

Η Ενεργειακή Αξιοποίηση Αποβλήτων στην Κίνα και ο ρόλος της βιομηχανικής συμβίωσης για την επιτυχία των WtE στην Ελλάδα

Δρ. Κωνσταντίνος Στ. Ψωμόπουλος

Καθηγητής Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Δ/ντής του Πανεπιστημιακού Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων και Ενεργειακών Συστημάτων

Μέλος του ΔΣ της ΕΕΔΣΑ – Τομεάρχης Κυκλικής Οικονομίας

Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα: Ανάπτυξη, Περιβαλλοντικές Επιδόσεις και Πολιτικές Επιπτώσεις

Παρουσιάζονται τα στοιχεία για την ανάπτυξη και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του τομέα της ενεργειακή αξιοποίησης αποβλήτων (WTE) στην Κίνα από το 2005 έως το 2020.

Χρησιμοποιώντας δεδομένα από 510 μονάδες WTE που καλύπτουν 1.226 γραμμές επεξεργασίας, δεδομένα συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών (CEMS), ανάλυση αποσύνθεσης LMDI και συγκρίσεις μεταξύ WTE και υγειονομικής ταφής, σύμφωνα με την μελέτη των Ma, et al (2024)

Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα: Κλίμακα και Ανάπτυξη του Κλάδου

- ▮ **Παγκόσμια Ηγετική Θέση:** Η δυναμικότητα WTE της Κίνας ξεπερνά πλέον τη συνδυασμένη δυναμικότητα της ΕΕ, της Ιαπωνίας και των ΗΠΑ, καθιστώντας την αδιαμφισβήτητο ηγέτη στον τομέα.
- ▮ **Εκρηκτική Ανάπτυξη (2016–2020):** Μεταξύ 2016 και 2020, τέθηκαν σε λειτουργία 304 νέες μονάδες WTE με συνολική δυναμικότητα 102,5 εκατομμυρίων τόνων (Mt), διπλασιάζοντας την ικανότητα σε μόλις 4 έτη αντικατοπτρίζοντας μια μαζική επιτάχυνση στις επενδύσεις υποδομών.
- ▮ **Συνολικό Μέγεθος Στόλου (2020):** Έως το 2020, η Κίνα λειτουργούσε 510 μονάδες WTE με 1.226 συστήματα κλιβάνων/λεβήτων, με συνολική ικανότητα επεξεργασίας 571.629 τόνων ανά ημέρα (t/d).
- ▮ **Μετατόπιση Μεριδίου Αγοράς:** Το μερίδιο της WTE στην επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) αυξήθηκε από μόλις 5% το 2005 σε 62% το 2020 — μια 12πλάσια αύξηση μέσα σε 15 χρόνια.
- ▮ **Επενδύσεις 30 Δισεκατομμυρίων Δολαρίων:** Η Κίνα έχει επενδύσει περίπου 30 δισ. δολάρια στον κλάδο αυτόν τον αιώνα, επιτυγχάνοντας τεράστια μείωση των εκπομπών μεθανίου (CH₄) που διαφορετικά θα προέρχονταν από τους χώρους υγειονομικής ταφής.

Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα: Παραγωγή και Διαχείριση ΑΣΑ

- ▮ **Παραγωγή Αποβλήτων:** Τα συλλεγόμενα αστικά ΑΣΑ αυξήθηκαν από 25 Mt το 1979 σε 235 Mt το 2020 — σχεδόν 10πλάσια αύξηση — λόγω της ταχείας αστικοποίησης και οικονομικής ανάπτυξης.
- ▮ **Τρεις Εποχές Διαχείρισης:** Η διαχείριση εξελίχθηκε από τις ανοιχτές χωματερές (προ-1990), στην κυριαρχία της υγειονομικής ταφής (1990–2005) και στην ταχεία μετάβαση στην WTE (2005–2020).
- ▮ **Παρακμή της Υγειονομικής Ταφής:** Ενώ το 2002 η ταφή αποτελούσε το 89,3% της διάθεσης, το μερίδιό της μειώθηκε απότομα καθώς η δυναμικότητα WTE αυξανόταν με ρυθμό ~26% ετησίως.
- ▮ **Χωρική Συγκέντρωση:** Πάνω από το 62,9% της συνολικής δυναμικότητας WTE βρίσκεται στη Νοτιοανατολική περιοχή. Τέσσερις επαρχίες (Guangdong, Jiangsu, Zhejiang, Shandong) αντιπροσωπεύουν το ~47% της εθνικής δυναμικότητας.
- ▮ **Ευθυγράμμιση με Οικονομικούς Κόμβους:** Οι μονάδες συγκεντρώνονται σε ζώνες ραγδαίας ανάπτυξης: Περιοχή Ποταμού Γιανγκτσέ, Δέλτα του Ποταμού των Μαργαριταριών και Περιοχή Πεκίνου-Τιαντζίν-Χεμπέι.

Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα: Τεχνολογία και Υποδομές

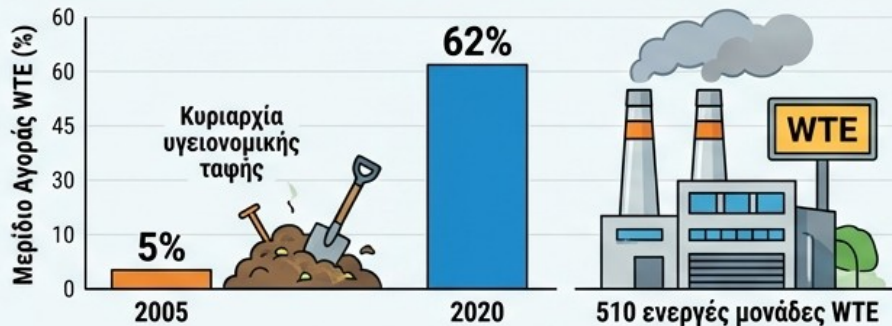
- ▮ **Κυρίαρχη Τεχνολογία (Κινητή Εσχάρα):** Η τεχνολογία κινητής εσχάρας (MG) αποτελεί περίπου το 89% της συνολικής δυναμικότητας WTE της Κίνας το 2020.
- ▮ **Απόκλιση MG έναντι CFB:** Μετά το 2010, η δυναμικότητα MG εκτοξεύθηκε, ενώ οι κλίβανοι κυκλοφορούσας ρευστοστερεάς κλίνης (CFB) παρέμειναν στάσιμοι, κυρίως λόγω της απαγόρευσης βοηθητικού άνθρακα στους CFB.
- ▮ **Επικινδυνότητα Ιπτάμενης Τέφρας CFB:** Οι κλίβανοι CFB παράγουν περισσότερη ιπτάμενη τέφρα (επικίνδυνο απόβλητο με βαρέα μέταλλα και διοξίνες), γεγονός που ευνόησε την επικράτηση της τεχνολογίας MG.
- ▮ **Συστήματα Ελέγχου Αέριας Ρύπανσης (APCS):** Σχεδόν όλες οι μονάδες διαθέτουν σύγχρονα συστήματα (SNCR + Ημίξηρο Πλυντήριο + Έγχυση Ενεργού Άνθρακα + Σακόφιλτρα) για συμμόρφωση με τα εθνικά πρότυπα.
- ▮ **Ενοποίηση της Αγοράς:** Οι 15 κορυφαίες εταιρείες WTE ελέγχουν το 61,6% της εθνικής δυναμικότητας, με την EG Everbright να είναι ο μεγαλύτερος φορέας λειτουργίας.

Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα:

Η Μετάβαση στη Διαχείριση Αποβλήτων στην Κίνα (2005–2020)

1. Η Μετάβαση στη Διαχείριση Αποβλήτων (2005–2020)

Αυτό το διάγραμμα δείχνει τη **δραματική αύξηση του μεριδίου αγοράς** της τεχνολογίας WTE στην επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων

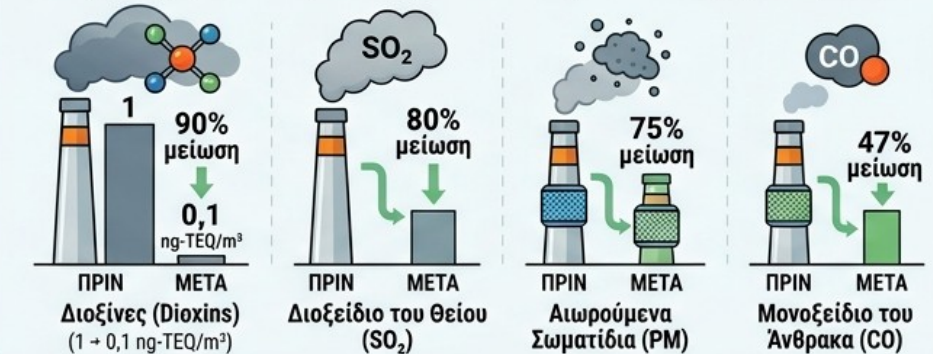


2. Τεχνολογική Εξέλιξη: Κινητή Εσχάρα (MG) έναντι CFB



3. Περιβαλλοντική Βελτίωση: Μείωση Ορίων Εκπομπών

Αυστηροποίηση εθνικών προτύπων (GB18485-2014) και αντίστοιχη μείωση των ρύπων



4. WTE έναντι Υγειονομικής Ταφής: Κλιματικό Όφελος (2020)



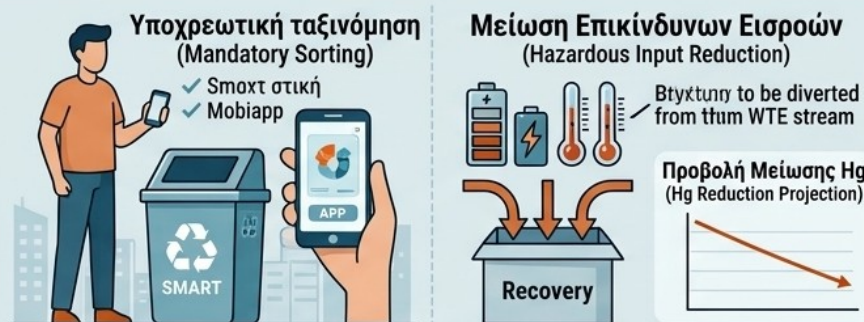
Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα:

Κατηγορία	Αντίκτυπος Μετάβασης σε WTE (2020)
Μείωση Αποτυπώματος Άνθρακα	137 Εκατομμύρια τόνοι ισοδυνάμου \$CO_2\$
Ανάκτηση Ενέργειας	57 Δισεκατομμύρια kWh παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας
Υποκατάσταση Άνθρακα	53 Εκατομμύρια τόνοι άνθρακα που αποφεύχθηκαν
Αποφυγή Εκπομπών Ταφής	150 Εκατομμύρια τόνοι GHG που θα παρήγαγε η ταφή

Ενεργειακή αξιοποίηση ΑΣΑ στην Κίνα: Επιπτώσεις Πολιτικής και Μελλοντικές Προοπτικές

5. WTE στην Κίνα: Δράσεις για Μηδενικά Απόβλητα

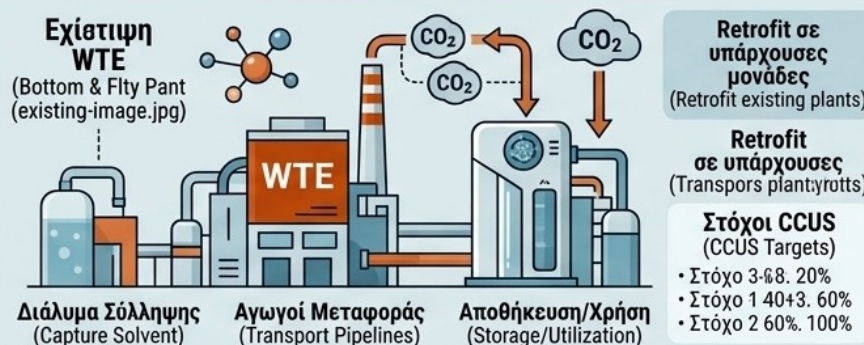
A. Διαλογή & Μείωση στην Πηγή (Source Separation & Reduction)



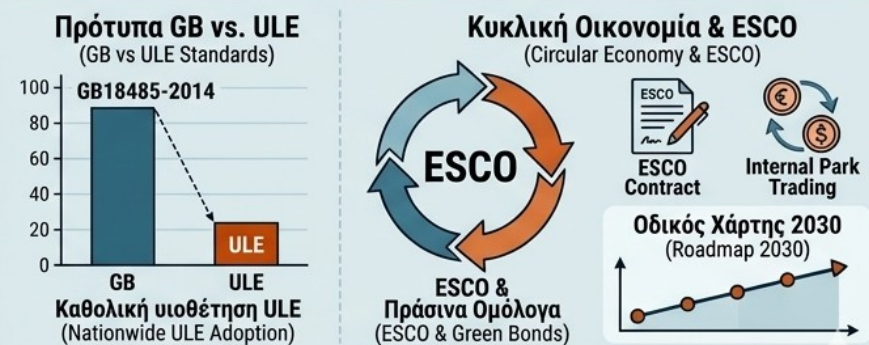
B. Επαναχρησιμοποίηση Τέφρας (Ash Reuse Pathways)



C. Σύλληψη Άνθρακα (CCUS Retrofits)



D. Μελλοντικά Πρότυπα & Χρηματοδότηση (Future Standards & Finance)



Βιομηχανική Συμβίωση ως παράγοντας ενίσχυσης της Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ

Ορισμός

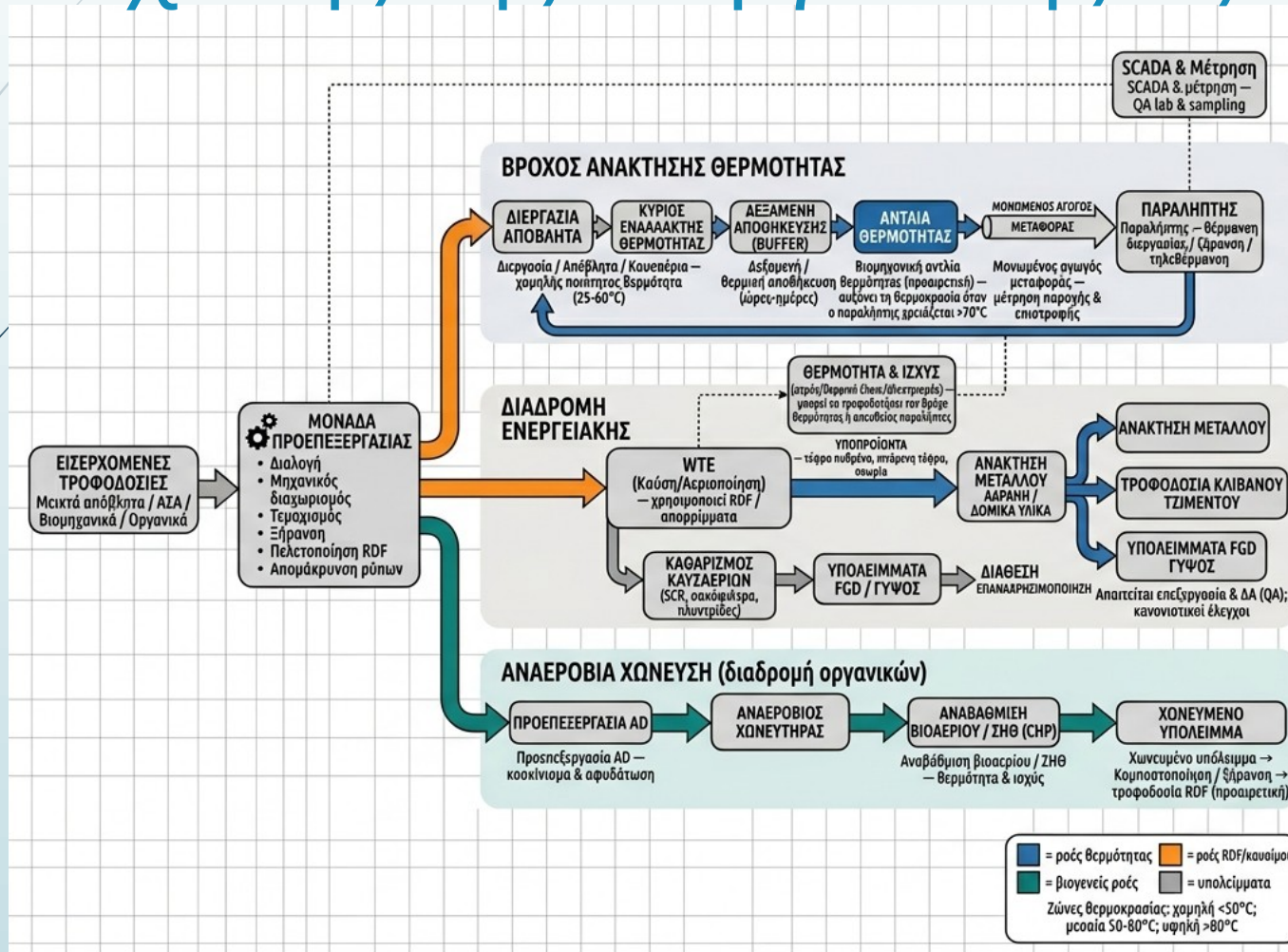
"Η βιομηχανική συμβίωση συνδέει εταιρείες έτσι ώστε τα απόβλητα ή τα υποπροϊόντα της μίας να γίνονται πρώτη ύλη ή πηγή ενέργειας για την άλλη."

Μετασχηματίζει τα γραμμικά συστήματα σε κυκλικά δίκτυα πόρων.

Η Αλυσίδα Αξίας

- ✓ **Πάροχος:** Παρέχει απορριπτόμενη θερμότητα ή βιοαέριο ή παραπροϊόντα.
- ✓ **Τεχν. Ανάκτησης:** Μετατρέπει/μεταφέρει την ενέργεια (Εναλλάκτες, Αντλίες
- ✓ **Αποδέκτης:** Χρησιμοποιεί την ενέργεια για παραγωγή ή τηλεθέρμανση, ή αξιοποιεί το παραπροϊόν.

Βιομηχανική Συμβίωση ως παράγοντας ενίσχυσης της Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ



ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΥΜΒΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΟΣΤΟΥΣ

kWh ανακτώνται / έτος

Το καύσιμο WTE + η ανακτηθείσα θερμότητα μειώνουν τις αγορές ορυκτών καυσίμων & τα λειτουργικά κόστη.

ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

tCO₂e αποφεύγονται / έτος

Η ανακτηθείσα θερμότητα και το βιοαέριο υποκαθιστούν ορυκτό καύσιμο, μειώνοντας το CO₂.

ΚΥΚΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΡΩΝ

τόνοι υπολειμμάτων επαναχρησιμοποιούνται / έτος

Η τέφρα και τα υποπροϊόντα κατευθύνονται σε ανάκτηση μετάλλων, τροφοδοσία τοιμέντου ή αδρανή υλικά μετά από επεξεργασία.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

€ αποφευχθέν καύσιμο / διάθεση

Διαφοροποιεί την προμήθεια καυσίμου (RDF/βιοαέριο) και δημιουργεί νέες ροές εσόδων.

ΘΕΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΤΟΠΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

θέσεις εργασίας υποστηρίζονται

Η προσεξεργασία και η αξιοποίηση της τέφρας δημιουργούν τοπική απασχόληση.

Πηγές: GOV.UK, SYMSITES, Circular Cities & Regions 15/05/2026
 (χρησιμοποιήστε τις σημειώσεις διαφανειών για πλήρεις βιβλιογραφικές αναφορές).

Βιομηχανική Συμβίωση ως παράγοντας ενίσχυσης της Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ

Συνιστώσα	Στρατηγικές & Παράγοντες	Οικονομικός Αντίκτυπος
Έσοδα	Πώληση θερμότητας, ανάκτηση υποπροϊόντων, πιστώσεις άνθρακα.	Θετικές Ταμειακές Ροές
Αποφυγή Κόστους	Μειωμένη αγορά καυσίμων και χαμηλότερα τέλη διάθεσης αποβλήτων.	Μείωση OPEX
Μοντέλα Λειτουργίας	Εταιρείες Ενεργειακών Υπηρεσιών (ESCOs), ΣΔΙΤ ή εσωτερική εμπορία.	Μείωση Ρίσκου CAPEX
Επιτυχία	Θερμοκρασιακή βαθμίδα, εγγύτητα (< 20km) και συνέχεια ροής.	Βελτιστοποίηση ROI

Βιομηχανική Συμβίωση ως παράγοντας ενίσχυσης της Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ

35%

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ
ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τυπικό σημείο αναφοράς για
αποδοτικά συμπλέγματα
βιομηχανικής συμβίωσης.

CO₂e Αποφυγή (t/έτος)

Υψηλός Αντίκτυπος

Εξοικονόμηση Διάθεσης

Σημαντική

Ανάκτηση Ενέργειας (kWh)

Κύριος Δείκτης

**Η μέτρηση περιλαμβάνει δειγματοληψία εισροών, θερμοδομετρικές δοκιμές και SCADA μέτρηση ροής.*

Βιομηχανική Συμβίωση ως παράγοντας ενίσχυσης της Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ

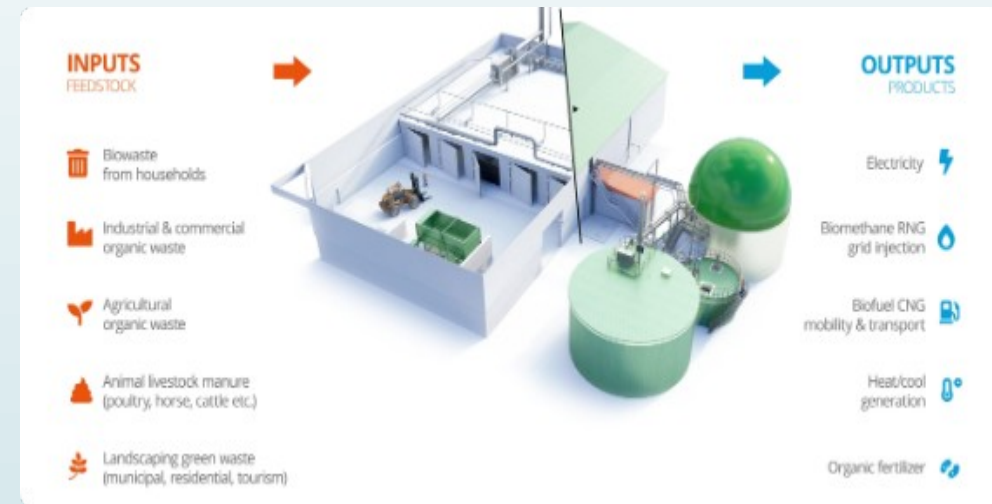
Διεθνή Παραδείγματα Επιτυχίας



Kalundborg, Δανία

Αντλία θερμότητας λυμάτων που παρέχει τηλεθέρμανση. Παραγωγή ~80.000 MWh/έτος. Υπογραμμίζει τη σημασία της διατομεακής συνεργασίας.

Δρ. Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΠαΔΑ



Πιλότοι SYMSITES

Βιομηχανικοί-αστικοί πιλότοι εστιασμένοι στην αξιοποίηση υποπροϊόντων και τοπικούς ενεργειακούς βρόχους με χρήση θερμικής αποθήκευσης.

15/05/2026

15/05/2026

Βιομηχανική Συμβίωση ως παράγοντας ενίσχυσης της Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ

Εμπόδια & Αντιμετώπιση

Κύρια Εμπόδια

- ✓ Κανονιστική και αδειοδοτική πολυπλοκότητα.
- ✓ Υψηλές απαιτήσεις αρχικού CAPEX.
- ✓ Συμβατικοί κίνδυνοι μακροχρόνιας απορρόφησης.
- ✓ Τεχνική αναντιστοιχία (Διαλείπουσα ροή).

Στρατηγικές Αντιμετώπισης

- ✓ Έγκαιρη εμπλοκή ρυθμιστικών αρχών.
- ✓ Μοντέλα χρηματοδότησης μέσω τρίτων (ESCO).
- ✓ Μνημόνια συνεργασίας (MOUs) για μείωση ρίσκου.
- ✓ Χρήση θερμικών ταμιευτήρων και modular αντλιών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ▮ **Μέρος Κυκλικής Οικονομίας:** Η μείωση της έντασης παραγωγής αποβλήτων μέσω ανακύκλωσης και προγραμμάτων «πόλεων μηδενικών αποβλήτων» είναι απαραίτητη για τον μακροπρόθεσμο έλεγχο των εκπομπών.
- ▮ **Πολιτική Διαλογής Αποβλήτων:** Το υποχρεωτικό σύστημα διαλογής στην πηγή και αξιοποίησης επιλεγμένων/μετά από επεξεργασία ρευμάτων, μειώνει τις εισροές επικίνδυνων υλικών (π.χ. υδράργυρος) στις μονάδες WTE.
- ▮ **Πλεονέκτημα Μονάδων Μεγάλης Κλίμακας:** Μονάδες με δυναμικότητα ≥ 2.000 t/d έχουν 11%–66% χαμηλότερους συντελεστές εκπομπών σε σύγκριση με μικρότερες μονάδες, επιβεβαιώνοντας τις οικονομίες κλίμακας στον έλεγχο της ρύπανσης.
- ▮ **Ευθυγράμμιση με Οικονομικούς Κόμβους:** Οι μονάδες συγκεντρώνονται σε ζώνες ραγδαίας ανάπτυξης: Περιοχή Ποταμού Γιανγκτσέ, Δέλτα του Ποταμού των Μαργαριταριών και Περιοχή Πεκίνου-Τιαντζίν-Χεμπέι.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ▮ **Η Βιομηχανική Συμβίωση ενισχύει την αποδοτικότητα των μονάδων:** Μέσα από συμβιωτικά συστήματα και προσεγγίσεις αξιοποιούνται πολλαπλά τόσο οι ενεργειακές ροές (ηλεκτρισμός/θερμότητα/ βιοαέριο) όσο και τα λοιπά παραπροϊόντα (ανάκτηση μετάλλων από τέφρες, ενσωμάτωση τέφρας σε υλικά κατασκευών, αξιοποίηση κύκλου νερού, κ.ά.).
- ▮ **Η Βιομηχανική Συμβίωση μειώνει το OPEX:** Μειωμένη αγορά καυσίμων και χαμηλότερα τέλη διάθεσης αποβλήτων.
- ▮ **Η Βιομηχανική Συμβίωση μειώνει το ρίσκο στο CAPEX:** Εταιρείες Ενεργειακών Υπηρεσιών (ESCOs), ΣΔΙΤ ή εσωτερική εμπορία δημιουργούν συνέργειες για τα δίκτυα και καλύτερες χρηματοοικονομικές ροές στην κατασκευή, ενώ αξιοποιούνται και υφιστάμενες υποδομές καλύτερα.
- ▮ **Η Βιομηχανική Συμβίωση αυξάνει τις ταμειακές ροές στη λειτουργία:** Πώληση θερμότητας, ανάκτηση υποπροϊόντων, πιστώσεις άνθρακα, δημιουργούν σημαντικές ταμειακές ροές για τη μονάδα, αλλά και μειωμένα κόστη στους συμβιωτικούς οργανισμούς.
- ▮ **Η Βιομηχανική Συμβίωση κάνει Βελτιστοποίηση του ROI :** Κατάλληλη Θερμοκρασιακή βαθμίδα, εγγύτητα (< 20km) και συνέχεια ροής στην ενέργεια και τα παραπροϊόντα, βελτιστοποιούν το ROI της επένδυσης.

Η Ενεργειακή Αξιοποίηση Αποβλήτων στην Κίνα και ο ρόλος της βιομηχανικής συμβίωσης για την επιτυχία των WtE στην Ελλάδα

Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος

Καθηγητής Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Δ/ντής του Πανεπιστημιακού Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων και Ενεργειακών Συστημάτων

Μέλος του ΔΣ της ΕΕΔΣΑ – Τομεάρχης Κυκλικής Οικονομίας

Στοιχεία επικοινωνίας

Email: cpsomop@uniwa.gr, Web: https://eee.uniwa.gr/el/index.php?option=com_content&view=article&id=132