	1.03
• Τέφρα (Kg)	161	50
• Πτητικά (Kg)	905	240
• Ανθρακας που κάηκε (Kg)	101	230
• Απαιτούμενος στοιχ. αέρας (Kg)	6949	8600
• Διοξείδιο του θείου (Kg)	4.1	21
• Υδροχλώριο (Kg)	10.4	2.2



Πυρόλυση

- Πυρόλυση είναι η θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων και ειδικότερα η καταστρεπτική αποστακτική διαδικασία που διενεργείται απουσία οξυγόνου και σε θερμοκρασίες 250 - 1000° C ανάλογα με τα επιθυμητά προϊόντα



Προϊόντα πυρόλυσης

- Αέριο ρεύμα: H_2 , CH_4 , CO , CO_2 και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ.
- Υγρό ρεύμα: πίσσα ή λάδι το οποίο περιέχει οξικό οξύ, ακετόνη, μεθανόλη και περίπλοκους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο του συμβατικού λαδιού Νο 6 με περαιτέρω επεξεργασία.
- Στερεό υπόλειμμα (char): σχεδόν καθαρό άνθρακας όλα τα αδρανή υλικά που περιείχαν αρχικά τα ΑΣΑ.



Ισοζύγια μάζας για την πυρόλυση

Θερμοκρασία (°C)	Μάζα ΑΣΑ (tn)	Αέρια (tn)	Πίσσα & πυρολυτικά έλαια (tn)	Char (tn)
481.7	1000	123.30	610.80	247.10
648.2	1000	186.40	591.80	218.00
814.7	1000	236.90	596.70	172.40
925.7	1000	243.60	587.00	176.70



Σύσταση αερίων πυρόλυσης σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας

Αέριο	Ποσοστό κατ' όγκο			
	481.7° C	648.2° C	814.7° C	925.7° C
H ₂	5.56	16.58	28.55	32.48
CH ₄	12.43	15.91	13.73	10.45
CO	33.50	30.49	34.12	35.25
CO ₂	44.77	31.78	20.59	18.31
C ₂ H ₄	0.45	2.18	2.24	2.43
C ₂ H ₆	3.03	3.06	0.77	1.07



Αεριοποίηση

- Ως αεριοποίηση θεωρείται η διεργασία της μερικής καύσης κατά την οποία τα ΑΣΑ καίγονται με ποσότητες αέρα μικρότερες από τις στοιχειομετρικά απαιτούμενες.
- Η αεριοποίηση είναι μια αποδοτική μέθοδος η οποία στοχεύει στην μείωση του όγκου των ΑΣΑ με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας.
- Μέσω της μερικής καύσης των ΑΣΑ παράγεται καύσιμο αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μερικούς κορεσμένους υδρογονάνθρακες, κυρίως μεθάνιο.
- Το αέριο αυτό μπορεί στη συνέχεια να καεί σε μηχανές εσωτερικής καύσεως, σε αεροστρόβιλους, ή σε λέβητες σε συνθήκες περίσσειας αέρα.



Αεριοποίηση

- Κατά τη διεργασία της αεριοποίησης λαμβάνουν χώρα πέντε βασικές αντιδράσεις:



- Η θερμότητα που απαιτείται για να συντηρήσει αυτοδύναμα τη διεργασία προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις.



Αεριοποίηση

- Όταν ένας αντιδραστήρας αεριοποίησης λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση με αέρα σαν οξειδωτικό μέσο, το τελικό προϊόν της διεργασίας είναι ένα αέριο με χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο με τυπική κ.ό. σύσταση:
 - 10% CO₂,
 - 20% CO,
 - 15% H₂,
 - 2% CH₄ και
 - 53% N₂.
- Παράλληλα, παράγονται συμπυκνώσιμα υγρά όμοια με τα πυρολυτικά έλαια καθώς και στερεό ανθρακούχο υπόλειμμα



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0.0**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Αναπληρωτής Καθηγητής, Μιχαήλ Κορνάρος. «Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2144>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.