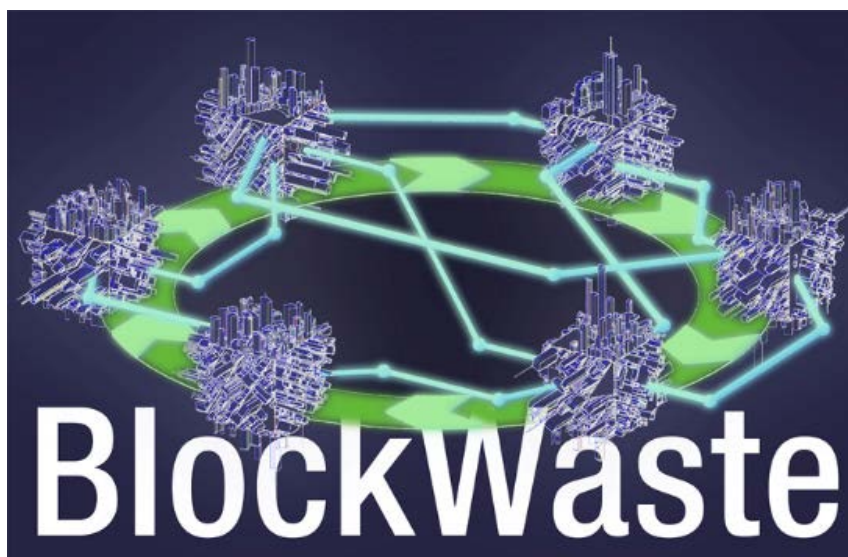


## Ο1.Α3 Εγχειρίδια στρατηγικών κυκλικής οικονομίας που εφαρμόζονται στη διαχείριση αστικών αποβλήτων με τη χρήση τεχνολογίας Blockchain

### *Εγχειρίδιο 1: Διαχείριση αποβλήτων και Κυκλική Οικονομία*



#### ΑΠΟΠΟΙΗΣΗ ΕΥΘΥΝΗΣ

Το έργο αυτό χρηματοδοτήθηκε με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η παρούσα δημοσίευση αντικατοπτρίζει τις απόψεις μόνο των συγγραφέων και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

## Ενημερωτικό δελτίο αποτελεσμάτων:

Πρόγραμμα χρηματοδότησης	Πρόγραμμα Erasmus+ της Ευρωπαϊκής Ένωσης
Χρηματοδότηση	ΕΛ01 Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών Ελλάδος (ΙΚΥ)
Πλήρης τίτλος του έργου	Καινοτόμος εκπαίδευση βασισμένη στην τεχνολογία Blockchain που εφαρμόζεται στη διαχείριση αποβλήτων — BlockWaste
Πεδίο	ΚΑ2 — Συνεργασία για την καινοτομία και την ανταλλαγή ορθών πρακτικών ΚΑ203 — Στρατηγικές συμπράξεις για την τριτοβάθμια εκπαίδευση
Αριθμός έργου	2020-1-ΕΛ01-ΚΑ203-079154
Διάρκεια έργου	24 μήνες
Ημερομηνία έναρξης του έργου	01-10-2020
Ημερομηνία λήξης έργου:	30-09-2022

## Λεπτομέρειες παραγωγής:

**Τίτλος Πνευματικού Προϊόντος:** O1: Εκπαιδευτικό υλικό για διεπιστημονικό Blockchain-ΑΣΑ

**Τίτλος Δραστηριότητας:** O1/A3. Εγχειρίδια στρατηγικών κυκλικής οικονομίας που εφαρμόζονται στη διαχείριση δημοτικών αποβλήτων με τη χρήση τεχνολογίας Blockchain

**Επικεφαλής Πνευματικού Προϊόντος:** ΕΜΠ

**Επικεφαλής Δραστηριότητας:** Saxion UAS

**Συγγραφέας(εις):** Μαρία Μενεγάκη [menegaki@metal.ntua.gr](mailto:menegaki@metal.ntua.gr), Δημήτρης Δαμίγος, [damigos@metal.ntua.gr](mailto:damigos@metal.ntua.gr), Αθανάσιος Μαυρίκος, [mavrikos@metal.ntua.gr](mailto:mavrikos@metal.ntua.gr), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ελλάδα, Viktoria Voronova, Tallinn University of Technology, [viktoria.voronova@taltech.ee](mailto:viktoria.voronova@taltech.ee), Εσθονία, Juana María Torrecilla, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, [juanamari-toabril@ctmarmol.es](mailto:juanamari-toabril@ctmarmol.es), Ισπανία

**Αναθέωση από:** Rainer Lenz, [rlenz@fh-bielefeld.de](mailto:rlenz@fh-bielefeld.de), Bielefeld UAS, Γερμανία, David Caparros Perez, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, [david.caparros@ctmarmol.es](mailto:david.caparros@ctmarmol.es), Ισπανία

## Έλεγχος εγγράφων

Έκδοση εγγράφου	Η έκδοση	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ
V0.1	31/03/2022	Τελική έκδοση — 29/04/2022

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Συνοπτική παρουσίαση .....	iv
1 Εισαγωγή .....	1
1.1 Σύντομη περιγραφή του έργου .....	1
1.2 Στόχοι και μεθοδολογική προσέγγιση .....	2
2 Αστικά στερεά απόβλητα .....	2
2.1 Ορισμός .....	2
2.2 Ταξινόμηση.....	3
2.3 Χαρακτηριστικά ροής ΑΣΑ.....	4
2.3.1 Μέθοδοι χαρακτηρισμού ΑΣΑ.....	4
2.3.2 Υλικά στα ΑΣΑ ανά βάρος.....	5
2.3.3 Μεταβλητότητα της παραγωγής ΑΣΑ .....	8
2.4 ΑΣΑ και το περιβάλλον .....	11
2.4.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΑΣΑ .....	13
2.4.2 Στραγγίσματα και βιοαέριο.....	15
3 Υφιστάμενες στρατηγικές διαχείρισης ΑΣΑ .....	18
3.1 Εισαγωγή στη διαχείριση ΑΣΑ.....	18
3.2 Ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων .....	20
3.3 Κοινές αρχές στη διαχείριση των ΑΣΑ.....	21
3.4 Επεξεργασία ΑΣΑ.....	22
3.4.1 Ταφή .....	22
3.4.2 Αποτέφρωση και ανάκτηση ενέργειας .....	23
3.4.3 Κομποστοποίηση και βιομεθανοποίηση .....	24
3.4.4 Ανακύκλωση .....	26
4 Κυκλική οικονομία.....	27
4.1 Το γραμμικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης .....	27
4.2 Κυκλική οικονομία: έννοια, προέλευση και αρχές .....	29
4.3 Προκλήσεις και οφέλη των κυκλικών συστημάτων .....	34
4.3.1 Προσκλήσεις.....	34
4.3.2 Τα οφέλη .....	34
4.3.3 Οριζόντιες στρατηγικές .....	36
4.3.4 Άμεσες στρατηγικές .....	37
5 Κυκλική οικονομία και διαχείριση ΑΣΑ.....	41
5.1 Διαχείριση ΑΣΑ στην κυκλική οικονομία.....	41
5.2 Πολιτικές και εργαλεία στη διαχείριση των ΑΣΑ προς την κατεύθυνση της ΚΟ ....	42

5.3	Ψηφιακές τεχνολογίες για κυκλική διαχείριση ΑΣΑ .....	44
6	Παραπομπές και πηγές για περαιτέρω ανάγνωση και ενημέρωση .....	47
6.1	Αναφορές .....	47
6.2	Επιπλέον πηγές .....	50

## Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1:	Παραγωγή αστικών αποβλήτων ΕΕ-27, 2005-2020 (Πηγή: Eurostat, 2021).....	5
Εικόνα 2:	Παγκόσμια σύνθεση αποβλήτων (Πηγή: Kaza et. al., 2018).....	6
Εικόνα 3:	Σύνθεση αποβλήτων ανά επίπεδο εισοδήματος (Πηγή: Kaza et. al., 2018).....	7
Εικόνα 4:	Παραγωγή αποβλήτων από νοικοκυριά στην ΕΕ-27 κατά βάρος (σε τόνους) (Πηγή: Eurostat, 2022 — διαδικασία ίδιας επεξεργασίας).....	7
Εικόνα 5:	Παραγωγή αποβλήτων από νοικοκυριά στην ΕΕ-27 κατά βάρος (σε τόνους) και κατηγορία (Πηγή: Eurostat, 2022 — διαδικασία ίδιας επεξεργασίας).....	8
Εικόνα 6:	Ένα στιγμιότυπο της εξέλιξης των στερεών αποβλήτων κατά τη διάρκεια των βιομηχανικών επαναστάσεων (Πηγή: Manrououlos και Nielsen, 2020).....	11
Εικόνα 7:	Προβλεπόμενη παραγωγή αποβλήτων, ανά περιφέρεια (Πηγή: <a href="https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html">https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html</a> ).....	12
Εικόνα 8:	Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων παγκοσμίως (Πηγή: <a href="https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html">https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html</a> ).....	13
Εικόνα 9:	Η δημοτική μονάδα απόρριψης Dandora στο Ναϊρόμπι, Κένυα (Πηγή: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora_2.jpg">https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora_2.jpg</a> ).....	14
Εικόνα 10:	Τυπική διατομή σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής (Πηγή: <a href="https://www.baltimorecountymd.gov/departments/publicworks/recycling/theresource/today-s-landfill-not-your-grandpa-s-dump">https://www.baltimorecountymd.gov/departments/publicworks/recycling/theresource/today-s-landfill-not-your-grandpa-s-dump</a> ).....	15
Εικόνα 11:	Τυπική σύνθεση στραγγισμάτων από ιρλανδικούς χώρους υγειονομικής ταφής (Πηγή: Kalyuzhnyi et al, 2003).....	16
Εικόνα 12:	Μακροπρόθεσμο μοντέλο της σύνθεσης των αερίων υγειονομικής ταφής. I αερόβια φάση, II όξινη φάση, III ασταθή φάση μεθανίου, IV σταθερή φάση μεθανίου, V μακροπρόθεσμη φάση, VI φάση διείσδυσης αέρα VI, φάση οξειδωσης μεθανίου VII, φάση VIII διοξειδίου του άνθρακα, IX φάση αέρα (Πηγή: Wagner et al, 2007).....	16
Εικόνα 13:	Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αποβλήτων: A Life Cycle Inventory (Adapted from Zbizinski et al., 2006).....	19
Εικόνα 14:	Ποσοστά υγειονομικής ταφής αστικών αποβλήτων στα κράτη μέλη της ΕΕ και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Πηγή: ΕΕΑ, 2021).....	20
Εικόνα 15:	Ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων. (Πηγή: Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα, 2008).....	21

Εικόνα 16: Ένα τυπικό σχέδιο καύσης αστικών στερεών αποβλήτων (Adapted from Worell & Vesilind, 2012).....	23
Εικόνα 17: Διαδικασία αναερόβιας χώνευσης (Graphic by Sara Tanigawa, EESI).....	25
Εικόνα 18: Ποσοστά ανακύκλωσης στην Ευρώπη ανά ροή αποβλήτων (Πηγή: ΕΟΠ, 2022). 26	
Εικόνα 19: Κατανάλωση πρώτων υλών (RMC) (Πηγή: Ευρωπαϊκό Γραφείο Περιβάλλοντος 2012).....	27
Εικόνα 20: Γραμμικό σύστημα οικονομίας (Πηγή: BIMgreen 2019). ....	28
Εικόνα 21: Περιγραφή του γραμμικού οικονομικού μοντέλου (Πηγή: Κέντρο Τεχνολογίας Μαρμάρου και Πέτρας, 2018).....	29
Εικόνα 22: Περιγραφή του κυκλικού οικονομικού μοντέλου (Πηγή: Κέντρο Τεχνολογίας Μαρμάρου και Πέτρας, 2018).....	30
Εικόνα 23: Αποσύνδεση την οποία εξετάζει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Πηγή: Ευρωπαϊκό Γραφείο Περιβάλλοντος, 2015).....	33
Εικόνα 24: Συνοπτική παρουσίαση της μετάβασης στην κυκλική οικονομία (Πηγή: Carrarós-Pérez, D., 2017). ....	36
Εικόνα 25: Ένα απλοποιημένο μοντέλο κυκλικής οικονομίας για τα υλικά και την ενέργεια (Πηγή: ΕΟΠ, 2017).....	41

## Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Μέσα πολιτικής που χρησιμοποιούνται σε ευρωπαϊκό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο για τη διαχείριση των αποβλήτων .....	44
Πίνακας 2: Κύριοι τομείς της ψηφιοποίησης στη διαχείριση των ΑΣΑ .....	45

## Συνοπτική παρουσίαση

Η χρήση του Blockchain για τη διαχείριση των αστικών αποβλήτων προσφέρει πλεονεκτήματα εάν είναι ενσωματωμένη σε ένα ψηφιακό οικοσύστημα που εξυπηρετεί την ευρύτερη κυκλική οικονομία. Καθώς η υπόθεση της ψηφιοποίησης είναι υπόθεση πληροφοριών, παραγωγής και κυκλοφορίας δεδομένων, πρέπει να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της συντήρησης, της πρόσβασης και του ελέγχου όσον αφορά τα αποθετήρια δεδομένων αποβλήτων. Η πραγματική, μέχρι στιγμής κυρίως γραμμική και φυσική οικονομία αποβλήτων (συλλογή ουσιών, ανακύκλωση, αποτέφρωση, διάθεση κ.λπ.) εξελίσσεται προς τη διαχείριση κυκλικών ρευμάτων. Αυτή η τάση μπορεί να υποστηριχθεί ισχυρά από μια εικονική οικονομία αποβλήτων που παράγει, παρέχει και εμπορεύεται πληροφορίες που αντικατοπτρίζουν την κίνηση των ουσιών στην "αλυσίδα" (η "σφαίρα" θα ήταν πιο κατάλληλη) των αποβλήτων. Η διαδικασία αυτή θα εξαρτηθεί, στο μέλλον, από τον τρόπο διαχείρισης και διαμοιρασμού των ροών δεδομένων. Αυτό θα διασφαλιστεί από τους δημοτικούς οργανισμούς διαχείρισης αποβλήτων (ΔΟΔΑ). Αυτοί θα πρέπει να ικανοποιήσουν ένα σύνθετο σύνολο αναγκών:

- Να επιτρέπουν τη δημιουργία αξίας από τις ροές υλικών
- Να επιτρέπουν την πολλαπλή, διαφανή και αξιόπιστη πρόσβαση των ενδιαφερομένων σε ροές υλικών και, συνεπώς, σε δεδομένα πόρων
- Σχεδιασμός των ροών πληροφοριών και δεδομένων σχετικά με τα υλικά των πόρων
- Τόνωση του εμπορίου και των συναλλαγών αξίας που προέρχεται από τους κυκλοφορούντες πόρους

Οι αλυσίδες μπλοκ (Blockchains) μπορούν να αποτελέσουν βασικό εργαλείο που επιτρέπει στις ΔΟΔΑ να επιτελέσουν αυτόν τον ρόλο με διαφανή, αποτελεσματικό και αξιόπιστο τρόπο, καθώς οι αλυσίδες μπλοκ επιτρέπουν την ελεύθερη πρόσβαση, τον έλεγχο της ανταλλαγής δεδομένων, την ακεραιότητα των δεδομένων, τη διαφανή συναλλαγή και την πλήρη παρακολούθηση των ροών των πόρων.

Μπορούν να αποτελέσουν βασικό παράγοντα για να καταστεί η εμπιστοσύνη ο κύριος καταλύτης της κυκλικής διαχείρισης αποβλήτων, γεγονός που καθιστά και πάλι τους ΔΟΔΑ μεσίτη εμπιστοσύνης μιας οικονομίας αποβλήτων.

Οι σημερινές τεχνικές συσκευές στις οποίες βασίζονται τα σημερινά Blockchains είναι έξυπνα συμβόλαια, μάρκες, κλειδιά πρόσβασης και αποκεντρωμένοι κόμβοι δικτύου που καταγράφουν συναλλαγές και ψηφιακά γεγονότα.

Η ταχέως αναδυόμενη χρήση των τεχνολογιών IoT (διαδίκτυο των πραγμάτων) παράγει μεγάλο όγκο δεδομένων που μπορούν, αν αναλυθούν κατάλληλα, να συμβάλουν στη δημιουργία υψηλής αξίας για τους ενδιαφερόμενους φορείς της κυκλικής διαχείρισης αποβλήτων. Καθώς τα δεδομένα αυτά μπορούν να διαμοιραστούν μέσω των Blockchains που τα καθιστούν διαθέσιμα για την επεξεργασία υλικών, τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, το μάρκετινγκ υπηρεσιών, την επικοινωνία με τους πελάτες και άλλους σκοπούς, τα Blockchains μπορούν να λειτουργήσουν ως κόμβοι δεδομένων που τροφοδοτούν ένα πλήθος διαδικασιών IoT που υποστηρίζουν την προμήθεια, την κατασκευή, τη διανομή και την ανάκτηση φυσικών αξιών.

Οι ΔΟΔΑ θα δουν έτσι τους ρόλους και τη λειτουργία τους να αλλάζουν ριζικά από παράγοντες συλλογής-διαλογής-επεξεργασίας-διάθεσης σε παραγωγούς και διανομείς δεδομένων. Αυτός ο μετασχηματισμός θα απαιτήσει νέες δηλώσεις αποστολής, νέα

διακυβέρνηση και νέα οργανωτικά μοντέλα, τα οποία θα αναγκάσουν τους ΔΟΔΑ να αποκτήσουν νέες δεξιότητες, νοοτροπίες και οργανωτικές κουλτούρες.

Μια διαδρομή ψηφιακού μετασχηματισμού που περιλαμβάνει το Blockchain είναι αυτό που προτείνεται εδώ. Για λόγους παραδειγματισμού, γίνεται εστίαση σε μια ενιαία διαδικασία που ξεκινά με τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση υπαρχουσών διεργασιών και οδηγεί σε μια πιλοτική δοκιμή μετά από μια σειρά βημάτων που περιλαμβάνουν δέντρα λήψης αποφάσεων. Ένα πλαίσιο βασικών δεικτών απόδοσης που επιτρέπει τη διαχείριση κυκλικών διαδικασιών αποβλήτων υποστηριζόμενων από Blockchain παρέχει βοήθεια για τη μετάβαση από το πιλοτικό στάδιο στο στάδιο της εφαρμογής.

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Σύντομη περιγραφή του έργου

Το έργο BlockWaste στοχεύει στην ανάπτυξη της διαλειτουργικότητας ανάμεσα στη διαχείριση αποβλήτων και την τεχνολογία blockchain και στην προώθηση της ορθής αντιμετώπισής τους μέσω της εκπαιδευτικής κατάρτισης, έτσι ώστε τα δεδομένα που συλλέγονται να διαμοιράζονται σε ένα ασφαλές περιβάλλον, όπου δεν υπάρχει περιθώριο αβεβαιότητας και δυσπιστίας μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων μερών. Για το σκοπό αυτό, οι στόχοι του έργου BlockWaste είναι οι εξής:

- Διεξαγωγή έρευνας σχετικά με τα στερεά απόβλητα που παράγονται στις πόλεις και τον τρόπο διαχείρισής τους, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μιας βάσης πληροφοριών ορθών πρακτικών, προκειμένου να γίνει επανεισαγωγή των αποβλήτων στην αλυσίδα αξίας, προωθώντας την ιδέα των Ευφύων Κυκλικών Πόλεων.
- Προσδιορισμός των οφελών της τεχνολογίας Blockchain στο πλαίσιο της διαδικασίας διαχείρισης αστικών αποβλήτων (ΑΣΑ).
- Δημιουργία ενός σχεδιαγράμματος σπουδών που θα επιτρέπει την κατάρτιση των εκπαιδευτικών και των επαγγελματιών των οργανισμών και των επιχειρήσεων του κλάδου, στους αλληλεπικαλυπτόμενους τομείς της διαχείρισης αποβλήτων, της κυκλικής οικονομίας και της τεχνολογίας Blockchain.
- Ανάπτυξη ενός διαδραστικού εργαλείου βασισμένου στην τεχνολογία Blockchain, το οποίο θα καταστήσει δυνατή την πρακτική εφαρμογή της διαχείρισης των δεδομένων που λαμβάνονται από τα αστικά απόβλητα, οπτικοποιώντας έτσι τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα εφαρμόζονται στο Blockchain και δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να αξιολογούν διαφορετικές μορφές διαχείρισης.

Το BlockWaste στοχεύει να εφαρμόσει, σε διακρατικό επίπεδο νέο εκπαιδευτικό περιεχόμενο, με στόχο την κατάρτιση των φοιτητών στις χώρες εταίρους και την παροχή των απαραίτητων βασικών δεξιοτήτων που τους επιτρέπουν να ενεργούν επαγγελματικά ως μελλοντικοί εργαζόμενοι στον τομέα, προσθέτοντας ψηφιακές ικανότητες που απαιτούνται από εταιρείες που αγκαλιάζουν τη διαδικασία του ψηφιακού μετασχηματισμού. Υπό αυτή την έννοια, το έργο απευθύνεται σε:

- Επιχειρήσεις και ΜΜΕ, επαγγελματίες πληροφορικής, πολεοδομικές αρχές και επαγγελματίες διαχείρισης αποβλήτων.
- Πανεπιστήμια (καθηγητές, φοιτητές και ερευνητές).
- Δημόσιους φορείς.

Το έργο περιλαμβάνει τέσσερα πνευματικά αποτελέσματα ως εξής:

- O1. Εκπαιδευτικό υλικό για το διεπιστημονικό αντικείμενο Blockchain-ΑΣΑ
- O2. Κοινό ευρωπαϊκό πρόγραμμα σπουδών διαχείρισης αστικών αποβλήτων που εφαρμόζουν τις τεχνολογίες Blockchain στις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας
- O3. Εργαλείο ηλεκτρονικής μάθησης με βάση την τεχνολογία Blockchain για την διαχείριση ΑΣΑ επικεντρωμένο στην κυκλική οικονομία
- O4. Ανοιχτός Εκπαιδευτικός Πόρος BlockWaste (OER)



## 1.2 Στόχοι και μεθοδολογική προσέγγιση

Το παρόν έγγραφο παρουσιάζει τους κύριους ορισμούς και τα χαρακτηριστικά των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), τις πρακτικές διαχείρισης, καθώς και τις πολιτικές και τα μέσα διαχείρισης των ΑΣΑ προς την κατεύθυνση της Κυκλικής Οικονομίας.

## 2 Αστικά στερεά απόβλητα

### 2.1 Ορισμός

Στην οδηγία 1999/31 της ΕΕ για την υγειονομική ταφή, τα αστικά στερεά απόβλητα ορίζονται ως «απόβλητα από νοικοκυριά, καθώς και άλλα απόβλητα τα οποία, λόγω της φύσης ή της σύνθεσής τους, είναι παρόμοια με τα απόβλητα των νοικοκυριών». Σύμφωνα με την οδηγία 2018/851, ως αστικά απόβλητα νοούνται:

- i. τα σύμμεικτα απόβλητα και τα απόβλητα που συλλέγονται χωριστά από νοικοκυριά, συμπεριλαμβανομένου του χαρτιού και του χαρτονιού, του γυαλιού, των μετάλλων, των πλαστικών, των βιολογικών αποβλήτων, του ξύλου, των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, των συσκευασιών, των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, των αποβλήτων ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών και των ογκωδών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των στρωμάτων και των επίπλων
- ii. τα σύμμεικτα απόβλητα και τα απόβλητα που συλλέγονται χωριστά από άλλες πηγές, όταν τα απόβλητα αυτά είναι παρόμοια ως προς τη φύση και τη σύνθεσή τους με τα απόβλητα των νοικοκυριών.

Τα αστικά απόβλητα προέρχονται από νοικοκυριά, εμπόριο, μικρές επιχειρήσεις, κτίρια γραφείων και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία, κυβερνητικά κτίρια) και συλλέγονται από πόρτα σε πόρτα μέσω της παραδοσιακής συλλογής (μικτά οικιακά απόβλητα), με συγκεκριμένα κλάσματα που συλλέγονται χωριστά για εργασίες ανάκτησης (από πόρτα σε πόρτα ή/και μέσω εθελοντικών εναποθέσεων). Αυτή η ροή των αποβλήτων περιλαμβάνει επίσης απόβλητα από τις ίδιες πηγές και παρόμοιας φύσης και σύνθεσης, τα οποία συλλέγονται απευθείας από τον ιδιωτικό τομέα (κυρίως χωριστή συλλογή για σκοπούς ανάκτησης), όχι για λογαριασμό των δήμων και απόβλητα που προέρχονται από αγροτικές περιοχές που δεν εξυπηρετούνται από τακτική υπηρεσία αποκομιδής αποβλήτων. Στα αστικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται τα απόβλητα από την παραγωγή, τη γεωργία, τη δασοκομία, την αλιεία, τις σπητικές δεξαμενές το δίκτυο αποχέτευσης και την επεξεργασία λυμάτων, συμπεριλαμβανομένης της λυματολάσσης, των οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους ή των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων.

Ο προαναφερόμενος ορισμός ακολουθείται σχεδόν σε όλες τις χώρες εταίρους. Για παράδειγμα, στη Γερμανία, τα αστικά στερεά απόβλητα σύμφωνα με τον νόμο περί κυκλικής οικονομίας § 5α ορίζονται (KrWG2020) ως όλα τα μικτά ή χωριστά απόβλητα που συλλέγονται από: i) τα νοικοκυριά, ιδίως χαρτί και χαρτόνι, γυαλί, μέταλλο, πλαστικά, οργανικά, ξύλο, υφάσματα, συσκευασίες, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, μπαταρίες, ογκώδη απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των στρωμάτων και των επίπλων και ii) άλλες πηγές, εφόσον τα απόβλητα αυτά είναι συγκρίσιμα, ως προς τη φύση και τη σύνθεση, με τα απόβλητα των νοικοκυριών. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή, η κατηγορία των ΑΣΑ περιλαμβάνει τα οικιακά και παρόμοια απόβλητα που συλλέγονται μέσω του δημοτικού συστήματος συλλογής ή μέσω τρίτων. Στην Εσθονία

(νόμος περί αποβλήτων, §2,7), τα αστικά απόβλητα περιλαμβάνουν τα απόβλητα από νοικοκυριά και τα απόβλητα που παράγονται στο εμπόριο, στην παροχή υπηρεσιών ή αλλού, τα οποία λόγω της σύνθεσης ή των ιδιοτήτων τους είναι παρόμοια με τα απόβλητα από νοικοκυριά. Στην Ολλανδία, τα αστικά απόβλητα ορίζονται ως οικιακά απόβλητα: απόβλητα που προέρχονται από νοικοκυριά, εκτός από τα συστατικά αυτών των αποβλήτων που έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνα απόβλητα.

Τέλος, στην Ισπανία, τα αστικά απόβλητα ορίζονται ως απόβλητα που παράγονται στα νοικοκυριά ως αποτέλεσμα οικιακών δραστηριοτήτων και παρεμφερή απόβλητα που παράγονται στις υπηρεσίες και τη βιομηχανία. Περιλαμβάνονται επίσης απόβλητα που παράγονται στα νοικοκυριά από ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, είδη ένδυσης, ηλεκτρικές στήλες, συσσωρευτές, έπιπλα και εξαρτήματα, καθώς και απόβλητα και υπολείμματα από μικρές εργασίες κατασκευής και επισκευής νοικοκυριών. Τα απόβλητα από τον καθαρισμό δημόσιων οδών, χώρων πρασίνου, χώρων αναψυχής και παραλιών, νεκρών κατοικίδιων ζώων και εγκαταλελειμμένων οχημάτων θεωρούνται επίσης οικιακά απόβλητα (Ν. 22/2011 της 28ης Ιουλίου για τα απόβλητα και το μολυσμένο έδαφος).

## 2.2 Ταξινόμηση

Τα αστικά απόβλητα, σύμφωνα με την Eurostat (2017), διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

A. Χωριστά συλλεγόμενα απόβλητα από νοικοκυριά:

- Χαρτί και χαρτόνι
- Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα
- Πλαστικά
- Γυαλί
- Μέταλλα
- Οργανικά υλικά από νοικοκυριά (απόβλητα κουζίνας, απόβλητα κήπων — η οικιακή κομποστοποίηση δεν λαμβάνεται υπόψη).
- Επικίνδυνα οικιακά απόβλητα (π.χ. χρησιμοποιημένοι διαλύτες, οξέα, αλκαλικά, φωτοχημικά, φυτοφάρμακα, χρησιμοποιημένα έλαια, χρώματα, ΑΗΗΕ, ηλεκτρικές στήλες και συσσωρευτές, απορρυπαντικά κ.λπ.)
- Άλλα απόβλητα (π.χ. βρώσιμα έλαια και λίπη, απορρίμματα καουτσούκ κ.λπ.)
- Ογκώδη απόβλητα

B. Υπολειμματικά απόβλητα:

- Μεικτά απόβλητα από νοικοκυριά και παρόμοια ιδρύματα, με εξαίρεση τα χωριστά συλλεγόμενα κλάσματα.

Γ. Απόβλητα από δημοτικές υπηρεσίες:

- Οργανικά υλικά από υπηρεσίες δήμων
- Απόβλητα από δημόσιους κάδους και σάρωθρα δρόμων
- Απόβλητα καθαρισμού της αγοράς
- Απόβλητα νεκροταφείου

Πρακτικά η ίδια ταξινόμηση ακολουθείται στη Γερμανία (Νόμος περί Κυκλικής Οικονομίας, 2012, τροποποιημένος το 2020, KrWG2020), στην Ελλάδα (Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων, ΦΕΚ 185/Α/29-09-2020), στην Εσθονία (νόμος περί αποβλήτων, 2004,

τροποποιήθηκε την 01.01.21), στην Ολλανδία (Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων 2017) και στην Ισπανία (Ν. 22/2011).

## 2.3 Χαρακτηριστικά ροής ΑΣΑ

Ο χαρακτηρισμός των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) αποτελεί σημαντικό μέσο για τις τοπικές κυβερνήσεις και τους φορείς υγιεινής για τον καθορισμό και την επίτευξη στόχων για την ανακύκλωση και την ανάκτηση αποβλήτων. Προς αυτή την κατεύθυνση, η πλήρης ανάλυση των χαρακτηριστικών και της σύνθεσης των οικιακών αποβλήτων αποτελεί σημαντικό στοιχείο των εθνικών, περιφερειακών και τοπικών στρατηγικών (Ciuta et. al., 2015).

### 2.3.1 Μέθοδοι χαρακτηρισμού ΑΣΑ

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι για τη διεξαγωγή μελέτης χαρακτηρισμού αποβλήτων. Η πρώτη είναι μια ειδική, ανά τοποθεσία, προσέγγιση κατά την οποία τα επιμέρους συστατικά της ροής αποβλήτων υποβάλλονται σε δειγματοληψία, διαλογή και ζύγιση. Η μεθοδολογία αυτή είναι χρήσιμη για τον καθορισμό μιας τοπικής ροής αποβλήτων, ιδίως εάν λαμβάνεται μεγάλος αριθμός δειγμάτων κατά τη διάρκεια αρκετών εποχών.

Τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας βελτιώνουν επίσης τη γνώση σχετικά με τις διακυμάνσεις που οφείλονται στις κλιματικές και εποχιακές αλλαγές, την πυκνότητα του πληθυσμού, τις διαφορές ανά περιφέρεια κ.λπ. Επιπλέον, οι ποσότητες των συστατικών των ΑΣΑ, όπως τα υπολείμματα τροφίμων και τα υπολείμματα κήπου, μπορούν να εκτιμηθούν μόνο μέσω δειγματοληψιών και ζύγισης.

Αν και η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό ενός τοπικού ρεύματος αποβλήτων, η εξαγωγή συμπερασμάτων από περιορισμένο αριθμό μελετών μπορεί να δημιουργήσει μια στρεβλή ή παραπλανητική εικόνα εάν, για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας υπήρχαν άτυπες συνθήκες. Οι περιστάσεις αυτές θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ασυνήθιστα υγρή ή ξηρή περίοδο, την απόρριψη ορισμένων ασυνήθιστων αποβλήτων κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας ή σφάλματα στη μεθοδολογία δειγματοληψίας. Τυχόν σφάλματα αυτού του είδους μεγεθύνονται σε μεγάλο βαθμό αν ολόκληρη η ροή αποβλήτων μιας κοινότητας για ένα χρόνο βασίζεται σε περιορισμένο αριθμό δειγμάτων. Η μεγέθυνση των σφαλμάτων θα μπορούσε να είναι ακόμη πιο σοβαρή εάν οι εκτιμήσεις των ΑΣΑ σε εθνικό επίπεδο βασίζονταν σε περιορισμένο αριθμό δειγμάτων για τη διενέργεια των εθνικών εκτιμήσεων των ΑΣΑ. Επίσης, η εκτεταμένη δειγματοληψία για τη διενέργεια των εθνικών εκτιμήσεων θα είχε απαγορευτικό κόστος. Ένα πρόσθετο μειονέκτημα των δειγματοληπτικών μελετών είναι ότι δεν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις τάσεις, εκτός εάν διενεργούνται με συνεπή τρόπο για μεγάλο χρονικό διάστημα (EPA, 1998).

Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται "μεθοδολογία ροών υλικών". Η ιδέα για αυτή τη μεθοδολογία αναπτύχθηκε στην EPA στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται σε δεδομένα παραγωγής (κατά βάρος) για τα υλικά και τα προϊόντα στη ροή αποβλήτων. Για την εκτίμηση των δεδομένων παραγωγής, γίνονται ειδικές προσαρμογές στα δεδομένα παραγωγής για κάθε υλικό και κατηγορία προϊόντος. Γίνονται προσαρμογές για εισαγωγές και εξαγωγές και για εκτροπές από ΑΣΑ (π.χ. για οικοδομικά υλικά από πλαστικό και χαρτόνι που μετατρέπονται σε ΑΕΚΚ). Προσαρμογές γίνονται επίσης για τη διάρκεια ζωής των προϊόντων. Τέλος, για τα υπολείμματα τροφίμων, τα κλαδέματα κήπων

και μια μικρή ποσότητα διαφόρων ανόργανων αποβλήτων λαμβάνονται υπόψη η συγκέντρωση δεδομένων από διάφορες μελέτες δειγματοληψίας αποβλήτων.

Ένα πρόβλημα με τη μεθοδολογία ροής υλικών είναι ότι υπολείμματα προϊόντων που σχετίζονται με άλλα στοιχεία στα ΑΣΑ (συνήθως δοχεία) δεν λαμβάνονται υπόψη. Αυτά τα υπολείμματα θα περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, τρόφιμα που αφήνονται σε ένα βάζο, απορρυπαντικό που αφήνεται σε ένα κουτί ή μπουκάλι, και αποξηραμένα χρώματα σε ένα κουτί. Μεταξύ αυτών των υπολειμμάτων προϊόντων περιλαμβάνονται επίσης ορισμένα οικιακά επικίνδυνα απόβλητα (π.χ. φυτοφάρμακα που αφήνονται σε δοχείο).

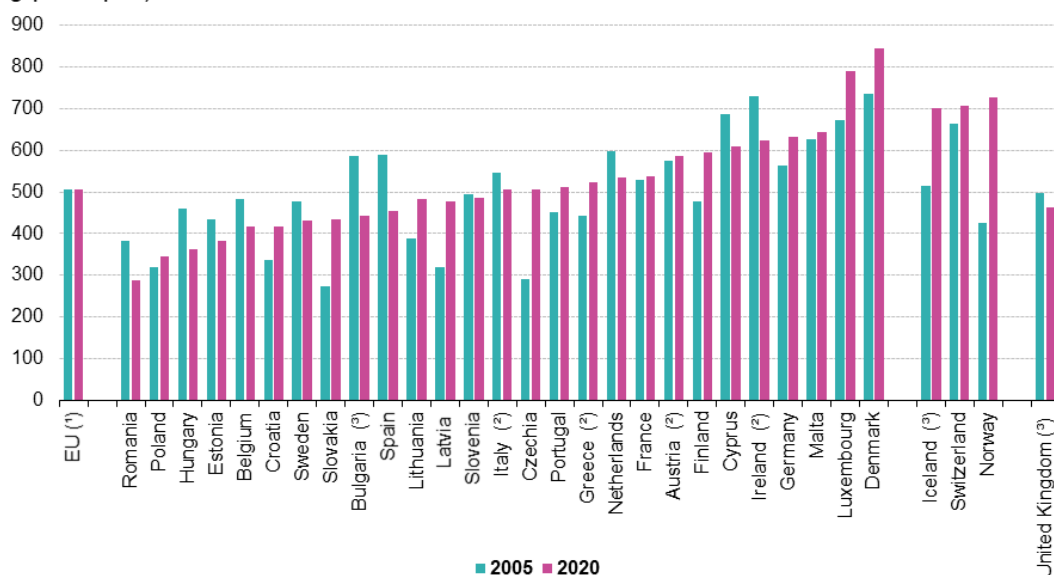
### 2.3.2 Υλικά στα ΑΣΑ ανά βάρος

Το 2018, τα συνολικά απόβλητα που παρήχθησαν στην ΕΕ-27 από όλες τις οικονομικές δραστηριότητες και τα νοικοκυριά ανήλθαν σε 2.337 εκατομμύρια τόνους. Στην ΕΕ-27, τα νοικοκυριά συνεισέφεραν το 8,2 % των συνολικών παραγόμενων αποβλήτων. Παρά το γεγονός ότι τα αστικά απόβλητα αποτελούν λιγότερο από το 10 % των συνολικών αποβλήτων που παράγονται στην ΕΕ, εμφανίζονται ως ένας από τους πλέον ρυπογόνους τύπους αποβλήτων, λόγω του πολύπλοκου χαρακτήρα τους, λόγω της σύνθεσής τους, της προέλευσής τους από πολλές πηγές αποβλήτων και της σύνδεσής τους με τα καταναλωτικά πρότυπα.

Για το 2020, τα σύνολα παραγωγής αστικών αποβλήτων ποικίλλουν σημαντικά, κυμαινόμενα από 282 κιλά κατά κεφαλή στη Ρουμανία έως 845 κιλά κατά κεφαλή στη Δανία, με μέσο όρο περίπου 500 κιλά στην ΕΕ-27. Οι διακυμάνσεις αντανακλούν διαφορές στα καταναλωτικά πρότυπα και τον οικονομικό πλούτο, αλλά εξαρτώνται επίσης από τον τρόπο συλλογής και διαχείρισης των αστικών αποβλήτων.

#### Municipal waste generated, 2005 and 2020

(kg per capita)



Note: Countries are ranked in increasing order by municipal waste generation in 2020.

(\*) Estimated.

(2) Ireland, Italy, Greece, Austria, 2019 data.

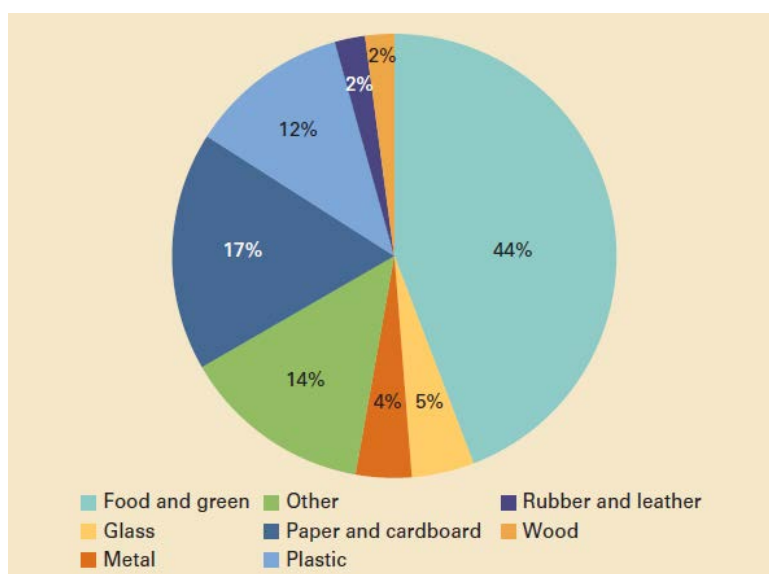
(3) Bulgaria, Iceland, United Kingdom 2018 data.

eurostat

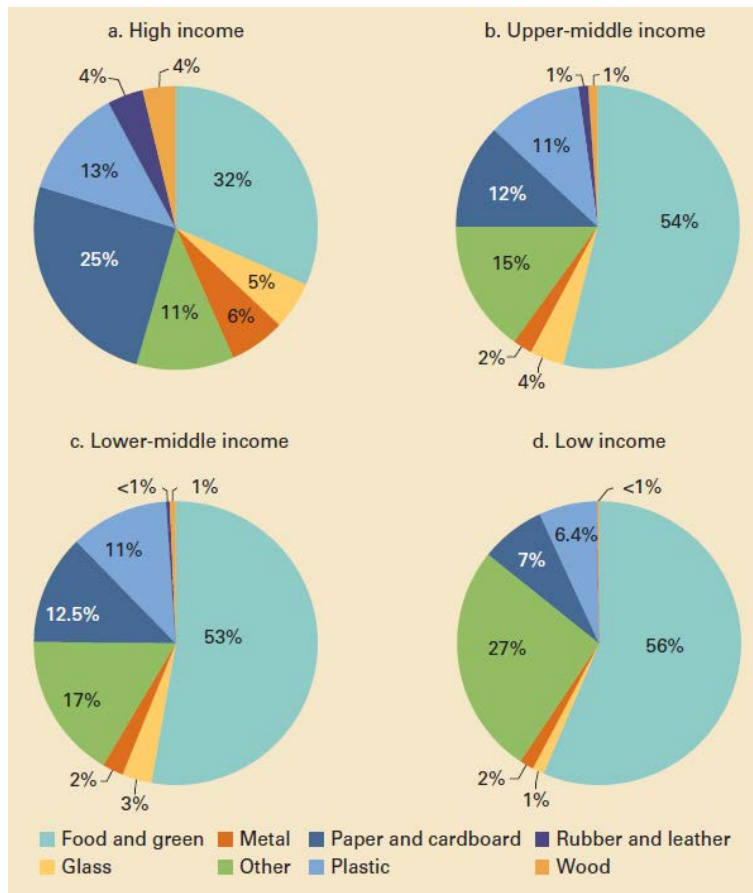
Εικόνα 1: Παραγωγή αστικών αποβλήτων ΕΕ-27, 2005-2020 (Πηγή: Eurostat, 2021).

Όσον αφορά στις χώρες εταίρους, το 2019 η Γερμανία είχε την υψηλότερη κατά κεφαλήν παραγωγή αστικών αποβλήτων (ήτοι 609), ακολουθούμενη από την Ελλάδα (524 kg) και την Ολλανδία (508 kg). Η κατά κεφαλήν παραγωγή αστικών αποβλήτων στην Ισπανία (476 kg) ήταν χαμηλότερη από τον μέσο όρο της ΕΕ-27 (δηλαδή 502 kg). Η Εσθονία, όπως προαναφέρθηκε, παράγει πολύ λιγότερα απόβλητα (δηλαδή 73,5 % του μέσου όρου της ΕΕ ή 369 kg κατά κεφαλήν).

Η σύνθεση των αποβλήτων είναι η κατηγοριοποίηση ανά τύπο υλικού στα αστικά στερεά απόβλητα. Σε διεθνές επίπεδο, η μεγαλύτερη κατηγορία αποβλήτων είναι τα τρόφιμα και τα πράσινα απόβλητα, που αποτελούν το 44 % των παγκόσμιων αποβλήτων (Εικόνα 2). Τα ξηρά ανακυκλώσιμα υλικά (πλαστικό, χαρτί και χαρτόνι, μέταλλο και γυαλί) αντιστοιχούν σε ένα επιπλέον 38 % των αποβλήτων. Η σύνθεση των αποβλήτων ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το επίπεδο εισοδήματος. Το ποσοστό οργανικής ύλης στα απόβλητα μειώνεται καθώς αυξάνονται τα επίπεδα εισοδήματος. Τα αγαθά που καταναλώνονται σε χώρες με υψηλότερο εισόδημα περιλαμβάνουν περισσότερα υλικά όπως το χαρτί και το πλαστικό από ό, τι στις χώρες χαμηλότερου εισοδήματος (Εικόνα 3). Η λεπτομέρεια των δεδομένων για τη σύνθεση των αποβλήτων, όπως λεπτομερείς μετρήσεις για τα απόβλητα από καουτσούκ και ξύλο, αυξάνεται επίσης ανάλογα με το επίπεδο εισοδήματος. (Kaza et. al., 2018).



Εικόνα 2: Παγκόσμια σύνθεση αποβλήτων (Πηγή: Kaza et. al., 2018).



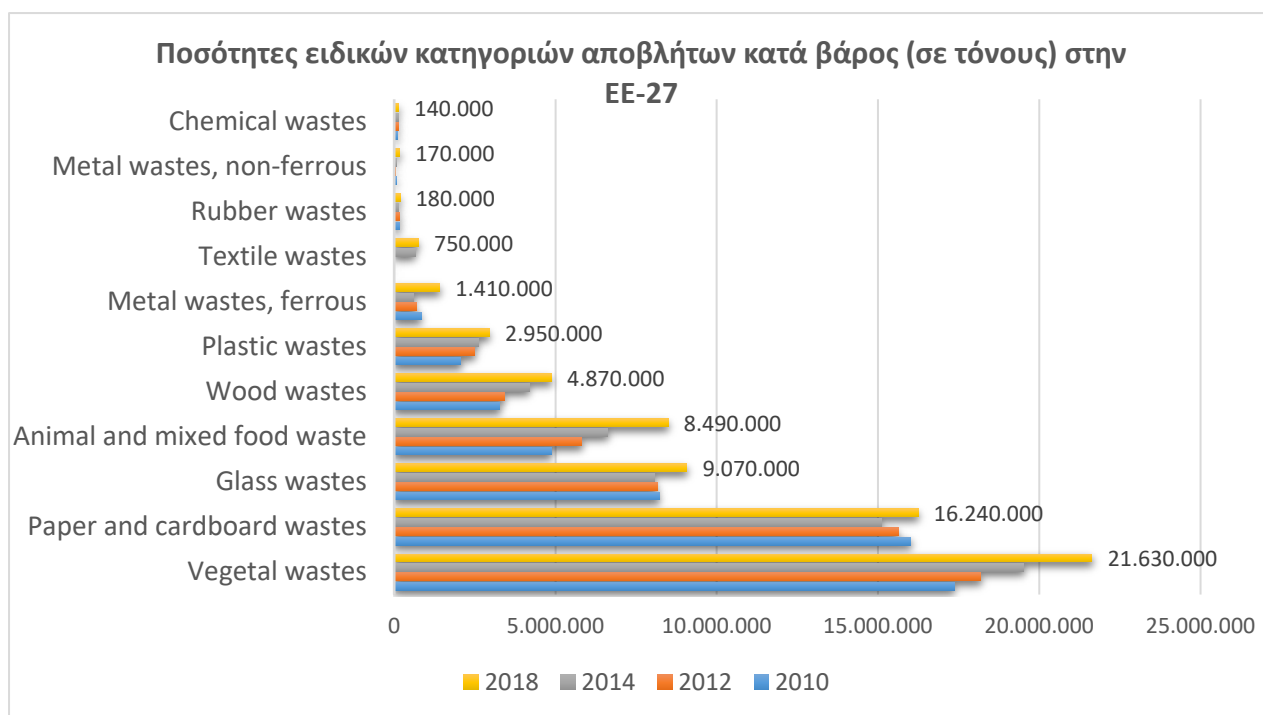
Εικόνα 3: Σύνθεση αποβλήτων ανά επίπεδο εισοδήματος (Πηγή: Kaza et. al., 2018).

Οι ποσότητες των συνολικών αποβλήτων (επικίνδυνων και μη) που παράγονται από νοικοκυριά στην ΕΕ-27 παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Παραγωγή αποβλήτων από νοικοκυριά στην ΕΕ-27 κατά βάρος (σε τόνους) (Πηγή: Eurostat, 2022 — διαδικασία ίδιας επεξεργασίας).

Οι ποσότητες συγκεκριμένων κατηγοριών αποβλήτων που συλλέγονται από νοικοκυριά παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Παραγωγή αποβλήτων από νοικοκυριά στην ΕΕ-27 κατά βάρος (σε τόνους) και κατηγορία (Πηγή: Eurostat, 2022 — διαδικασία ίδιας επεξεργασίας).

### 2.3.3 Μεταβλητότητα της παραγωγής ΑΣΑ

#### 2.3.3.1 Εμπορικά απόβλητα έναντι οικιστικών αποβλήτων

Σε γενικές γραμμές, οι άνθρωποι έχουν μεγαλύτερη επίγνωση των αποβλήτων που προέρχονται από τα σπίτια τους, είτε μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, ή άλλες επιλογές κατοικίας. Μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, ωστόσο, παράγονται επίσης όταν οι άνθρωποι εργάζονται, ψωνίζουν, ταξιδεύουν, παρακολουθούν μαθήματα ή συμμετέχουν σε άλλες δραστηριότητες. Τα τελευταία αυτά απόβλητα ταξινομούνται γενικά ως εμπορικά. Επιπλέον, οι μεταφορείς αποβλήτων συχνά κατατάσσουν τα απόβλητα που συλλέγονται από πολυκατοικίες ως εμπορικά, αν και η φύση των αποβλήτων μπορεί να είναι πολύ παρόμοια με εκείνη των μονοκατοικιών (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

#### 2.3.3.2 Τοπική/περιφερειακή μεταβλητότητα

Οι διαχειριστές αστικών στερεών αποβλήτων συμφωνούν γενικά ότι υπάρχουν διακυμάνσεις στην ποσότητα και τα χαρακτηριστικά των ΑΣΑ σε όλη τη χώρα, αν και δεν είναι εύκολο να γενικευθούν με οποιοδήποτε βαθμό αξιοπιστίας. Ωστόσο, μπορούν να γίνουν ορισμένες παρατηρήσεις με βάση την εμπειρία.

Πρώτον, υπάρχει κάποια παραδοχή ότι τα οικιακά απόβλητα διαφέρουν λιγότερο από τοποθεσία σε τοποθεσία σε σχέση με τα εμπορικά απόβλητα (Hunt, 1990). Οι άνθρωποι σε όλη τη χώρα τείνουν να αγοράζουν σχεδόν τα ίδια είδη αγαθών, είτε ζουν σε αγροτικές ή

αστικές περιοχές, είτε σε διαφορετικά κλίματα. Εξαιρέσεις σε αυτή τη γενίκευση αποτελούν:

- *Τα κλαδέματα κήπων.* Τα κλαδέματα κήπων τείνουν να είναι πολύ πιο άφθονα σε πιο ζεστά, υγρά μέρη της χώρας. Επιπλέον, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τρόπο διαχείρισής τους.
- *Τα απόβλητα τροφίμων.* Η απόρριψη των αποβλήτων τροφίμων στα ΑΣΑ ποικίλλει ανάλογα με την χρήση των συσκευών πολτοποίησης τροφίμων ("σκουπιδοφάγοι"), οι οποίες εισάγουν τα απόβλητα τροφίμων στο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων.
- *Οι εφημερίδες.* Οι εφημερίδες, οι οποίες ως επί το πλείστον απορρίπτονται από κατοικίες, ποικίλουν σημαντικά σε μέγεθος και, ως εκ τούτου, συμβάλλουν στις περιφερειακές και αστικές/αγροτικές διακυμάνσεις στην παραγωγή ΑΣΑ.

Η παραγωγή ΑΣΑ σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία θα επηρεαστεί έντονα από την εμπορική δραστηριότητα στην περιοχή. Η συγκέντρωση κτιρίων γραφείων σε μια περιοχή θα παράγει χαρτιά γραφείου και άλλα απόβλητα. Τα εμπορικά κέντρα, οι αποθήκες και τα εργοστάσια παράγουν μεγάλες ποσότητες κυματοειδών εμπορευματοκιβωτίων και άλλων αποβλήτων. Τα σχολεία, τα νοσοκομεία, τα αεροδρόμια, οι σταθμοί τρένων και λεωφορείων, τα ξενοδοχεία και τα μοτέλ και οι αθλητικές εγκαταστάσεις συμβάλλουν στην ροή των εμπορικών αποβλήτων. Έτσι, οι μικρές πόλεις και οι αγροτικές περιοχές χωρίς συγκεντρωμένες εμπορικές δραστηριότητες θα παράγουν συνήθως λιγότερα ΑΣΑ ανά άτομο από ό,τι οι αστικές περιοχές.

#### 2.3.3.3 Εποχιακές διακυμάνσεις

Ένα άλλο γνωστό φαινόμενο στη διαχείριση αστικών αποβλήτων είναι οι εποχιακές διακυμάνσεις στην παραγωγή αποβλήτων. Τα κλαδέματα κήπων είναι γενικά σημαντική μεταβλητή για τις περισσότερες κοινότητες, με τον εποχιακό καθαρισμό των κήπων και των αυλών να συμβάλλουν συχνά στις εβδομάδες αιχμής παραγωγής. Τα τέλη της άνοιξης και του φθινοπώρου είναι περίοδοι αιχμής σε πολλές κοινότητες, ενώ η παραγωγή απορριμμάτων μπορεί σχεδόν να μηδενιστεί τους χειμερινούς μήνες σε ψυχρά κλίματα. Οι τουριστικές περιοχές παρουσιάζουν επίσης εποχιακές διακυμάνσεις ανάλογα με το είδος των διακοπών που προσφέρει κάθε περιοχή.

#### 2.3.3.4 Διακυμάνσεις με την πάροδο του χρόνου

Η παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων παρουσιάζει διαχρονικές διακυμάνσεις για τα διάφορα υλικά. Η κατανόηση αυτού του φαινομένου είναι ιδιαίτερα σημαντική για την πραγματοποίηση προβλέψεων για την παραγωγή ΑΣΑ και τον σχεδιασμό εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων.

Ορισμένοι παράγοντες που τείνουν να αυξήσουν την παραγωγή ΑΣΑ είναι:

- *Αύξηση του πληθυσμού.* Προφανώς, περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν και απορρίπτουν περισσότερα πράγματα.
- *Αυξανόμενα επίπεδα ευημερίας.* Υπάρχει μάλλον ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής ΑΣΑ και της οικονομικής δραστηριότητας, όπως μετράται με βάση το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) ή τις δαπάνες προσωπικής κατανάλωσης (PCE). Η παραγωγή προϊόντων χαρτιού και χαρτονιού είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην οικονομική δραστηριότητα. Οι λόγοι είναι προφανείς: όταν οι παραγγελίες για τα προϊόντα μειώνονται, λιγότερα κιβώτια και άλλες συσκευασίες παραγγέλλονται για αποστολή. Επίσης, η διαφήμιση σε εφημερίδες και περιοδικά μειώνεται κατά τη διάρκεια μιας ύφεσης.



- *Αλλαγές στον τρόπο ζωής.* Οι αλλαγές στον τρόπο ζωής σχετίζονται με την ευημερία. Για παράδειγμα, τα άτομα που ζουν μόνοι, οι οικογένειες με δύο μισθωτούς και οι μονογονεϊκές οικογένειες τείνουν να αγοράζουν περισσότερα προσυσκευασμένα τρόφιμα και να τρώνε περισσότερο, συχνά σε εγκαταστάσεις γρήγορου φαγητού που χρησιμοποιούν συσκευασίες μίας χρήσης. Μπορούν επίσης να κάνουν περισσότερες αγορές μέσω καταλόγων, γεγονός που αυξάνει τις ποσότητες αλληλογραφίας που λαμβάνονται και απορρίπτονται στο σπίτι. Επιπλέον, κάθε νέο νοικοκυριό, όσο μικρό και αν είναι, πρέπει να διαθέτει ορισμένες συσκευές και έπιπλα.
- Η εκρηκτική αύξηση των ευκαιριών πληροφόρησης και αγορών μέσω ηλεκτρονικών επικοινωνιών προκαλεί επίσης αλλαγές στην παραγωγή αποβλήτων. Για παράδειγμα, η αναγνωσιμότητα των εφημερίδων μειώνεται, αλλά οι άνθρωποι με υπολογιστές στο σπίτι μπορεί να παράγουν περισσότερο χαρτί τύπου γραφείου, καθώς εκτυπώνουν πληροφορίες και επικοινωνίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
- *Νέα προϊόντα.* Τα νέα προϊόντα μίας χρήσης μπορούν να αυξήσουν τις ποσότητες των παραγόμενων ΑΣΑ. Οι πάνες μίας χρήσης είναι ένα παράδειγμα αυτού του φαινομένου.

Ενώ με την πάροδο του χρόνου η παραγωγή ΑΣΑ έχει αυξηθεί, ορισμένοι παράγοντες τείνουν να μειώνουν την παραγωγή ΑΣΑ. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες περιλαμβάνουν:

- *Επανασχεδιασμός των προϊόντων.* Ορισμένα προϊόντα στα ΑΣΑ έχουν καταστεί ελαφρύτερα με την πάροδο των ετών. Συσκευές όπως τα ψυγεία αποτελούν παράδειγμα, λόγω, σε μεγάλο βαθμό, των αλλαγών στη μόνωση και τη χρήση πιο ελαφρών πλαστικών. Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα ελαστικά από καουτσούκ, τα οποία όχι μόνο έχουν γίνει μικρότερα αλλά διαρκούν περισσότερο. Το δημοσιογραφικό χαρτί που χρησιμοποιείται για τη δημοσίευση εφημερίδων έχει γίνει ελαφρύτερο σε βάρος και μερικές φορές το μέγεθος της σελίδας έχει μειωθεί. Επίσης, πολλά είδη συσκευασίας έχουν γίνει ελαφρύτερα με την πάροδο των ετών, συχνά για να εξοικονομήσουν το κόστος μεταφοράς.

Τα πλαστικά απόβλητα προσέλκυσαν μεγάλη προσοχή πρόσφατα, ιδίως τα πλαστικά ρεύματα μίας χρήσης, κυρίως λόγω των μαζικών ερευνητικών ευρημάτων σχετικά με τις επιπτώσεις της ρύπανσης από πλαστικά στους ωκεανούς<sup>1</sup>. Η ΕΕ δρομολόγησε τη στρατηγική της για τα πλαστικά το 2018, με στόχο να διασφαλίσει ότι όλες οι πλαστικές συσκευασίες είναι επαναχρησιμοποιήσιμες ή ανακυκλώσιμες έως το 2030. Ζητεί επίσης να ανακυκλωθεί το 90 % όλων των πλαστικών φιαλών έως το 2025. Αναμένεται ότι η στρατηγική αυτή θα μεταμορφώσει τον τρόπο σχεδιασμού, χρήσης, παραγωγής και ανακύκλωσης των πλαστικών προϊόντων στην ΕΕ (Manoropoulos και Nielsen, 2020)<sup>2</sup>.

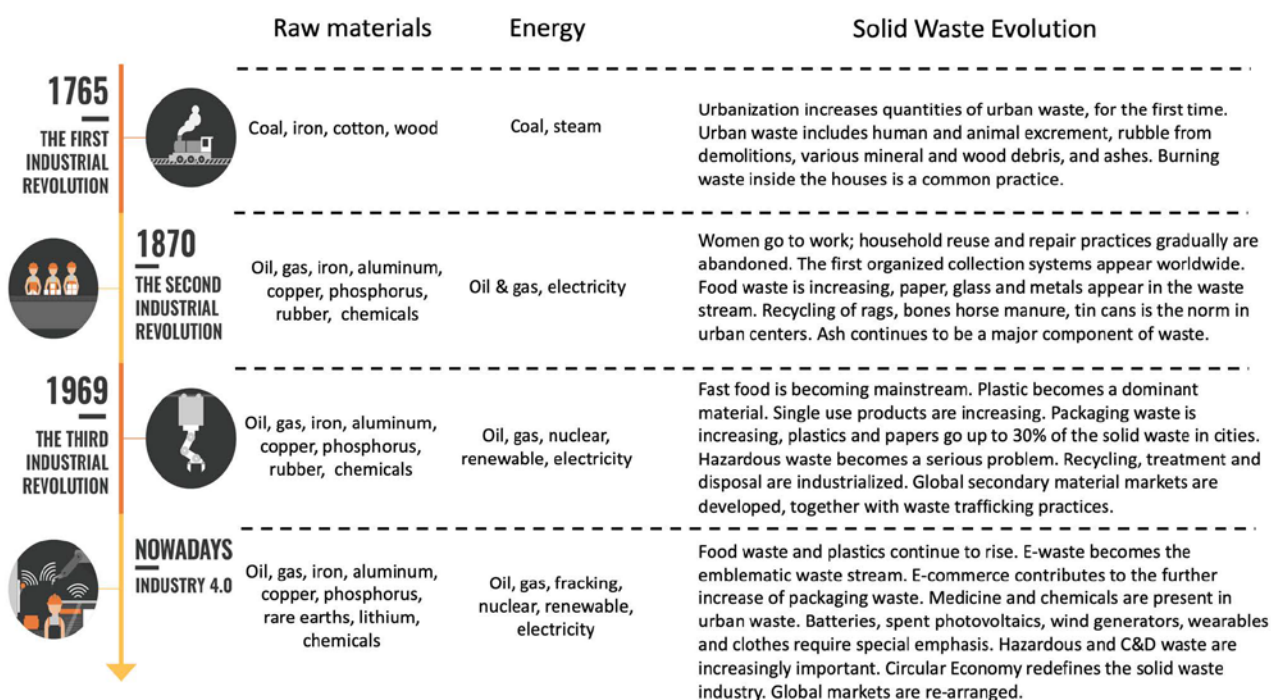
- *Αντικατάσταση υλικών.* Ειδικά στη συσκευασία, υπήρξε μια τάση αντικατάστασης ελαφρύτερων υλικών σε πολλές εφαρμογές. Έτσι, τα κουτιά αλουμινίου έχουν αντικαταστήσει τα χαλύβδινα κουτιά στη συσκευασία ποτών και τα πλαστικά μπουκάλια έχουν αντικαταστήσει το γυαλί. Αυτό αντικατοπτρίζεται στη φθίνουσα ή

<sup>1</sup> Davies, S. The Great Horse-Manure Crisis of 1894 | Stephen Davies <https://fee.org/articles/the-great-horse-manure-crisis-of-1894/> (πρόσβαση στις 13 Φεβρουαρίου 2020)

<sup>2</sup> Μαυρόπουλος Α., και Nielsen A.W., 2020, Βιομηχανία 4.0 και Κυκλική Οικονομία: Προς ένα άχρηστο μέλλον ή έναν άχρηστο πλανήτη; Wiley, ISBN: 978-1-119-69927-9

«επίπεδη» παραγωγή χαλύβδινων και γυάλινων συσκευασιών, ενώ το αλουμίνιο και τα πλαστικά έχουν παρουσιάσει ταχεία ανάπτυξη. Τα πλαστικά έχουν επίσης αντικαταστήσει το χαρτί σε πολλές εφαρμογές. Για παράδειγμα, παρόλο που η παραγωγή χάρτινων συσκευασιών έχει αυξηθεί συνολικά, η παραγωγή χάρτινων σακουλών και σάκων έχει μειωθεί, κυρίως λόγω της αυξημένης χρήσης πλαστικών σακουλών, οι οποίες είναι πολύ ελαφρύτερες.

Η Εικόνα 6 παρουσιάζει την μεταβαλλόμενη φύση των αποβλήτων καθώς ο κόσμος κινείται από τη μια βιομηχανική επανάσταση στην άλλη.



Εικόνα 6: Ένα στιγμιότυπο της εξέλιξης των στερεών αποβλήτων κατά τη διάρκεια των βιομηχανικών επαναστάσεων (Πηγή: Manoropoulos και Nielsen, 2020).

## 2.4 ΑΣΑ και το περιβάλλον

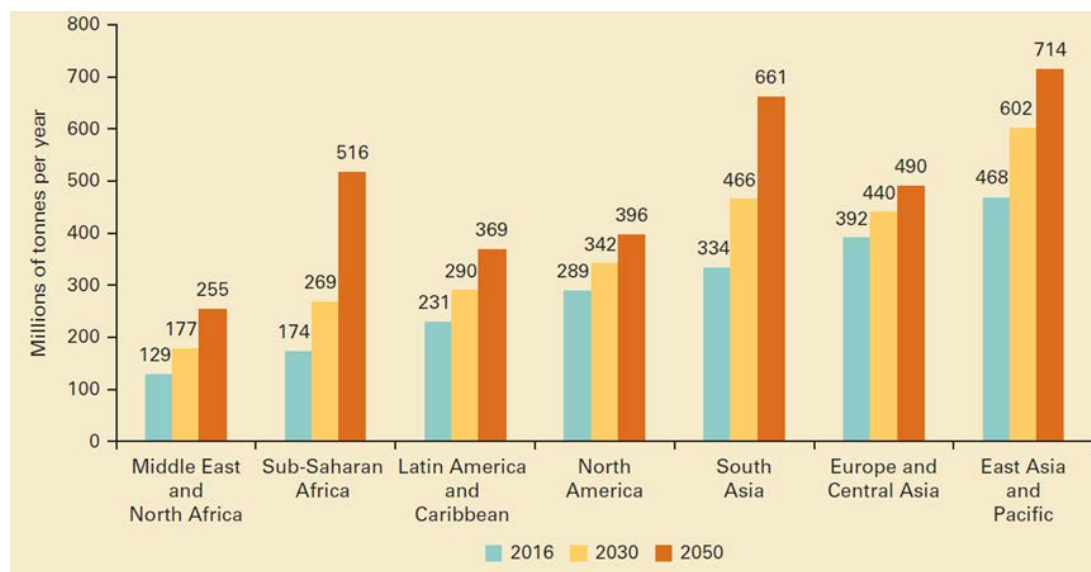
Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ), πιο γνωστά ως σκουπίδια, αποτελούνται από καθημερινά αντικείμενα που οι άνθρωποι χρησιμοποιούν και στη συνέχεια απορρίπτουν, όπως η συσκευασία προϊόντων, τα κλαδέματα, τα έπιπλα, τα ρούχα, τα μπουκάλια, τα απορρίμματα τροφίμων, οι εφημερίδες, οι συσκευές, τα χρώματα και οι μπαταρίες. Οι πηγές των ΑΣΑ είναι τα νοικοκυριά, τα σχολεία, τα νοσοκομεία και οι επιχειρήσεις<sup>3</sup>.

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα<sup>4</sup>, ο κόσμος παράγει 2,01 δισεκατομμύρια τόνους αστικών στερεών αποβλήτων ετησίως, με συντηρητικές εκτιμήσεις να υπολογίζουν ότι τουλάχιστον το 33 % αυτού του ποσοστού δεν αντιμετωπίζεται με περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα απόβλητα που παράγονται ανά άτομο ανά ημέρα είναι κατά μέσο όρο 0,74 κιλά, αλλά κυμαίνονται ευρέως, από 0,11 έως 4,54 κιλά. Αν και

<sup>3</sup> <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/>

<sup>4</sup> [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)

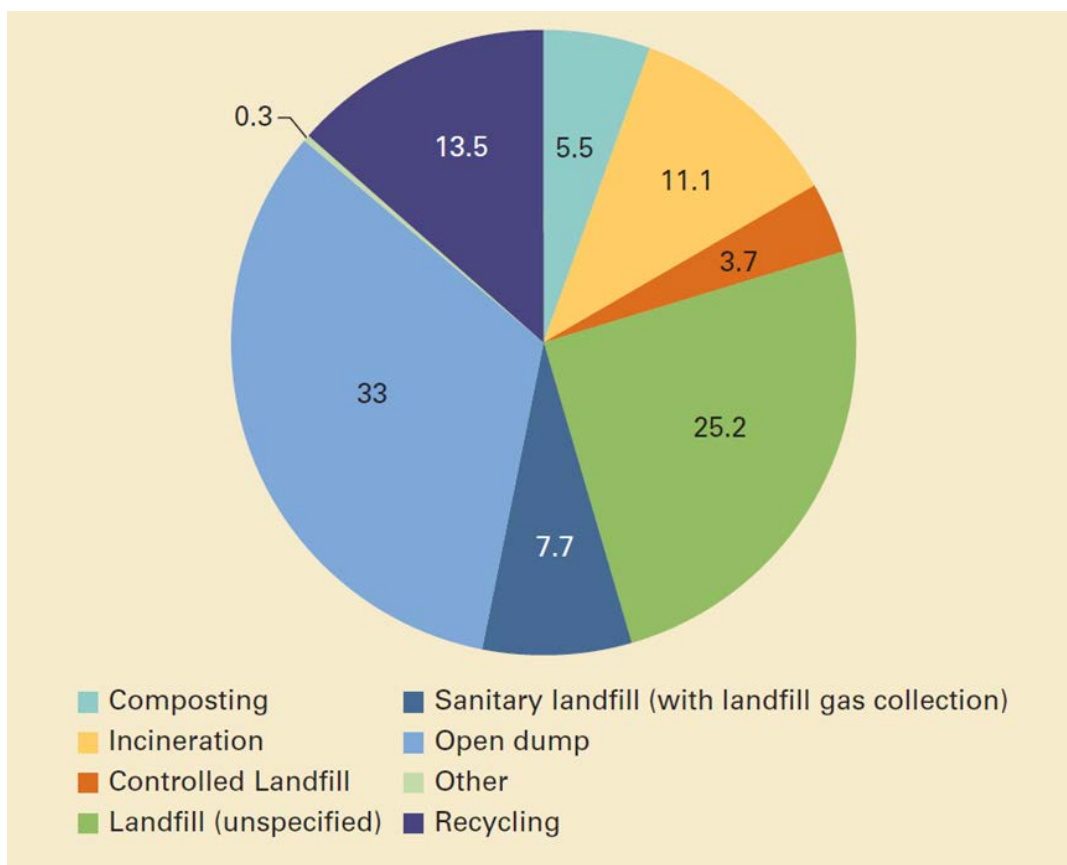
αντιπροσωπεύουν μόνο το 16 % του παγκόσμιου πληθυσμού, οι χώρες υψηλού εισοδήματος παράγουν περίπου το 34 %, ή 683 εκατομμύρια τόνους, των παγκόσμιων αποβλήτων. Όσον αφορά το μέλλον, οι προβλέψεις αναμένουν ότι οι ποσότητες αποβλήτων θα αυξηθούν σε 3,40 δισεκατομμύρια τόνους έως το 2050, υπερδιπλασιάζοντας την αύξηση του πληθυσμού κατά την ίδια περίοδο (Εικόνα 7). Συνολικά, υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής αποβλήτων και του επιπέδου εισοδήματος. Η ημερήσια κατά κεφαλήν παραγωγή αποβλήτων σε χώρες υψηλού εισοδήματος προβλέπεται να αυξηθεί κατά 19 % έως το 2050, σε σύγκριση με τις χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, όπου αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 40 % ή περισσότερο.



Εικόνα 7: Προβλεπόμενη παραγωγή αποβλήτων, ανά περιφέρεια (Πηγή: [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)).

Η διαχείριση των ΑΣΑ πρέπει να γίνεται μέσω επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης, αποθήκευσης, επεξεργασίας ή/και διάθεσης. Σε παγκόσμια κλίμακα, τα περισσότερα απόβλητα απορρίπτονται επί του παρόντος σε κάποια μορφή χωματερής. Περίπου το 37 % των αποβλήτων διατίθεται σε κάποια μορφή χώρου υγειονομικής ταφής, εκ των οποίων το 8 % διατίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής με συστήματα συλλογής αερίων. Οι ανεξέλεγκτοι χώροι υγειονομικής ταφής αντιπροσωπεύουν περίπου το 31 % των αποβλήτων, το 19 % ανακτάται μέσω ανακύκλωσης και κομποστοποίησης και το 11 % αποτεφρώνεται για τελική διάθεση (Εικόνα 8). Αποτελεσματική διάθεση ή επεξεργασία αποβλήτων, όπως ελεγχόμενοι χώροι υγειονομικής ταφής ή εγκαταστάσεις που λειτουργούν με αυστηρότερους όρους, παρατηρείται σχεδόν αποκλειστικά σε χώρες υψηλού και ανώτερου μέσου εισοδήματος. Οι χώρες με χαμηλότερο εισόδημα βασίζονται γενικά στην απόρριψη ανοιχτού τύπου (open dumping) (Εικόνα 9): Το 93 % των αποβλήτων απορρίπτονται σε χώρες χαμηλού εισοδήματος και μόνο το 2 % στις χώρες υψηλού εισοδήματος. Η αποτέφρωση χρησιμοποιείται κυρίως σε χώρες υψηλής δυναμικότητας, υψηλού εισοδήματος και χερσαίων περιορισμών<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)



Εικόνα 8: Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων παγκοσμίως (Πηγή: [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html)).

#### 2.4.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΑΣΑ

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα που επηρεάζει κάθε άτομο στον κόσμο. Η ακατάλληλη απόρριψη μπορεί να οδηγήσει σε δυσμενή αποτελέσματα για την υγεία, για παράδειγμα μέσω της ρύπανσης του νερού, του εδάφους και του αέρα. Τα επικίνδυνα απόβλητα ή η μη ασφαλής επεξεργασία αποβλήτων, όπως η ανοικτή καύση, μπορούν να βλάψουν άμεσα τους εργαζομένους αποβλήτων ή άλλα άτομα που εμπλέκονται στην καύση αποβλήτων και στις γειτονικές κοινότητες. Οι ευάλωτες ομάδες, όπως τα παιδιά, διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο δυσμενών αποτελεσμάτων για την υγεία<sup>6</sup>. Η κακή διαχείριση των αποβλήτων μολύνει τους ωκεανούς του κόσμου, φράζει τις αποχετεύσεις και προκαλεί πλημμύρες, μεταδίδει ασθένειες μέσω της αναπαραγωγής φορέων, αυξάνει τα αναπνευστικά προβλήματα μέσω αερομεταφερόμενων σωματιδίων από την καύση αποβλήτων, βλάπτει τα ζώα που καταναλώνουν απόβλητα εν αγνοία τους και επηρεάζει την οικονομική ανάπτυξη<sup>7</sup>.

Περίπου 54 εκατομμύρια τόνοι ηλεκτρονικών αποβλήτων, όπως τηλεοράσεις, υπολογιστές και τηλέφωνα, δημιουργούνται ετησίως (στοιχεία του 2019) με αναμενόμενη αύξηση σε 75

<sup>6</sup>[https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who\\_compendium\\_chapter4\\_v2\\_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc\\_5](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who_compendium_chapter4_v2_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc_5)

<sup>7</sup> <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>

εκατομμύρια τόνους έως το 2030. Το 2019, μόνο το 17 % των ηλεκτρονικών αποβλήτων τεκμηριώθηκε ότι συλλέχθηκαν και ανακυκλώθηκαν σωστά. Η έκθεση σε ακατάλληλα διαχειριζόμενα ηλεκτρονικά απόβλητα και τα συστατικά τους μπορεί να προκαλέσει πολλαπλές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και την ανάπτυξη, ιδίως σε μικρά παιδιά<sup>6</sup>.

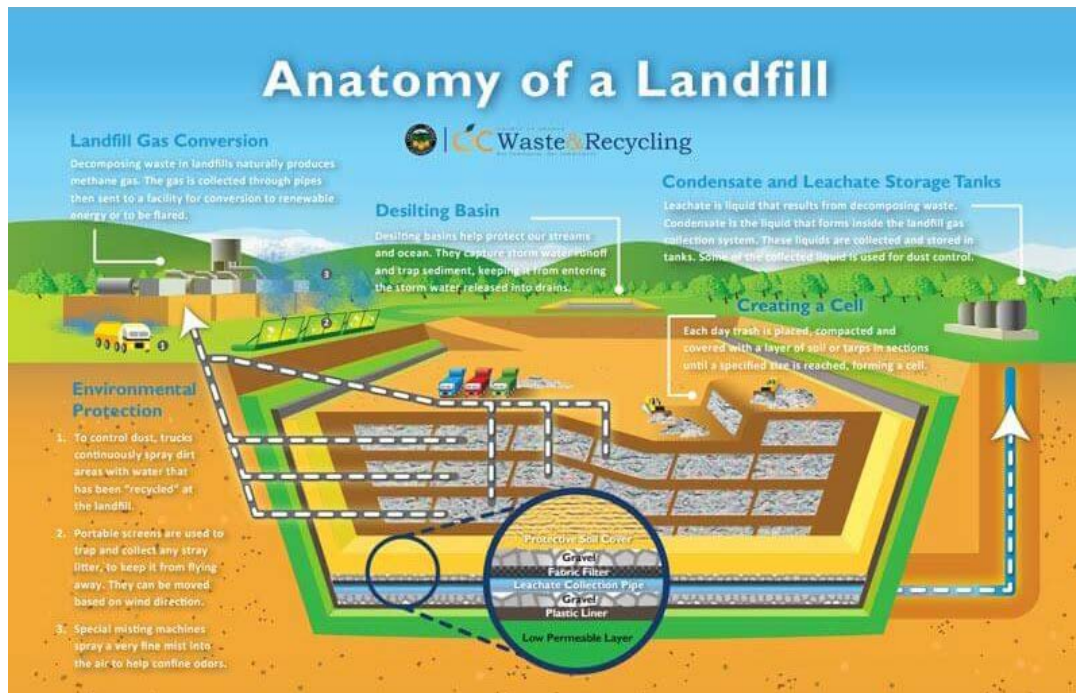


Εικόνα 9: Η δημοτική μονάδα απόρριψης Dandora στο Ναϊρόμπι, Κένυα (Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora\\_2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Dandora#/media/File:Dandora_2.jpg))

Γενικά, τα αστικά στερεά απόβλητα περιέχουν διάφορους ρύπους και επικίνδυνες ουσίες. Η κύρια μέθοδος διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων παγκοσμίως είναι κάποιο είδος υγειονομικής ταφής<sup>8</sup>. Χωρίς να αγνοείται η σημασία του διαχωρισμού των αποβλήτων από την πηγή, ώστε, για παράδειγμα, να αποφεύγεται η διάθεση μπαταριών ή άλλων επικίνδυνων υλικών σε χώρο υγειονομικής ταφής, οι δύο πιο πιεστικές περιβαλλοντικές ανησυχίες όσον αφορά τους χώρους υγειονομικής ταφής είναι τα στραγγίσματα και το αέριο μεθανίου (Εικόνα 10).

---

<sup>8</sup> Μαυρόπουλος, Α., (2015). Χαμένη υγεία: η τραγική περίπτωση των χωματερών, ISWA (διαθέσιμο at:[https://www.researchgate.net/publication/281774422\\_Wasted\\_Health\\_the\\_tragic\\_case\\_of\\_dump\\_sites](https://www.researchgate.net/publication/281774422_Wasted_Health_the_tragic_case_of_dump_sites))



Εικόνα 10: Τυπική διατομή σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής (Πηγή: <https://www.baltimorecountymd.gov/departments/publicworks/recycling/theresource/today-s-landfill-not-your-grandpa-s-dump>).

#### 2.4.2 Στραγγίσματα και βιοαέριο

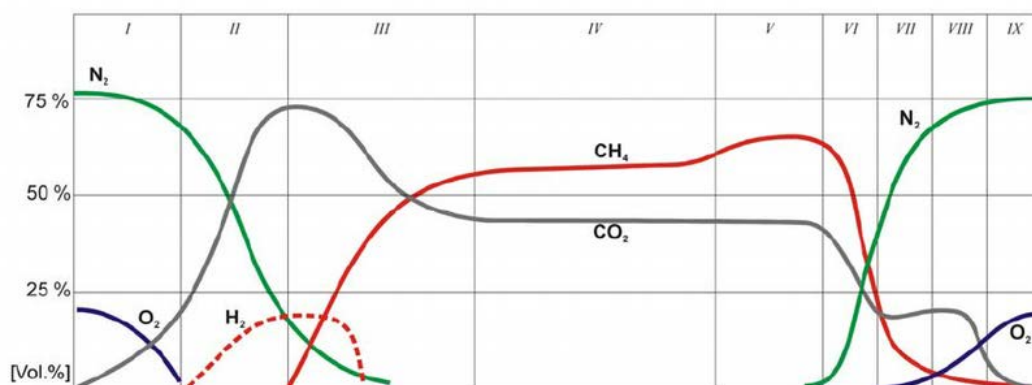
Τα στραγγίσματα, ένα υγρό που παράγεται από το νερό που διέρχεται από τον όγκο των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, μπορεί να περιέχουν υψηλά επίπεδα αμμωνίας (Εικόνα 11). Όταν η αμμωνία εισχωρεί σε οικοσυστήματα, νιτροποιείται για την παραγωγή νιτρικών αλάτων. Αυτό το νιτρικό οξύ μπορεί στη συνέχεια να προκαλέσει ευτροφισμό, ή έλλειψη οξυγόνου λόγω της αυξημένης ανάπτυξης της ζωής των φυτών, σε κοντινές πηγές νερού. Ο ευτροφισμός δημιουργεί «νεκρές ζώνες» όπου τα ζώα δεν μπορούν να επιβιώσουν λόγω έλλειψης οξυγόνου. Μαζί με την αμμωνία, τα στραγγίσματα περιέχουν τοξίνες όπως ο υδράργυρος λόγω της παρουσίας επικίνδυνων υλικών στους χώρους υγειονομικής ταφής<sup>9</sup>. Το αέριο μεθανίου απελευθερώνεται καθώς η οργανική μάζα στους χώρους υγειονομικής ταφής αποσυντίθεται (Εικόνα 12). Το μεθάνιο είναι 84 φορές πιο αποτελεσματικό στην απορρόφηση της θερμότητας του ήλιου από το διοξείδιο του άνθρακα, καθιστώντας το ένα από τα πιο ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου, με τεράστια συμβολή στην κλιματική αλλαγή. Μαζί με το μεθάνιο, οι χωματερές παράγουν επίσης διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς και ίχνη οξυγόνου, αζώτου, υδρογόνου και οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου. Τα αέρια αυτά μπορούν επίσης να συμβάλουν στην κλιματική αλλαγή και να δημιουργήσουν νέφος εάν αφεθούν ανεξέλεγκτα<sup>7</sup>.

<sup>9</sup> <https://www.colorado.edu/ecenter/2021/04/15/hidden-damage-landfills>

Parameters	Overall values		Overall range	
	Median	Mean	Minimum	Maximum
pH value	7.1	7.2	6.4	8.0
Conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	7,180	7,789	503	19,200
Alkalinity (as $\text{CaCO}_3$ )	3,580	3,438	176	8,840
COD (mg/l)	954	3,078	<10	33,700
BOD <sub>20</sub> (mg/l)	360	>834	4.5	>4,800
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	270	>798	<0.5	>4,800
TOC (mg/l)	306	717	2.8	<5,690
Fatty acids (as C) (mg/l)	5	248	<5	3,025
Kjeldahl-N (mg/l)	510	518	1	1,820
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	453	491	<0.2	1,700
Nitrate-N (mg/l)	0.7	2.4	<0.2	32.8
Nitrite-N (mg/l)	<0.1	0.2	<0.1	1.4
Sulphate (mg/l)	70	136	<5	739
Chloride (mg/l)	1,140	1,256	27	3,410
Phosphate (mg/l)	1.1	3.0	<0.1	15.8
Sodium (mg/l)	688	904	12	3,000

\* National Waste Database (1998)

Εικόνα 11: Τυπική σύνθεση στραγγισμάτων από ιρλανδικούς χώρους υγειονομικής ταφής (Πηγή: Kalyuzhnyi et al, 2003).



Εικόνα 12: Μακροπρόθεσμο μοντέλο της σύνθεσης των αερίων υγειονομικής ταφής. I αερόβια φάση, II όξινη φάση, III ασταθής φάση μεθανίου, IV σταθερή φάση μεθανίου, V μακροπρόθεσμη φάση, VI φάση διεισδυσης αέρα VI, φάση οξειδωσης μεθανίου VII, φάση VIII διοξειδίου του άνθρακα, IX φάση αέρα (Πηγή: Wagner et al, 2007).

Επιπλέον, οι χώροι υγειονομικής ταφής μπορούν επίσης να συνδεθούν με κοινωνικές επιπτώσεις. Οι εκπομπές από τους χώρους υγειονομικής ταφής αποτελούν απειλή για την υγεία όσων ζουν και εργάζονται γύρω από χώρους υγειονομικής ταφής. Οι μεγάλοι χώροι υγειονομικής ταφής, κατά μέσο όρο, μειώνουν την αξία γης των παρακείμενων περιοχών κατά 12,9%. Τέλος, οι χώροι υγειονομικής ταφής ενέχουν κινδύνους όπως η οσμή, ο καπνός, ο θόρυβος, τα έντομα και η μόλυνση της παροχής νερού<sup>7</sup>.

Μια άλλη κοινή στρατηγική για την αντιμετώπιση των ΑΣΑ είναι η αποτέφρωση. Η αποτέφρωση μειώνει τις ποσότητες στερεών αποβλήτων (μέχρι 70%) και τους όγκους (έως και 90%) για την υγειονομική ταφή, ενώ ταυτόχρονα σκοτώνει παθογόνους παράγοντες.

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα αυτά αντισταθμίζονται από τις εκπομπές οξειδίων του άνθρακα, οξειδίων του θείου, σωματιδίων, βαρέων μετάλλων και άλλων ρύπων από τους αποτεφρωτήρες. Κατά κανόνα, για κάθε τόνο ΑΣΑ που αποτεφρώνεται, παράγονται 15–40 kg επικίνδυνων αποβλήτων, για τα οποία απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία<sup>10</sup>. Σήμερα, οι αποτεφρωτήρες χρησιμοποιούν προηγμένους ελέγχους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μπορούν να περιλαμβάνουν τεχνολογίες που αφαιρούν το 99 % των διοξινών και φουρανίων που εκπέμπονται από την αποτέφρωση<sup>11</sup>. Επιπλέον, η αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε καθαρή εξοικονόμηση εκπομπών θερμοκηπίου σε σύγκριση με την αποτέφρωση των ΑΣΑ χύδην, αν και η ευρωστία αυτής της επιλογής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή ενέργειας που αντικαθίσταται<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-018-0175-y>

<sup>11</sup> <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-reducing-waste/municipal-solid/environment.html>

<sup>12</sup> [https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate\\_change\\_xsum.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate_change_xsum.pdf)



## 3 Υφιστάμενες στρατηγικές διαχείρισης ΑΣΑ

### 3.1 Εισαγωγή στη διαχείριση ΑΣΑ

Η ποσότητα των αποβλήτων αυξάνεται σε όλο τον κόσμο ως αποτέλεσμα της πληθυσμιακής έκρηξης, της οικονομικής ανάπτυξης, της ταχείας αστικοποίησης και της αύξησης του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου.

Τα απόβλητα, επίσης, είναι ένα ζήτημα για κάθε ευρωπαϊκή χώρα και το ποσό τους συνεχίζει να αυξάνεται. Τα αστικά στερεά απόβλητα αντιπροσωπεύουν περίπου το 10 % των συνολικών αποβλήτων που παράγονται στην Ευρώπη (Eurostat, 2022). Ωστόσο, η συλλογή και η διαχείριση των ΑΣΑ είναι ένα δύσκολο έργο λόγω της μικτής σύνθεσης των αποβλήτων, της κατανομής μεταξύ πολλών πηγών και της εξάρτησης από τα καταναλωτικά πρότυπα.

Πάνω από 225 εκατομμύρια τόνοι ΑΣΑ συλλέχθηκαν στην ΕΕ το 2020, κατά μέσο όρο 505 kg κατά κεφαλήν (Eurostat, 2022). Η συλλογή των ΑΣΑ ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των χωρών και κυμαίνεται από 282 kg/capita στη Ρουμανία έως 845 kg/capita στη Δανία (Eurostat, 2022). Οι διακυμάνσεις αυτές αντικατοπτρίζουν τις διαφορές στα καταναλωτικά πρότυπα και τον οικονομικό πλούτο, αλλά εξαρτώνται επίσης από την εθνική προσέγγιση όσον αφορά τη συλλογή και την επεξεργασία των αποβλήτων. Σε γενικές γραμμές, σε χώρες με υψηλότερα επίπεδα ΑΕΠ, η παραγωγή αποβλήτων τείνει επίσης να αυξάνεται, αν και στις χώρες αυτές χρησιμοποιούνται πιο προηγμένες διαδικασίες διαχείρισης αποβλήτων (STOA, 2017).

Η κακή διαχείριση των ΑΣΑ οδηγεί σε σοβαρά προβλήματα ρύπανσης, όπως η μόλυνση των υδάτων, του εδάφους και της ατμόσφαιρας, οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και η συμβολή της στην κλιματική αλλαγή. Ιστορικά, τα ΑΣΑ απορρίπτονταν συνήθως σε χώρους υγειονομικής ταφής ή αποτεφρώνονταν. Και οι δύο αυτές μέθοδοι έχουν σοβαρά μειονεκτήματα λόγω της έκλυσης τοξινών από τους χώρους υγειονομικής ταφής ή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την αποτέφρωση. Οι σύγχρονες τεχνολογίες διάθεσης έχουν μειώσει την πιθανότητα ρύπανσης του περιβάλλοντος, ωστόσο, η πολιτική της ΕΕ για τα απόβλητα αποσκοπεί στη δημιουργία μιας κυκλικής οικονομίας, όπου τα υλικά και οι πόροι διατηρούνται στην οικονομία για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και όπου η διάθεση των αποβλήτων και η αποτέφρωση είναι οι λιγότερο προτιμώμενες επιλογές διαχείρισης αποβλήτων..

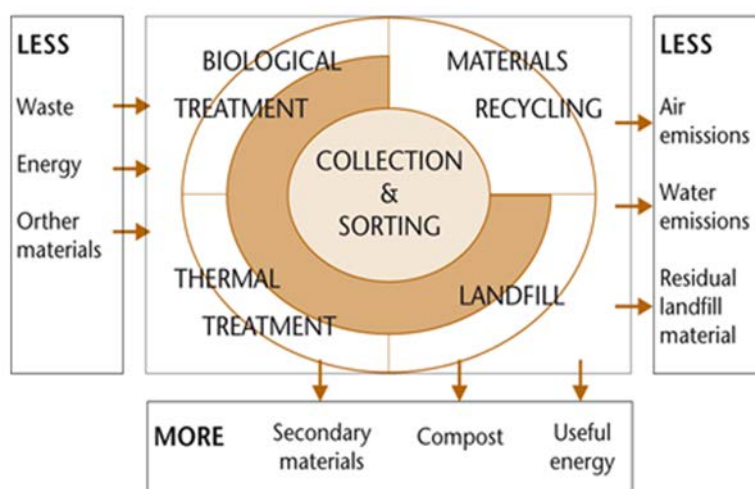
Σήμερα, η διαχείριση των ΑΣΑ απαιτεί μια σύνθετη προσέγγιση για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων και την προώθηση τεχνικά κατάλληλων, οικονομικά βιώσιμων και κοινωνικά αποδεκτών λύσεων σε προβλήματα διαχείρισης αποβλήτων. Έτσι, αναπτύχθηκε η έννοια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αποβλήτων (Integrated Waste Management, IWM).

Η IWM ενοποιεί τις ροές αποβλήτων, τη συλλογή, τη μεταφορά, την επεξεργασία και τη διάθεση αποβλήτων σε ένα πολύπλοκο σύστημα διαχείρισης αποβλήτων. Κάθε σύστημα IWM είναι μοναδικό και συνδυάζει τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων για την επεξεργασία των διαφόρων τύπων αποβλήτων με τρόπους που είναι περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά βιώσιμοι. Τα δεδομένα παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην IWM. Οι γνώσεις σχετικά με τις διάφορες τεχνολογίες και τις δυσμενείς επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, καθώς και η εκτίμηση της ποσότητας και της σύνθεσης των παραγόμενων αποβλήτων, σε συνδυασμό με τις προβλέψεις για την αύξηση

του πληθυσμού, βοηθούν τις τοπικές αρχές να επιλέξουν κατάλληλες τεχνολογίες συλλογής και επεξεργασίας αποβλήτων και να σχεδιάσουν τις μελλοντικές απαιτήσεις (Sharma και Jain, 2020). Η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών επεξεργασίας αποβλήτων IWM βασίζεται στις αρχές της ιεράρχησης των αποβλήτων.

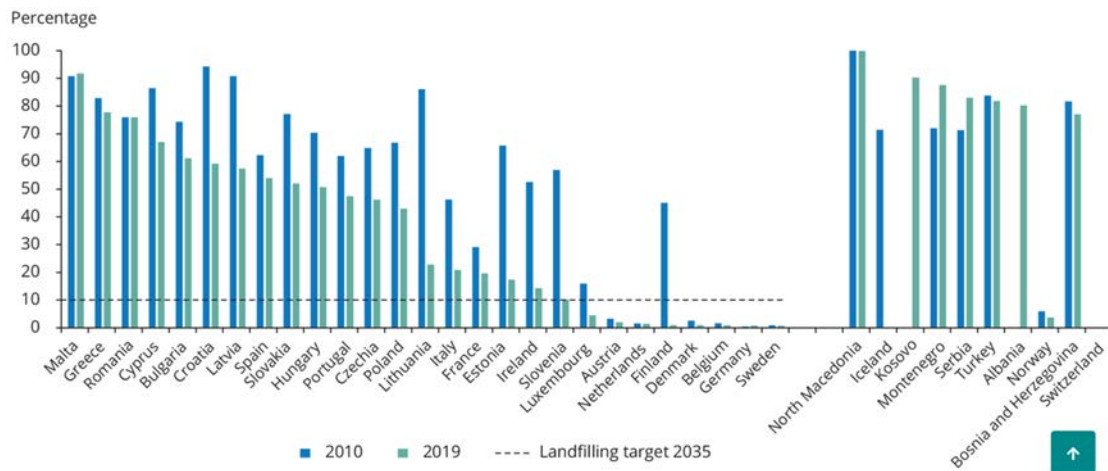
Για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιδόσεων των συστημάτων IWM χρησιμοποιούνται εργαλεία όπως η Ανάλυση Κύκλου Ζωής.

Η πολλαπλότητα της εργασίας και ο αριθμός των προκαταρκτικών παραδοχών παρουσιάζονται στην Εικόνα 13. Η Απογραφή Κύκλου Ζωής διερευνά διάφορες οδούς ροής αποβλήτων και μετασχηματισμού της, μαζί με τις συνοδευτικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Εικόνα 13: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Αποβλήτων: A Life Cycle Inventory (Adapted from Zbizinski et al., 2006).

Βασικός στόχος της πολιτικής της ΕΕ για τα απόβλητα είναι η αύξηση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των αποβλήτων και η μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Συνολικά, η ποσότητα των αποβλήτων που απορρίφθηκαν σε χώρους υγειονομικής ταφής μειώθηκε στην Ευρώπη (το 2018 ήταν κατά 7,6 % μικρότερη από ό,τι το 2010), αν και η συνολική ποσότητα παραγόμενων αποβλήτων εξακολούθησε να αυξάνεται. Για τα ΑΣΑ και παρόμοια απόβλητα έχει σημειωθεί μείωση κατά 51% μεταξύ 2010 και 2018 για την εκτροπή των αποβλήτων από την υγειονομική ταφή (ΕΕΑ, 2021). Ωστόσο, σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ για την υγειονομική ταφή, τα κράτη μέλη πρέπει να μειώσουν την ποσότητα των αστικών αποβλήτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής στο 10 % ή λιγότερο της συνολικής ποσότητας αστικών αποβλήτων που παράγονται έως το 2035. Το 2019 μόνο εννέα κράτη μέλη είχαν επιτύχει αυτόν τον στόχο (Αυστρία, Βέλγιο, Δανία, Φινλανδία, Γερμανία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Σλοβενία και Σουηδία), καθώς και η Νορβηγία, με αρκετές από αυτές τις χώρες να αποτεφρώνουν σημαντική ποσότητα αστικών αποβλήτων (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Ποσοστά υγειονομικής ταφής αστικών αποβλήτων στα κράτη μέλη της ΕΕ και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Πηγή: ΕΕΑ, 2021).

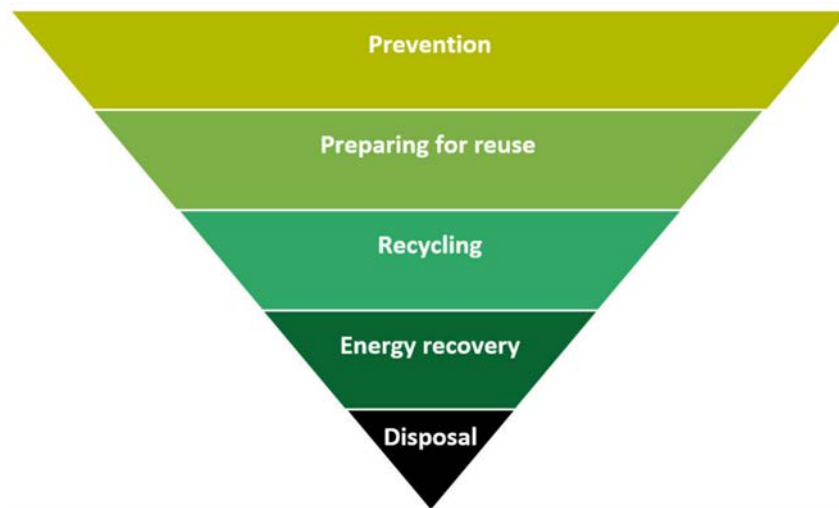
Οι πολιτικές για τα απόβλητα που αποδείχθηκαν επιτυχείς όσον αφορά στη μείωση της υγειονομικής ταφής περιλαμβάνουν τους φόρους υγειονομικής ταφής. Εντός των κρατών μελών της ΕΕ, μόνο η Κύπρος, η Γερμανία, η Κροατία και η Μάλτα (καθώς και η Νορβηγία) δεν διαθέτουν φόρο υγειονομικής ταφής. Οι φορολογικοί συντελεστές ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των κρατών μελών, από 5 EUR/τόνο στη Λιθουανία έως περισσότερα από 100 EUR/τόνο στο Βέλγιο (CEWER, 2021). Υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ του φόρου υγειονομικής ταφής και της υγειονομικής ταφής, με ένα σαφές μοτίβο χαμηλών επιπέδων υγειονομικής ταφής καθώς ο φόρος υγειονομικής ταφής τείνει να αυξάνεται (ΣΤΟΑ, 2017).

Άλλα σημαντικά μέτρα πολιτικής, που συμβάλλουν στη μετατόπιση της ιεράρχησης των αποβλήτων, περιλαμβάνουν απαγορεύσεις για την υγειονομική ταφή βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων ή μη προεπεξεργασμένων αστικών αποβλήτων, υποχρεωτικά συστήματα χωριστής συλλογής για την ανακύκλωση αστικών αποβλήτων ή οικονομική στήριξη για τη δημιουργία υποδομών συλλογής και ανακύκλωσης αποβλήτων. Για παράδειγμα, η Γερμανία κατόρθωσε να επιτύχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης αστικών αποβλήτων στην Ευρώπη χωρίς να έχει φόρο υγειονομικής ταφής, αλλά με συνδυασμό άλλων πολιτικών και χρηματοδοτικών μέσων.

Ορισμένες χώρες επιβάλλουν επίσης φόρους στην αποτέφρωση αποβλήτων. Για λεπτομερέστερη ανάλυση, οι ενδιαφερόμενοι αναγνώστες αναφέρονται στο παραδοτέο BlockWaste «O1.A1— Συγκριτική μελέτη των κανονισμών διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) σε κάθε χώρα».

### 3.2 Ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων

Το σύστημα ιεράρχησης των αποβλήτων σε πέντε στάδια θεσπίστηκε για πρώτη φορά με την οδηγία πλαίσιο της ΕΕ για τα απόβλητα (οδηγία 2008/98/ΕΚ) και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως κλειδί για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης αποβλήτων σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων. (Πηγή: Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα, 2008).

Η ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων απεικονίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφόρων μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων και έχει επιπτώσεις στη βιωσιμότητα της διακυβέρνησης των αποβλήτων.

Η πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων βρίσκεται στην κορυφή της ιεράρχησης. Όταν δημιουργούνται απόβλητα, δίνεται προτεραιότητα στην προετοιμασία τους για επαναχρησιμοποίηση, στη συνέχεια στην ανακύκλωση (συμπεριλαμβανομένης της κομποστοποίησης), στη συνέχεια σε άλλη ανάκτηση (για παράδειγμα, ανάκτηση ενέργειας), ενώ η τελευταία επιλογή είναι η διάθεση των αποβλήτων μέσω των χώρων υγειονομικής ταφής. Η νομοθεσία της ΕΕ για τα απόβλητα έχει επίσης συγκεκριμένους στόχους για την αύξηση της ανακύκλωσης συγκεκριμένων ροών αποβλήτων, όπως ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός, τα αυτοκίνητα, οι μπαταρίες, τα Α.Ε.Κ.Κ., τα αστικά απόβλητα και τα απορρίμματα συσκευασίας, καθώς και για τη μείωση της υγειονομικής ταφής των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2022).

### 3.3 Κοινές αρχές στη διαχείριση των ΑΣΑ

Η σύγχρονη διαχείριση ΑΣΑ βασίζεται σε διάφορες αρχές:

#### **Αποδοτικότητα των πόρων**

Ως αποδοτική χρήση των πόρων νοείται η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή και την κατανάλωση αγαθών, από την εξόρυξη τελικών πρώτων υλών έως την τελευταία χρήση και διάθεση. Από την άποψη της διαχείρισης των αποβλήτων, αυτό σημαίνει ότι η δημιουργία αποβλήτων δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντικό πρόβλημα, αλλά και οικονομική απώλεια. Ως εκ τούτου, η αρχή των ΑΣΑ είναι να αλλάξουν τα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης για την παραγωγή λιγότερων αποβλήτων, με παράλληλη χρήση όλων των παραγόμενων αποβλήτων ως πόρων. Η προσέγγιση αυτή αντικατοπτρίζεται επίσης στην ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων — για την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων καθ'αυτήν, για τη χρήση των αποβλήτων ως νέων πόρων και για την ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η αποδοτική χρήση των πόρων στη διαχείριση των αποβλήτων

συνδέεται επίσης με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, όπου οι εισροές πόρων, οι εκπομπές και η διαρροή ενέργειας ελαχιστοποιούνται με τη βελτιστοποίηση όλων των διαδικασιών και η παραγωγή αποβλήτων μειώνεται στο απολύτως ελάχιστο.

### **Ο «ρυπαίνων πληρώνει» και η «διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού»**

Ο «ρυπαίνων πληρώνει» είναι μια απλή αρχή που σημαίνει ότι εκείνοι που προκαλούν ρύπανση είναι υπεύθυνοι γι' αυτήν και πρέπει να πληρώσουν για την πρόληψη ζημιών στην ανθρώπινη υγεία ή/και στο περιβάλλον. Όσον αφορά στη διαχείριση των αποβλήτων, η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» αναφέρεται στην απαίτηση να πληρώνει ο παραγωγός αποβλήτων για την κατάλληλη διάθεση μη ανακτήσιμων υλικών. Το σύστημα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού αποτελεί πρακτική μέθοδο για την εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Εφαρμόζεται, για παράδειγμα, για τα ΑΗΗΕ, τα οχήματα, τις μπαταρίες, τα απορρίμματα συσκευασίας, τα γεωργικά απόβλητα. Για τη συλλογή των φιαλών αυτό το σύστημα περιλαμβάνει σύστημα επιστροφής χρημάτων.

**Η αρχή «πλήρωσε ανάλογα με αυτά που απορρίπτεις» ("Pay as You Throw" Principle, PAYT):** Το μοντέλο αυτό τιμολογεί τη διάθεση των ΑΣΑ ανάλογα με την ποσότητα αποβλήτων ανά μονάδα και όχι με βάση ένα κατ' αποκοπή ποσό. Αυτό το οικονομικό κίνητρο είναι εδραιωμένο σε ορισμένα κράτη μέλη και έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συμπεριφορά των ανθρώπων.

## **3.4 Επεξεργασία ΑΣΑ**

### **3.4.1 Ταφή**

Η διάθεση των αποβλήτων, σύμφωνα με την ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων, είναι μία από τις λιγότερο προτιμώμενες επιλογές στις μέρες μας. Η απλή απόθεση στερεών αποβλήτων στη γη ονομάζεται ανεξέλεγκτη διάθεση (Worell & Vesilind, 2012), η οποία ήταν μία από τις αρχικές μεθόδους σχεδόν για όλες τις χερσαίες κοινότητες μέχρι τη δεκαετία του 1960. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, οι ανεπτυγμένες χώρες άρχισαν να χρησιμοποιούν μηχανοποιημένες λύσεις για την απόρριψη των αποβλήτων, γεγονός που οδηγεί στην ανάπτυξη υγειονομικής ταφής. Ο χώρος υγειονομικής ταφής περιλαμβάνει την στεγάνωση του πυθμένα, συστήματα συλλογής και επεξεργασίας στραγγισμάτων, συλλογής και επεξεργασίας αερίων, τελικά καλύμματα στεγανοποίησης και συστήματα παρακολούθησης του αέρα και του νερού. (EREF, 2022). Σε έναν χώρο υγειονομικής ταφής, η αποικοδόμηση των αποβλήτων γίνεται με βάση τις πολύπλοκες χημικές, φυσικές και βιολογικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές επηρεάζονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (όπως η θερμοκρασία, το pH, η παρουσία τοξινών, η περιεκτικότητα σε υγρασία και το δυναμικό οξειδωσης-αναγωγής). Ως αποτέλεσμα αυτών των διεργασιών τα απόβλητα αποικοδομούνται ή μετασχηματίζονται. Ο ρυθμός αποικοδόμησης εξαρτάται επίσης από τη σύνθεση των αποβλήτων και οδηγεί στη δημιουργία στραγγισμάτων και αερίων του χώρου υγειονομικής ταφής.

Τα στραγγίσματα παράγονται από την διήθηση του νερού μέσω των αποβλήτων μετά την τοποθέτηση και περιλαμβάνουν επίσης την υγρασία που διατηρείται στα απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους (EREF, 2022). Η ποιότητα των στραγγισμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση των στερεών αποβλήτων, τους ρυθμούς καθίζησης, την υδρολογία του εργοταξίου, τη συμπίεση, τον σχεδιασμό κάλυψης, την ηλικία των αποβλήτων, τις διαδικασίες δειγματοληψίας, την αλληλεπίδραση των στραγγισμάτων με το περιβάλλον,

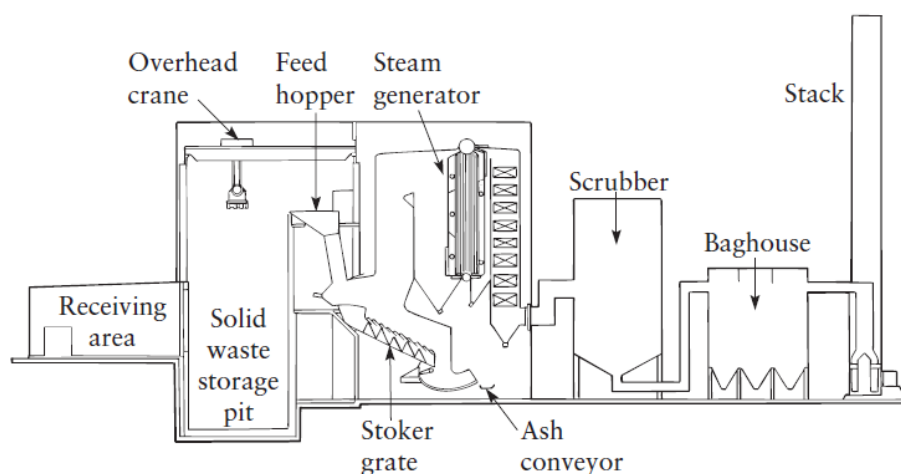
και το σχεδιασμό και λειτουργία των χώρων υγειονομικής ταφής (Worell & Vesilind, 2012). Μετά τη συλλογή, τα στραγγίσματα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία επιτόπου ή να αποστέλλονται στο δημοτικό αποχετευτικό δίκτυο για περαιτέρω επεξεργασία.

Το βιοαέριο παράγεται κατά τη βιολογική αποσύνθεση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ). Τα μαθηματικά και τα υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να προβλέψουν τη σύνθεση του βιοαερίου, το οποίο βασίζεται κυρίως στη σύνθεση των αποβλήτων που απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής και στην περιεκτικότητα σε υγρασία.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπαθεί να περιορίσει την ποσότητα των αποβλήτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής στο ελάχιστο. Ο κύριος νόμος που τέθηκε σε ισχύ το 1999 ήταν η οδηγία περί υγειονομικής ταφής. Η οδηγία για την υγειονομική ταφή προβλέπει αυστηρές λειτουργικές απαιτήσεις για τους χώρους υγειονομικής ταφής με στόχο την προστασία τόσο της ανθρώπινης υγείας όσο και του περιβάλλοντος (ΕΚ, 2022).

### 3.4.2 Αποτέφρωση και ανάκτηση ενέργειας

Για το μεγαλύτερο ποσοστό των ΑΣΑ υπάρχει η δυνατότητα καύσης, με ταυτόχρονη ανάκτηση ενέργειας, σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης, για να μειωθεί ο όγκος των αποβλήτων. Οι εν λόγω καυστήρες διαθέτουν χώρο αποθήκευσης στερεών αποβλήτων για την αποθήκευση και τη διαλογή των εισερχόμενων αποβλήτων, γερανό για τη φόρτωση των αποβλήτων στο μπλοκ καύσης, θάλαμο καύσης αποτελούμενο από σχάρες στον πυθμένα, το σύστημα ανάκτησης θερμότητας, στο οποίο το νερό μετατρέπεται σε ατμό, το σύστημα χειρισμού τέφρας και το σύστημα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα οποία περιλαμβάνουν πλυντρίδες και σακόφιλτρα για την απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας και των σωματιδίων.



Εικόνα 16: Ένα τυπικό σχέδιο καύσης αστικών στερεών αποβλήτων (Adapted from Worell & Vesilind, 2012).

Τα απόβλητα προς ενέργεια (WtE) ή η ενέργεια — από — απόβλητα (EfW) ορίζονται ως μια διαδικασία καύσης αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας. Οι κύριοι τύποι διαδικασιών WtE περιλαμβάνουν:

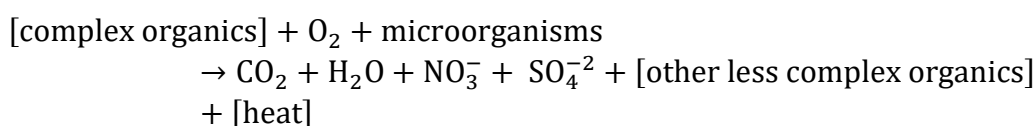
- συναποτέφρωση αποβλήτων σε μονάδες καύσης (π.χ. μονάδες ηλεκτροπαραγωγής) και στην παραγωγή τσιμέντου και ασβέστου·

- αποτέφρωση και συναποτέφρωση αποβλήτων σε ειδικές εγκαταστάσεις
- αναερόβια χώνευση βιοαποδομήσιμων αποβλήτων
- παραγωγή στερεών, υγρών ή αέριων καυσίμων που προέρχονται από απόβλητα και
- άλλες διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της έμμεσης αποτέφρωσης μετά από στάδιο πυρόλυσης ή αεριοποίησης

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Επιτροπή COM(2017)34, σχετικά με τον ρόλο της διαδικασίας μετατροπής των αποβλήτων σε ενέργεια στην κυκλική οικονομία, μόνο η αναερόβια χώνευση με την παραγωγή βιοαερίου τοποθετείται ως επιλογή ανακύκλωσης σύμφωνα με την ιεράρχηση των αποβλήτων. Όλοι οι άλλοι τύποι διαδικασιών WtE σχετίζονται κυρίως με την επιλογή ανάκτησης. Η αποτέφρωση και η συναποτέφρωση με περιορισμένη ανάκτηση ενέργειας τοποθετούνται στο κάτω μέρος της ιεραρχίας υπό την επιλογή διάθεσης μαζί με την υγειονομική ταφή των αποβλήτων. Η ανοικτή διαδικασία καύσης αποθαρρύνεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω των προβλημάτων που συνδέονται με την υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση.

### 3.4.3 Κομποστοποίηση και βιομεθανοποίηση

Η κομποστοποίηση μπορεί να οριστεί ως μια διαδικασία αποδόμησης του οργανικού υλικού παρουσία μικροοργανισμών στο νερό, το διοξείδιο του άνθρακα και τη μικροβιακή βιομάζα. Στην κομποστοποίηση, οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν οργανικά υλικά σε πολύτιμο προϊόν που ονομάζεται «humus». Η βασική αντίδραση είναι η ακόλουθη (Worell & Vesilind, 2012):



Η κομποστοποίηση γίνεται κυρίως σε τέσσερις φάσεις:

- Αρχική φάση** — Στη μεσοφιλική αρχική φάση, τα βακτήρια που αποσυνθέτουν οργανική ύλη αρχίζουν να αναπαράγονται εντατικά, η λιπασματοποιήσιμη μάζα θερμαίνεται και το pH μειώνεται.
- Θερμοφιλική φάση** — Κατά τη διάρκεια της θερμοφιλικής φάσης, κατά την οποία η θερμοκρασία αυξάνεται στους 60-70 °C, τα περισσότερα παθογόνα και παράσιτα στα απόβλητα θανατώνονται και καταστρέφονται οι σπόροι ζιζανίων.
- Μεσόφιλη φάση ωρίμανσης** - Στη μεσόφιλη φάση ωρίμανσης, η θερμοκρασία παραμένει στους 35-55 °C και αρχίζει να μειώνεται λόγω της εξάντλησης των θρεπτικών συστατικών. Η περιεκτικότητα σε επίμονες ενώσεις μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.
- Ψύξη και φάση ωρίμανσης** — Κατά τη διάρκεια των φάσεων ψύξης και ωρίμανσης, η μικροβιολογική δραστηριότητα μειώνεται περαιτέρω. Η θερμοκρασία δεν αυξάνεται πλέον πάνω από 40 °C ακόμη και όταν αναμιγνύεται το κομπόστ. Οι γαιοσκώληκες εμφανίζονται στο κομπόστ. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, το κομπόστ ωριμάζει και σχηματίζεται το πιο πολύτιμο «humus».

Τα κύρια συστήματα κομποστοποίησης περιλαμβάνουν (Atalia et al., 2015):

- Ανοιχτά σειράδια — περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός μείγματος οργανικών αποβλήτων σε μακρούς, στενούς σωρούς.

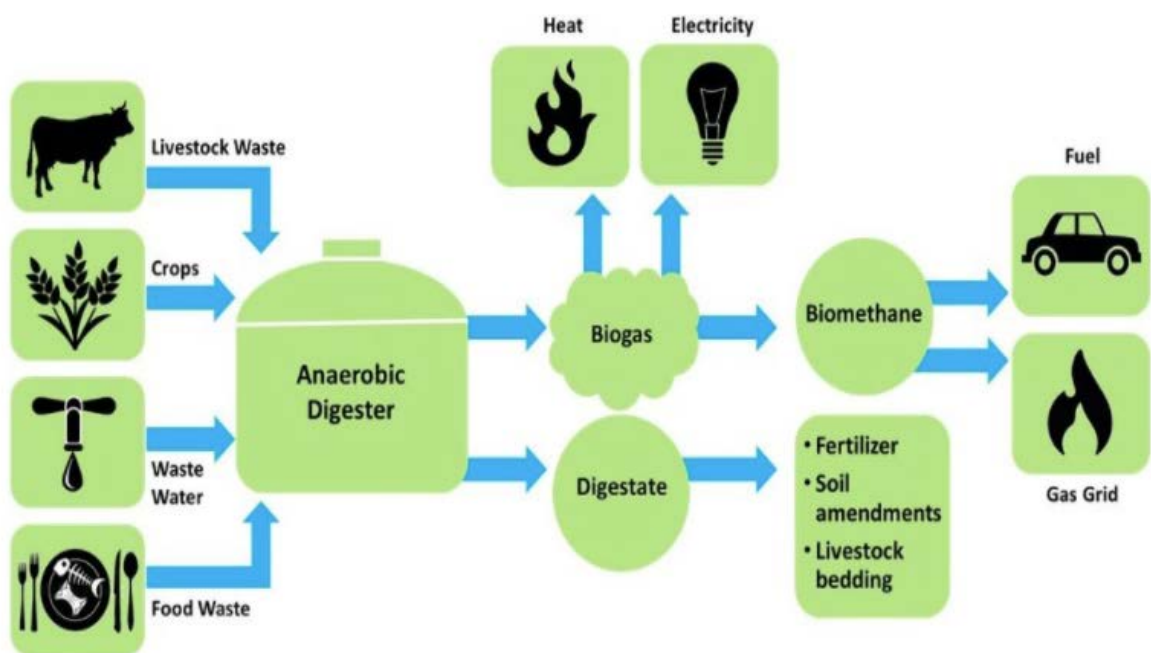
- Αεριζόμενος στατικός σωρός — τα οργανικά απόβλητα τοποθετούνται σε σωρούς οι οποίοι αερίζονται με την προώθηση αέρα μέσω των διάτρητων σωλήνων σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης — η κομποστοποίηση συμβαίνει σε διαφορετικούς αντιδραστήρες. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν συνήθως διατάξεις για τον αερισμό, την ανάμειξη, τον έλεγχο της θερμοκρασίας και τον περιορισμό των οσμών.
- Κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες (vermicomposting) — συνδυασμένη δραστηριότητα μικροοργανισμών και γαιοσκώληκων.
- Βιοανοργανοποίηση — Χρησιμοποιούνται θρεπτικά συστατικά με τη μορφή διαλυτών ανόργανων συστατικών τα οποία απορροφώνται από το ριζικό σύστημα από το γόνιμο και καλά ανοργανοποιημένο κομπόστ στο εδάφος.

### Βιομεθανοποίηση

Η αναερόβια (χωρίς οξυγόνο) αποδόμηση οργανικής ύλης (αναερόβια χώνευση), ονομάζεται επίσης βιομεθανοποίηση. Τα κύρια τελικά προϊόντα περιλαμβάνουν το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μικρές ποσότητες υδρόθειου (H<sub>2</sub>S), αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) και μερικά άλλα (Worell & Vesilind, 2012).

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να περιγραφεί σε τρεις φάσεις:

- Υδρόλυση, δηλαδή διάσπαση βακτηρίων υψηλών μοριακών οργανικών ενώσεων σε χαμηλές μοριακές ενώσεις (μονομερή).
- Οξεογένεση, τα οξεογόνα βακτήρια μετατρέπουν τα αποικοδομημένα προϊόντα σε πτητικά λιπαρά οξέα, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο.
- Μεθανογένεση, τα βακτήρια μετατρέπουν τα οργανικά οξέα και τις αλκοόλες σε οξικό οξύ και μοριακό υδρογόνο. Στο τέλος αυτής της φάσης, παράγεται μεθάνιο από οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα.



Εικόνα 17: Διαδικασία αναερόβιας χώνευσης (Graphic by Sara Tanigawa, EESI).



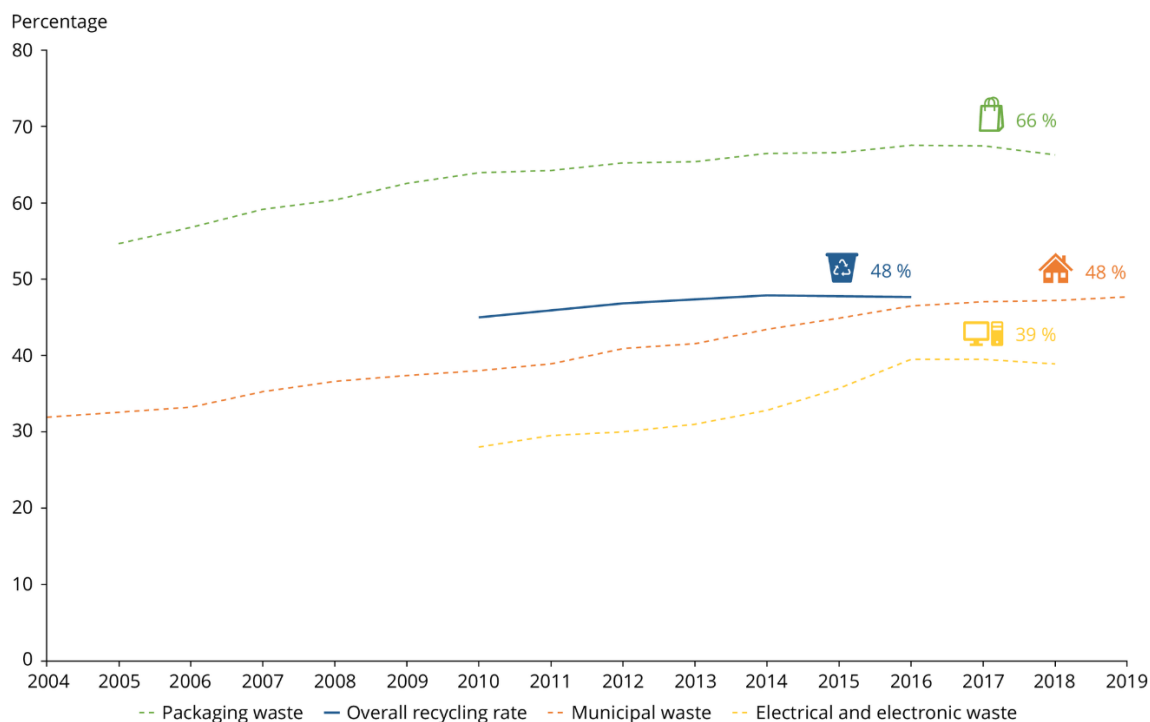
Η κύρια πρώτη ύλη για τη διαδικασία αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνει τα απόβλητα τροφίμων, τα ζωικά απόβλητα, τα υπολείμματα καλλιεργειών και την ιλύ καθαρισμού λυμάτων από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λειτουργίες συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP), ή το βιοαέριο μπορεί απλά να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μια μηχανή καύσης, κυψέλη καυσίμου ή αεριοστρόβιλο. Επιπλέον, μπορεί να μετασχηματιστεί σε Ανανεώσιμο Φυσικό Αέριο (RNG) ή βιομεθάνιο αφαιρώντας διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και άλλα ιχνοαέρια. Το RNG μπορεί να εγχυθεί στο υφιστάμενο δίκτυο φυσικού αερίου (συμπεριλαμβανομένων των αγωγών) και να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά με το συμβατικό φυσικό αέριο (EESI, 2017). Όπως και το συμβατικό φυσικό αέριο, το RNG μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων μετά τη μετατροπή του σε συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) ή υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG).

### 3.4.4 Ανακύκλωση

Η βασική αρχή της διαχείρισης αποβλήτων στην ΕΕ για την πρόληψη, την επαναχρησιμοποίηση ή την ανακύκλωση της παραγωγής ΑΣΑ, σύμφωνα με την αρχή της κυκλικής οικονομίας και για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων από τη χρήση πρωτογενών πόρων, με την αντικατάστασή τους με δευτερογενή υλικά (EOX, 2022).

Σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα, ως ανακύκλωση νοείται κάθε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μεταποιούνται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες, είτε για τους αρχικούς είτε για άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών, αλλά δεν περιλαμβάνει την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή για εργασίες επίχωσης. Στην Ευρώπη, η τάση ανακύκλωσης διαφορετικών ροών αποβλήτων αναπτύσσεται τα τελευταία 10 χρόνια (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Ποσοστά ανακύκλωσης στην Ευρώπη ανά ροή αποβλήτων (Πηγή: ΕΟΠ, 2022).

## 4 Κυκλική οικονομία

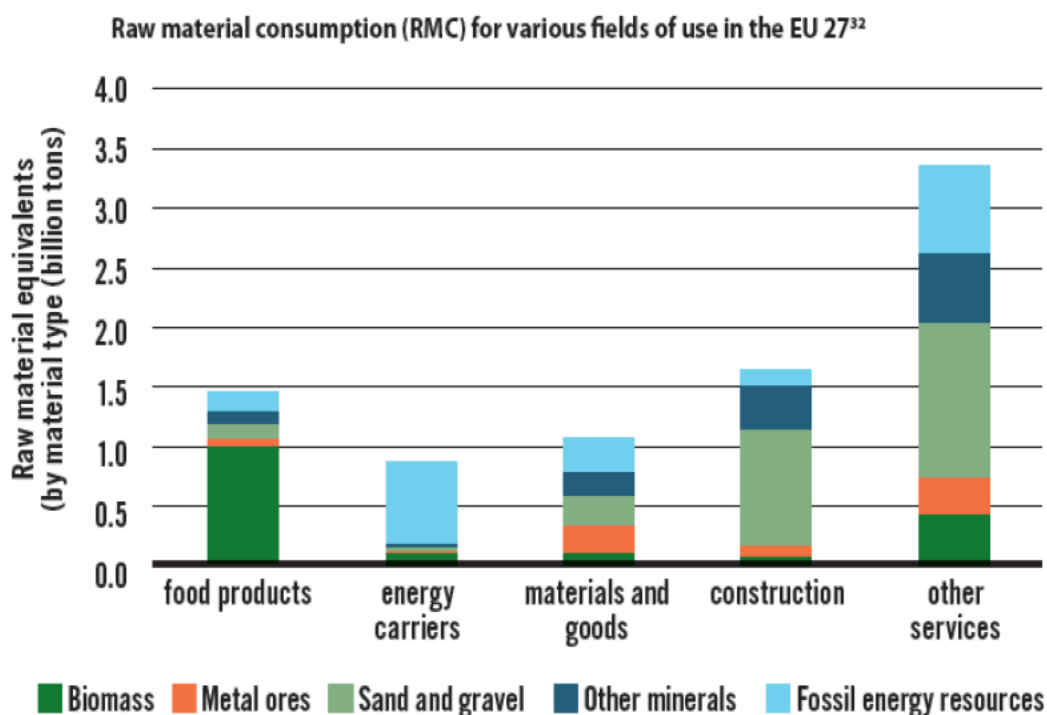
### 4.1 Το γραμμικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης

Η αύξηση του πληθυσμού επιβάλλει την τροποποίηση των συστημάτων διαχείρισης που εφαρμόζονταν μέχρι σήμερα. Ο πληθυσμός της ΕΕ έχει αυξηθεί κατά σχεδόν εκατό εκατομμύρια ανθρώπους από τη δεκαετία του 1970. Το γεγονός αυτό έχει άμεσες συνέπειες στην παραγωγή αποβλήτων: περισσότερος πληθυσμός, περισσότερα απόβλητα. Παρά τις προσπάθειες σε εθνικό και ενωσιακό επίπεδο, η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων δεν μειώνεται. Η παραγωγή αποβλήτων από όλες τις οικονομικές δραστηριότητες στην ΕΕ ανέρχεται σε 2,5 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως και κάθε πολίτης παράγει κατά μέσο όρο μισό τόνο αστικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με την οδηγία 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, τα αστικά απόβλητα αποτελούν περίπου το 7-10 % των συνολικών αποβλήτων που παράγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αυτή η ροή αποβλήτων είναι, ωστόσο, μεταξύ των πλέον σύνθετων στη διαχείριση, και ο τρόπος διαχείρισής τους παρέχει γενικά μια καλή ένδειξη της ποιότητας του συνολικού συστήματος διαχείρισης αποβλήτων μιας χώρας.

Η συνολική κατανάλωση πόρων της ΕΕ, μετρούμενη σε μάζα, παρουσιάζεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Κατανάλωση πρώτων υλών (RMC) (Πηγή: Ευρωπαϊκό Γραφείο Περιβάλλοντος 2012).

Η παραδοσιακή γραμμική οικονομία, βασισμένη στο "πάρε - φτιάξε - πέταξε" και στην κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και φθηνών πρώτων υλών που είναι εύκολο να προμηθευτεί κανείς, υπήρξε το θεμελιώδες στοιχείο της κοινωνικής και βιομηχανικής

ανάπτυξης και δημιουργήσε επίπεδα πρωτοφανούς ανάπτυξης στην ιστορία της ανθρωπότητας.

Το παραδοσιακό γραμμικό οικονομικό μοντέλο χαρακτηρίζεται κυρίως από:

- Φτηνούς και εύκολα προσβάσιμους πόρους.
- Τα ορυκτά καύσιμα.
- Εξόρυξη-παραγωγή-χρήση-διάθεση.
- Υπερεκμετάλλευση της πρώτης ύλης.
- Μεγάλο όγκο παραγόμενων αποβλήτων.



Εικόνα 20: Γραμμικό σύστημα οικονομίας (Πηγή: BIMgreen 2019).

Όσον αφορά στα περιβαλλοντικά ζητήματα, το γραμμικό μοντέλο έχει διαφορετικές επιπτώσεις που επηρεάζουν τους πόρους, την κατανάλωση και την παραγωγή.

**Σχετικά με τους πόρους:**

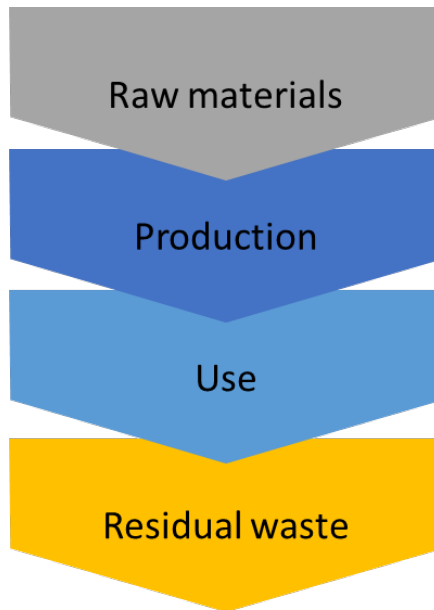
- Μεγάλες ποσότητες αποβλήτων.
- Παραδοσιακά συστήματα εκμετάλλευσης.
- Μία μόνο χρήση πρώτων υλών (μόνο μία φορά).
- Ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση χωρίς προηγούμενο σχεδιασμό.
- Υψηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Εξάντληση των φυσικών πόρων και των ορυκτών καυσίμων.

**Σχετικά με την κατανάλωση:**

- Ανεξέλεγκτη κατανάλωση.
- Δεν επαναχρησιμοποιείται το προϊόν.

**Σχετικά με την παραγωγή:**

- Χαμηλή απόδοση των πόρων και της ενέργειας.
- Παραδοσιακά επιχειρηματικά μοντέλα.



Εικόνα 21: Περιγραφή του γραμμικού οικονομικού μοντέλου (Πηγή: Κέντρο Τεχνολογίας Μαρμάρου και Πέτρας, 2018).

Η γραμμική οικονομία «πάρε- φτιάξε- απόρριψε» φτάνει στα όριά της:

- Βασίζεται σε μεγάλες ποσότητες φτηνών, εύκολα προσβάσιμων υλικών και ενέργειας.
- 2025: Αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός (1,1 δισ. ευρώ) και αυξανόμενη μεσαία τάξη (3 δισ.):
  - 24 % υψηλότερη κατανάλωση τροφίμων.
  - 47 % περισσότερη συσκευασία.
  - 41 % περισσότερα υλικά στο τέλος του κύκλου ζωής (απόβλητα).
- Οι προκλήσεις που σχετίζονται με τους πόρους για τις επιχειρήσεις και τις οικονομίες αυξάνονται επίσης:
  - Εντατικοποίηση της πίεσης στους φυσικούς πόρους.
  - Χαμηλή και κακή ανακύκλωση -> Δεν είναι δυνατόν να διατηρηθεί το απόθεμα των ποιοτικών υλικών.
  - Μεγαλύτερη μεταβλητότητα των τιμών-> υψηλότερη αβεβαιότητα των επιχειρηματικών επενδύσεων.
  - Οι τιμές των βασικών εμπορευμάτων αυξήθηκαν κατά 150 % κατά την περίοδο 2002-2010 (μέταλλα, τρόφιμα και μη τρόφιμα από τη γεωργία).

#### 4.2 Κυκλική οικονομία: έννοια, προέλευση και αρχές

Η πλανητική οικονομία έχει περιοριστεί σε ένα σύστημα στο οποίο τα πάντα, από την παραγωγική οικονομία και τη σύναψη συμβάσεων μέχρι τη ρύθμιση και τη συμπεριφορά των ανθρώπων, ευνοούν το γραμμικό μοντέλο παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης. Ωστόσο, αυτή η εμπλοκή είναι όλο και πιο αδύναμη λόγω της πίεσης που ασκείται από την εμφάνιση ισχυρών ανατρεπτικών τάσεων. Είναι αναγκαίο να αξιοποιηθεί αυτός ο ευνοϊκός συνδυασμός οικονομικών, τεχνολογικών και κοινωνικών παραγόντων για να επιταχυνθεί η μετάβαση σε μια κυκλική, αποκαταστατική και αναγεννητική οικονομία, στην οποία τα

προϊόντα, τα υποπροϊόντα και τα απόβλητα διατηρούνται στον παραγωγικό κύκλο όσο το δυνατόν περισσότερο, επιδιώκοντας την επαναχρησιμοποίησή τους.

Σε μια κυκλική οικονομία, οι κατασκευαστές σχεδιάζουν προϊόντα για να είναι επαναχρησιμοποιήσιμα. Για παράδειγμα, οι ηλεκτρικές συσκευές σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πιο εύκολο να επισκευαστούν. Τα προϊόντα και οι πρώτες ύλες επαναχρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο. Για παράδειγμα, με την ανακύκλωση πλαστικού σε σφαιρίδια για την παραγωγή νέων πλαστικών προϊόντων. Σε μια κυκλική οικονομία, αντιμετωπίζουμε υπεύθυνα το περιβάλλον μας. Για παράδειγμα, με την πρόληψη των απορριμμάτων στους δρόμους ή στο φυσικό περιβάλλον.

Μια κυκλική οικονομία λειτουργεί σύμφωνα με την προσέγγιση 3R (Reduce, Reuse & Recycle) της «μείωσης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης». Η εξόρυξη πόρων μειώνεται, όπου είναι δυνατόν, με τη χρήση λιγότερων υλικών, τα προϊόντα κατασκευάζονται από επαναχρησιμοποιημένα μέρη και υλικά και, μετά την απόρριψη ενός προϊόντος, τα υλικά και τα μέρη ανακυκλώνονται. Σε μια κυκλική οικονομία, η αξία δημιουργείται εστιάζοντας στη διατήρηση της αξίας. Διατηρώντας μια ροή υλικών όσο το δυνατόν πιο καθαρή κατά τη διάρκεια της πλήρους αξιακής αλυσίδας, διατηρείται η αξία αυτού του υλικού. Οι καθαρές ροές υλικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές για την παροχή μιας συγκεκριμένης λειτουργικότητας ή υπηρεσίας, με μία μόνο επένδυση.



Εικόνα 22: Περιγραφή του κυκλικού οικονομικού μοντέλου (Πηγή: Κέντρο Τεχνολογίας Μαρμάρου και Πέτρας, 2018).

Σε μια κυκλική οικονομία, η βιωσιμότητα βελτιώνεται με την ενίσχυση της οικολογικής αποτελεσματικότητας του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι παράλληλα με την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων του συστήματος, δίνεται έμφαση στη μεγιστοποίηση του θετικού αντίκτυπου του συστήματος με ριζικές καινοτομίες και αλλαγές του συστήματος.

Σε μια κυκλική οικονομία, η επαναχρησιμοποίηση προορίζεται να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερης ποιότητας. Ένα ρεύμα υπολειμμάτων θα πρέπει να επαναχρησιμοποιείται για μια λειτουργία που είναι ίση (λειτουργική επαναχρησιμοποίηση) ή υψηλότερης αξίας (ανακύκλωση) από την αρχική λειτουργία του ρεύματος υλικών.

Αυτό εξασφαλίζει ότι η αξία του υλικού διατηρείται ή βελτιώνεται. Για παράδειγμα, το σκυρόδεμα μπορεί να αλεθεί σε κόκκους που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν έναν παρόμοιο τοίχο όπως πριν, ή ακόμα και ένα ισχυρότερο οικοδομικό στοιχείο.

Κυκλική οικονομία — μια νέα έννοια η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από:

- Διάκριση μεταξύ τεχνικών και βιολογικών κύκλων.
- Ο κυκλικός σχεδιασμός.
  - Αρθρωτά προϊόντα, καθαρότερες ροές υλικών, ευκολότερη αποσυναρμολόγηση.
- Όλο και περισσότεροι άνθρωποι που ζουν σε αστικές περιοχές διευκολύνουν την κοινή χρήση, την επισκευή και την ανακύκλωση.
- Καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα: από την ιδιοκτησία στα συστήματα υπηρεσιών με βάση την απόδοση και την πρόσβαση.
- Βασικές ικανότητες και τεχνολογίες κατά μήκος των αντίστροφων κύκλων και των διαδοχικών κύκλων: Ετικέτες RFID για ευκολότερη ταυτοποίηση και ανακύκλωση· Τρισδιάστατη εκτύπωση για ανταλλακτικά.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της κυκλικής οικονομίας είναι τα εξής:

- Βελτίωση των οικονομικών επιδόσεων με παράλληλη μείωση της χρήσης των πόρων.
- Καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της χρήσης των πόρων.
- Μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.
- Επαναχρησιμοποίηση και επισκευή: εύρεση δεύτερης ζωής για τα υποβαθμισμένα προϊόντα.
- Ενεργητική χρήση αποβλήτων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν.
- Διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου για την επίτευξη ανθεκτικότητας μέσω της ποικιλομορφίας.
- Βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και ενθάρρυνση της χρήσης υλικών βιολογικής προέλευσης.

Υπάρχουν ορισμένες έννοιες που είναι απαραίτητες για την εφαρμογή του μοντέλου κυκλικής οικονομίας:

- **Οικολογική αντίληψη:** Εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και τις ενσωματώνει από τη σύλληψή του.
- **Βιομηχανική και εδαφική οικολογία:** Τη δημιουργία ενός τρόπου βιομηχανικής οργάνωσης στο ίδιο έδαφος που χαρακτηρίζεται από τη βελτιστοποιημένη διαχείριση των αποθεμάτων και των ροών υλικών, ενέργειας και υπηρεσιών.
- **Η οικονομία της «λειτουργικότητας»:** Προτίμηση της χρήσης αντί της ιδιοκτησίας, της πώλησης μιας υπηρεσίας αντί ενός αγαθού.
- **Η δεύτερη χρήση:** Επανεισαγωγή στο οικονομικό κύκλωμα των προϊόντων που δεν ανταποκρίνονται πλέον στις αρχικές ανάγκες των καταναλωτών.

- **Η επαναχρησιμοποίηση:** Επαναχρησιμοποίηση ορισμένων αποβλήτων ή τμημάτων τους, τα οποία μπορούν ακόμη να λειτουργήσουν για την ανάπτυξη νέων προϊόντων.
- **Επισκευή:** Αναζήτηση δεύτερης ζωής για τα κατεστραμμένα προϊόντα.
- **Ανακύκλωση:** Αξιοποίηση των υλικών που βρίσκονται στα απόβλητα.
- **Ενεργειακή αξιοποίηση:** Εκμετάλλευση των ενεργειακών αποβλήτων που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν.

Η κυκλική οικονομία προκύπτει από την ολοένα και πιο εμφανή έλλειψη πόρων, την αυξανόμενη ζήτηση πρώτων υλών και το γεγονός ότι ορισμένες από αυτές είναι πεπερασμένες, γεγονός που οδηγεί σε εξάρτηση από τρίτες χώρες.

Ένας άλλος λόγος για την άνοδο της κυκλικής οικονομίας είναι ο αντίκτυπος που έχει στο περιβάλλον. Η εξόρυξη και η χρήση πρώτων υλών σημαίνει αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και αύξηση των εκπομπών ρύπων.

Η κυκλική οικονομία είναι επωφελής τόσο για το περιβάλλον όσο και για τις κοινωνίες, καθώς αποτελεί τρόπο διατήρησης και βελτιστοποίησης της χρήσης των πόρων, προωθώντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

Οι αρχές και τα προβαλλόμενα αποτελέσματα μέσω της εφαρμογής μιας κυκλικής οικονομίας είναι:

- Διατήρηση των προϊόντων, των εξαρτημάτων και των υλικών στην υψηλότερη δυνατή χρησιμότητα και αξία τους πάντα.
- Έλεγχος αποθεμάτων πεπερασμένων υλικών και εξισορρόπηση των ροών ανανεώσιμων πόρων.
- Αποσύνδεση της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης από την κατανάλωση πεπερασμένων πόρων.

#### **Πλεονεκτήματα της κυκλικής οικονομίας:**

Η κυκλική οικονομία έχει πολλά πλεονεκτήματα. Η μείωση των αποβλήτων και η επαναχρησιμοποίηση υλικών έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν τις ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Οι καταναλωτές επωφελούνται επίσης από πιο ανθεκτικά προϊόντα, πράγμα που σημαίνει μεγαλύτερη εξοικονόμηση πόρων και υψηλότερη ποιότητα ζωής.

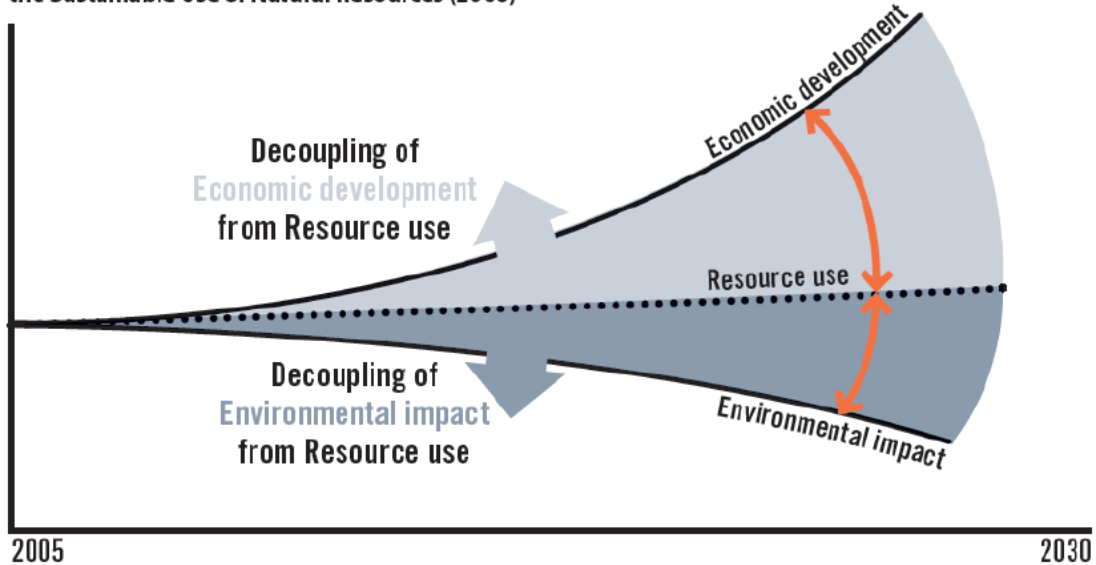
#### **Μειονεκτήματα της κυκλικής οικονομίας:**

Η επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας και η μείωση της χρήσης των πόρων με τη σειρά τους σημαίνει περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας και μείωση της παραγωγής αποβλήτων. Για πολλούς, αυτός ο αναπροσανατολισμός της παγκόσμιας παραγωγικότητας είναι δύσκολο να επιτευχθεί.

Ένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε είναι ότι ορισμένα προϊόντα είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν, επειδή εκείνοι που τα σχεδιάζουν δεν εκτιμούν τη διαχείριση των αποβλήτων. Από την άλλη πλευρά, αυτό το μοντέλο απαιτεί έντονη συνεργασία μεταξύ των εταιρειών, την οποία πολλές εταιρείες δεν είναι πρόθυμες να αναλάβουν.

Αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης, της κατανάλωσης πόρων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων:

The two-level 'decoupling' addressed by the European Commission's Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources (2006)



Εικόνα 23: Αποσύνδεση την οποία εξετάζει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Πηγή: Ευρωπαϊκό Γραφείο Περιβάλλοντος, 2015).

Μία από τις βασικές αρχές που διέπουν την κυκλική οικονομία είναι ο **σχεδιασμός**. Σχεδιασμός σε όλα τα στάδια ή/και πτυχές του κύκλου ζωής των προϊόντων.

**Σχεδιασμός και υλικά:**

- Αποφυγή βαρέων μετάλλων, όπως κάδμιο, μόλυβδο και επικίνδυνες ουσίες (RoHS).
- Χρήση ανακυκλωμένων υλικών (μέταλλα κ.λπ.).
- Δυνατότητα ανακύκλωσης και ανάκτησης.
- Μείωση του βάρους (αποϋλοποίηση).

**Σχεδιασμός, ανθεκτικότητα και επισκευή:**

- Αρθρωτός σχεδιασμός, τυποποιημένα εξαρτήματα, εύκολη επισκευή και αναβάθμιση.
- Ευκολία αποσυναρμολόγησης με κοινά εργαλεία.
- Λογαριασμός υλικών (Bill of Material, BoM).
- Μονοϋλικά και λίγα διαφορετικά υλικά.

**Σχεδιασμός για το τέλος του κύκλου ζωής:**

- Αποφυγή ουσιών που καθιστούν την ανακύκλωση δαπανηρή/προβληματική.
- Επιστροφή προϊόντων + οργάνωση των ρευμάτων αποβλήτων για την αποφυγή του down-cycling (ανακύκλωση απορριμμάτων όπου το ανακυκλωμένο υλικό είναι χαμηλότερης ποιότητας και λειτουργικότητας από το αρχικό υλικό).
- Επαναχρησιμοποίηση συστατικών στοιχείων/ εξαρτημάτων.



## 4.3 Προκλήσεις και οφέλη των κυκλικών συστημάτων

### 4.3.1 Προσκλήσεις

Επί του παρόντος, γίνεται όλο και πιο σαφές ότι η γραμμική οικονομία δεν είναι πλέον ένα βιώσιμο μοντέλο εντός των ορίων του πλανήτη μας. Τα μειονεκτήματα της γραμμικής οικονομίας σκιαγραφούν τον επείγοντα χαρακτήρα ενός εναλλακτικού μοντέλου και μπορούν να ερμηνευθούν ως ευκαιρίες για την κυκλική οικονομία. Τα κύρια μειονεκτήματα μιας γραμμικής οικονομίας βρίσκονται στην έλλειψη λύσεων για την αυξανόμενη έλλειψη υλικών, την αυξημένη ρύπανση, την αυξημένη ζήτηση υλικών και την αυξανόμενη ζήτηση για υπεύθυνα προϊόντα.

Σε μια γραμμική οικονομία, η αβεβαιότητα σχετικά με τη διαθεσιμότητα υλικών αυξάνεται. Αυτή η αβεβαιότητα βασίζεται στο γεγονός ότι ο πλανήτης έχει έναν πεπερασμένο αριθμό υλικών και η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από διάφορους μηχανισμούς. Η αβεβαιότητα αυτή συμπληρώνεται από την αύξηση των διακυμάνσεων των τιμών, την ανάπτυξη των βιομηχανιών που εξαρτώνται από κρίσιμα υλικά, τη διασύνδεση προϊόντων και διαδικασιών και τις γεωπολιτικές εξελίξεις.

#### *Υποβάθμιση των οικοσυστημάτων*

Το γραμμικό μοντέλο της «εξόρυξης-παραγωγής-απόρριψης» οδηγεί στη δημιουργία αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής και λόγω της διάθεσης των προϊόντων παράγονται μεγάλες ροές υλικών που δεν χρησιμοποιούνται αλλά καίγονται ή αποτίθενται σε χωματερές απορριμμάτων. Αυτό θα οδηγήσει τελικά σε περίσσεια άχρηστων υλικών, που υπερφορτώνουν τα οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα τελικά το οικοσύστημα να παρεμποδίζεται στην παροχή βασικών του υπηρεσιών (όπως η παροχή τροφής, δομικών υλικών και καταφυγίου, καθώς και η επεξεργασία των θρεπτικών συστατικών).

#### *Μείωση της διάρκειας ζωής των προϊόντων*

Τα τελευταία χρόνια, η ζωή των προϊόντων μειώθηκε δραστικά. Αυτή είναι μια από τις αιτίες πίσω από την αυξανόμενη κατανάλωση υλικών στον δυτικό κόσμο. Η διάρκεια ζωής των προϊόντων εξακολουθεί να μειώνεται, μέσω μιας διαδικασίας θετικής ανατροφοδότησης: Οι καταναλωτές θέλουν πιο συχνά νέα προϊόντα και χρησιμοποιούν τα «παλαιά» προϊόντα τους για μικρότερο χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάγκης για ποιοτικά προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μακροπρόθεσμα, γεγονός που ενθαρρύνει τους καταναλωτές να αγοράζουν νέα προϊόντα ακόμη πιο γρήγορα.

### 4.3.2 Τα οφέλη

Η κυκλική οικονομία είναι ένα οικονομικό σύστημα στο οποίο τα προϊόντα και οι υπηρεσίες αποτελούν αντικείμενο συναλλαγών σε κλειστούς βρόχους ή «κύκλους». Μια κυκλική οικονομία χαρακτηρίζεται ως μια οικονομία, η οποία είναι αναγεννητική, εκ σχεδιασμού, με στόχο να διατηρήσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη την αξία των προϊόντων, των εξαρτημάτων και των υλικών. Αυτό σημαίνει ότι στόχος θα πρέπει να είναι η δημιουργία ενός συστήματος που θα επιτρέπει τη μεγάλη διάρκεια ζωής, τη βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση, ανακαίνιση, ανακατασκευή και ανακύκλωση προϊόντων και υλικών.

#### *Κλείσιμο βρόχων*

Στην κυκλική οικονομία, οι κύκλοι των υλικών κλείνουν ακολουθώντας το παράδειγμα των φυσικών οικοσυστημάτων: Οι τοξικές ουσίες εξαλείφονται, δεν υπάρχουν απόβλητα επειδή

όλα τα υπολειμματικά ρεύματα είναι πολύτιμα ως πόροι, τα προϊόντα λαμβάνονται πίσω μετά τη χρήση για επισκευή και ανακατασκευή για την επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων για δεύτερη, τρίτη ή τέταρτη φορά και τα υπολειμματικά ρεύματα διαχωρίζονται σε έναν βιολογικό και τεχνικό κύκλο.

### *Συστημική σκέψη*

Η κυκλική οικονομία απαιτεί συστημική σκέψη. Όλοι οι παράγοντες (επιχειρήσεις, πρόσωπα, οργανισμοί) αποτελούν μέρος ενός δικτύου στο οποίο οι ενέργειες ενός παράγοντα επηρεάζουν άλλους παράγοντες. Στην κυκλική οικονομία, αυτό λαμβάνεται υπόψη στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβάνοντας τόσο τις βραχυπρόθεσμες όσο και τις μακροπρόθεσμες συνέπειες μιας απόφασης, λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο της πλήρους αλυσίδας αξίας και στοχεύοντας στη δημιουργία ενός πιο ανθεκτικού συστήματος, το οποίο είναι αποτελεσματικό σε κάθε κλίμακα.

### *Αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης*

Ο στόχος μιας κυκλικής οικονομίας είναι να αποσυνδέσει την οικονομική ανάπτυξη από την κατανάλωση πόρων, εστιάζοντας στη διατήρηση της αξίας. Για να διασφαλίσουμε τα οικοσυστήματα και το φυσικό κεφάλαιο στα οποία βασιζόμαστε, δεν αρκεί μόνο το χρηματοοικονομικό κεφάλαιο.

Το κοινωνικό κεφάλαιο και το φυσικό κεφάλαιο διαδραματίζουν επίσης ρόλο στη σταθερότητα των συστημάτων μας. Στην κυκλική οικονομία, οι τιμές αυτές αντικατοπτρίζονται στο κόστος των προϊόντων και των υπηρεσιών. Η ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδοσία αυτού του κύκλου θα πρέπει να είναι ανανεώσιμη από τη φύση της.

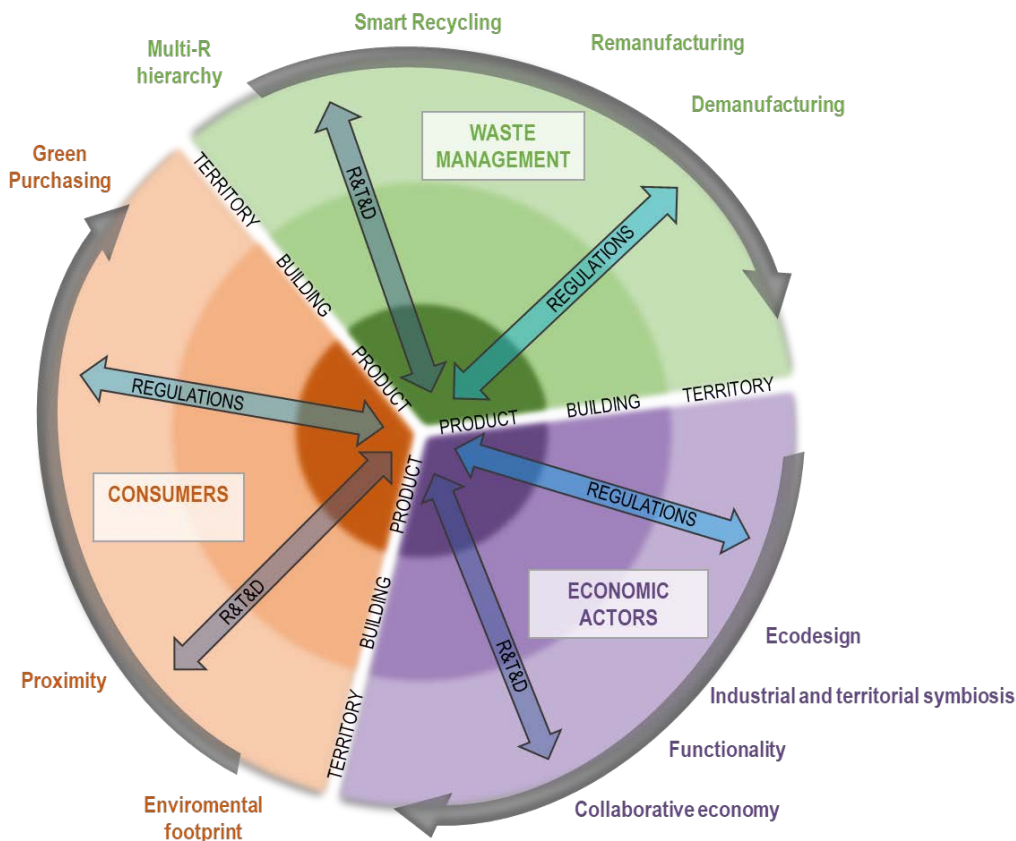
Προτείνονται διάφορες στρατηγικές για την επίτευξη της μετάβασης από τη γραμμική στην κυκλική οικονομία:

#### **Οριζόντιες στρατηγικές**

- Κανονισμοί.
- Έρευνα & Ανάπτυξη.

#### **Άμεσες στρατηγικές**

- Διαχείριση αποβλήτων.
- Οικονομικοί παράγοντες.
- Καταναλωτές.



Εικόνα 24: Συνοπτική παρουσίαση της μετάβασης στην κυκλική οικονομία (Πηγή: Carrarós-Pérez, D., 2017).

#### 4.3.3 Οριζόντιες στρατηγικές

Το 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία (Δεκέμβριος 2015) με στόχο να επισημάνει τα διάφορα μέτρα (μέχρι 54 συνολικά) για τα οποία η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι απαιτείται δράση τα επόμενα 5 χρόνια για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Προς αυτή την κατεύθυνση, πέντε τομείς προσδιορίστηκαν ως προτεραιότητες από την Επιτροπή (πλαστικά, απόβλητα τροφίμων, κρίσιμες πρώτες ύλες, κατασκευές και κατεδαφίσεις, βιομάζα και προϊόντα βιολογικής προέλευσης), οι οποίοι εξετάστηκαν μέσω των ακόλουθων ανακοινώσεων:

— ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ.

Προς μια κυκλική οικονομία: Πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων για την Ευρώπη/\* COM/2014/0398 τελικό \*/

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398>

— ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ (COM/2015/0614 τελικό).

Κλείσιμο του κύκλου — Ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614&qid=1524124780099>

— ΕΚΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ (COM/2017/033 final).

Σχετικά με την εφαρμογή της δράσης για την κυκλική οικονομία

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0033&qid=1524125695611>

— ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ. ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΑΡΙΘ. 29, 2018. ΠΛΑΙΣΙΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ· ΑΡΙΘ. 29.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A29%3AFIN>

— ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ. ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΑΡΙΘ. 98, 2020. ΕΝΑ ΝΕΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΓΙΑ ΜΙΑ ΚΑΘΑΡΟΤΕΡΗ ΚΑΙ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΕΡΗ ΕΥΡΩΠΗ.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

Επίσης, πολυάριθμες ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες προωθούν την κυκλικότητα μέσω προσκλήσεων υποβολής προτάσεων και προγραμμάτων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε το νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία (CEAP) τον Μάρτιο του 2020. Αποτελεί ένα από τα κύρια δομικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, το νέο θεματολόγιο της Ευρώπης για βιώσιμη ανάπτυξη. Η μετάβαση της ΕΕ σε μια κυκλική οικονομία θα μειώσει την πίεση στους φυσικούς πόρους και θα δημιουργήσει βιώσιμη ανάπτυξη και θέσεις εργασίας. Αποτελεί επίσης προϋπόθεση για την επίτευξη του στόχου της ΕΕ για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 και για την ανάσχεση της απώλειας βιοποικιλότητας.

Το νέο σχέδιο δράσης ανακοινώνει πρωτοβουλίες καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των προϊόντων. Στοχεύει στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται τα προϊόντα, προωθεί τις διαδικασίες κυκλικής οικονομίας, ενθαρρύνει τη βιώσιμη κατανάλωση και αποσκοπεί στη διασφάλιση της πρόληψης των αποβλήτων και της διατήρησης των πόρων που χρησιμοποιούνται στην οικονομία της ΕΕ για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το σχέδιο δράσης εισάγει νομοθετικά και μη νομοθετικά μέτρα που στοχεύουν σε τομείς στους οποίους η δράση σε επίπεδο ΕΕ αποφέρει πραγματική προστιθέμενη αξία.

#### 4.3.4 Άμεσες στρατηγικές

Μεταξύ όλων των παραγόντων που εμπλέκονται στη διαδικασία, προσδιορίζονται τρεις κατηγορίες κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων:

- Μοντέλα κυκλικής παραγωγής.
- Μοντέλα κυκλικής καινοτομίας.
- Μοντέλα κυκλικής χρήσης.

##### 4.3.4.1 Διαχείριση αποβλήτων

###### Μοντέλα κυκλικής παραγωγής

Αυτά τα επιχειρηματικά μοντέλα επικεντρώνονται στο παραγόμενο προϊόν και την προστιθέμενη αξία της φάσης μετά τη χρήση ενός προϊόντος. Σε αυτά τα επιχειρηματικά μοντέλα, τα έσοδα δημιουργούνται μέσω της μετατροπής προϊόντων μετά τη χρήση σε νέα προϊόντα ή χρήσιμους πόρους για την προσθήκη αξίας, τη μείωση του κόστους ή τη μείωση

των αποβλήτων. Η ανάπτυξη της αντίστροφης εφοδιαστικής είναι απαραίτητη για αυτό το μοντέλο.

Παραδείγματα επιχειρηματικών μοντέλων σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν:

- Προμηθευτής ανακτηθέντων υλικών: Πωλεί ανακτημένα υλικά και εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται αντί για παρθένα ή ανακυκλωμένα υλικά.
- Ανακαίνιση και συντήρηση: Ανακαινίζει και συντηρεί μεταχειρισμένα προϊόντα για να τα πουλήσει.
- Εγκατάσταση ανακύκλωσης: Μετατρέπει τα απόβλητα σε πρώτες ύλες. Μπορούν να δημιουργηθούν πρόσθετα έσοδα μέσω πρωτοποριακών εργασιών στην τεχνολογία ανακύκλωσης.
- Πάροχος ανάκτησης: Παρέχει συστήματα ανάκτησης και υπηρεσίες συλλογής για την ανάκτηση χρήσιμων πόρων από απορριφθέντα προϊόντα ή υποπροϊόντα.
- Υποστήριξη κύκλου ζωής: Πώληση αναλώσιμων, ανταλλακτικών και πρόσθετων για την υποστήριξη του κύκλου ζωής των προϊόντων μακράς διάρκειας.

#### 4.3.4.2 Οικονομικοί παράγοντες

##### Μοντέλα Κυκλικής Καινοτομίας

Τα μοντέλα κυκλικής καινοτομίας επικεντρώνονται στη φάση ανάπτυξης ενός προϊόντος. Τα προϊόντα έχουν σχεδιαστεί για να διαρκούν περισσότερο και είναι εύκολο να συντηρηθούν, να επισκευαστούν, να αναβαθμιστούν, να ανακαινιστούν, να ανακατασκευαστούν ή να ανακυκλωθούν. Επιπλέον, αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται νέα υλικά, π.χ. βιολογικά ή πλήρως ανακυκλώσιμα υλικά.

Παραδείγματα επιχειρηματικών μοντέλων σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν:

- Σχεδιασμός προϊόντων: Παρέχει προϊόντα που έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχουν μεγάλη και χρήσιμη διάρκεια ζωής ή/και να είναι εύκολο να συντηρηθούν, να επισκευαστούν, να αναβαθμιστούν, να ανακατασκευαστούν ή να αναπαραχθούν.
- Σχεδιασμός διαδικασίας: Αναπτύσσει διεργασίες που αυξάνουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και ανακυκλωσιμότητας βιομηχανικών και άλλων προϊόντων, υποπροϊόντων και ροών αποβλήτων.
- Κυκλικές προμήθειες: Παρέχει πρώτες ύλες όπως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, λιγότερο εντατικά σε πόρους, πλήρως ανακυκλώσιμα ή βιολογικής προέλευσης υλικά.

#### 4.3.4.3 Καταναλωτές

##### Μοντέλα κυκλικής χρήσης

Αυτά τα επιχειρηματικά μοντέλα επικεντρώνονται στη φάση της χρήσης με τη βέλτιστη χρήση του προϊόντος και τη διατήρηση της προστιθέμενης αξίας. Αυτά τα επιχειρηματικά μοντέλα καθιστούν δυνατή τη διατήρηση της κυριότητας του προϊόντος (π.χ. με την συντήρηση ενός προϊόντος και όχι με την πώλησή του) και την ανάληψη ευθύνης για το προϊόν καθ' όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του (π.χ. μέσω υπηρεσιών συντήρησης ή προσθέτων για την παράταση της διάρκειας ζωής ενός προϊόντος).

Παραδείγματα επιχειρηματικών μοντέλων σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν:

- Προϊόν ως υπηρεσία: Παρέχει την απόδοση του προϊόντος και όχι το ίδιο το προϊόν μέσω ενός συνδυασμού προϊόντος και υπηρεσιών. Η κυριότητα του προϊόντος διατηρείται από τον πάροχο υπηρεσιών.

- Πώληση και επαναγορά: Πώληση ενός προϊόντος με δεδομένο ότι θα αγοραστεί πίσω μετά από μια περίοδο.
- Πλατφόρμες κοινής χρήσης (πάροχος πρόσβασης): Επιτρέπει αυξημένο ποσοστό χρησιμοποίησης των προϊόντων, επιτρέποντας ή προσφέροντας κοινή χρήση, πρόσβαση ή ιδιοκτησία.
- Επέκταση διάρκειας ζωής: Επεκτείνει την ωφέλιμη διάρκεια ζωής των προϊόντων και των εξαρτημάτων μέσω της επισκευής, συντήρησης ή αναβάθμισης.
- Εγκατάσταση ιχνηλάτησης: Παροχή υπηρεσιών για τη διευκόλυνση της ιχνηλάτησης, της εμπορίας και του εμπορίου δευτερογενών πρώτων υλών.

#### 4.3.4.4 Τελικοί στόχοι

Οι ακόλουθες δράσεις πρόκειται να προωθηθούν προς τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία:

- Προώθηση στη **μείωση της χρήσης μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων**, επαναχρησιμοποιώντας στον κύκλο παραγωγής τα υλικά που περιέχονται στα απόβλητα ως δευτερογενείς πρώτες ύλες, εφόσον διασφαλίζεται η υγεία των ανθρώπων και η προστασία του περιβάλλοντος..
- Προώθηση της **ανάλυσης του κύκλου ζωής** των προϊόντων και της ενσωμάτωσης κριτηρίων οικολογικού σχεδιασμού, μειώνοντας την εισαγωγή επιβλαβών ουσιών κατά την κατασκευή τους, διευκολύνοντας τη δυνατότητα επισκευής των παραγόμενων προϊόντων, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής τους και επιτρέποντας την αξιοποίησή τους στο τέλος αυτής.
- Ενθάρρυνση της **αποτελεσματικής εφαρμογής της αρχής της ιεράρχησης των αποβλήτων**, προώθηση της πρόληψης της παραγωγής τους, ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης, ενίσχυση της ανακύκλωσης και προώθηση της ιχνηλασιμότητάς τους.
- Προώθηση κατευθυντήριων γραμμών που **αυξάνουν την καινοτομία** και τη **συνολική αποτελεσματικότητα των διαδικασιών παραγωγής**, μέσω της θέσπισης μέτρων όπως η εφαρμογή συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης.
- Προώθηση καινοτόμων μορφών **βιώσιμης κατανάλωσης**, συμπεριλαμβανομένων βιώσιμων προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και της χρήσης ψηφιακών υποδομών και υπηρεσιών.
- Προώθηση ενός μοντέλου **υπεύθυνης κατανάλωσης**, με βάση τη διαφάνεια των πληροφοριών σχετικά με τα χαρακτηριστικά των προϊόντων και των υπηρεσιών, τη διάρκειά τους και την ενεργειακή τους απόδοση, με τη χρήση μέτρων όπως η χρήση του οικολογικού σήματος.
- Διευκόλυνση και προώθηση της δημιουργίας κατάλληλων διαύλων για τη διευκόλυνση της **ανταλλαγής πληροφοριών και του** συντονισμού με τις διοικήσεις, την επιστημονική και τεχνολογική κοινότητα και τους οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες, για τη δημιουργία συνεργειών που ευνοούν τη μετάβαση.
- Διάδοση της **σημασίας της μετάβασης από τη γραμμική οικονομία σε μια κυκλική οικονομία**, προωθώντας τη διαφάνεια των διαδικασιών, την ευαισθητοποίηση και ευαισθητοποίηση των πολιτών.

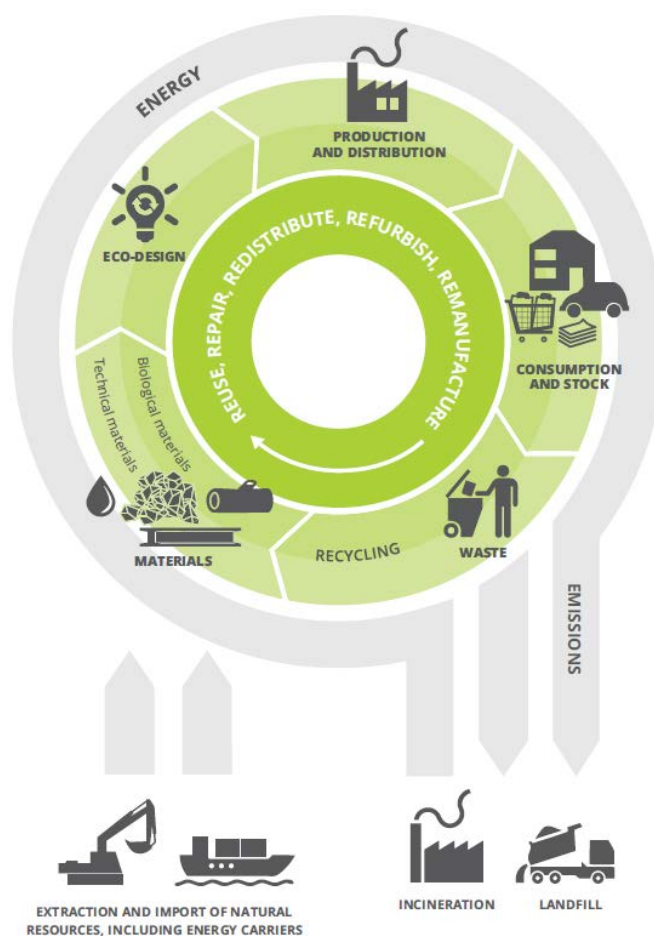
- Ενθάρρυνση της χρήσης **κοινών, διαφανών και προσβάσιμων δεικτών** που επιτρέπουν τη γνώση του βαθμού υλοποίησης της κυκλικής οικονομίας.
- Προώθηση της ενσωμάτωσης **δεικτών κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων** που προκύπτουν από τη λειτουργία των επιχειρήσεων, ώστε να αξιολογηθούν πέρα από τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από αυτές, λόγω της δέσμευσής τους στην κυκλική οικονομία.

## 5 Κυκλική οικονομία και διαχείριση ΑΣΑ

### 5.1 Διαχείριση ΑΣΑ στην κυκλική οικονομία

Μέχρι στιγμής, το σημερινό οικονομικό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης παραμένει γραμμικό, δηλαδή οι πόροι εξορύσσονται, μεταποιούνται, χρησιμοποιούνται και στο τέλος της ζωής τους, ως επί το πλείστον, απορρίπτονται συνήθως μέσω αποτέφρωσης ή υγειονομικής ταφής. Κατά συνέπεια, τα υλικά αποσύρονται από την κυκλοφορία και καταστρέφονται, ακόμη και αν η θερμική χρήση παράγει τουλάχιστον ενέργεια (Hollins et al., 2017). Στο πλαίσιο αυτό, η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) αποτελεί σημαντικό μέρος του σχεδίου της ΕΕ για τη μετάβαση προς μια κυκλική οικονομία (ΚΟ).

Η βασική πρόκληση στην ΚΟ είναι να δημιουργηθεί η αντίληψη ότι τα απόβλητα δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως «πρόβλημα» αλλά ως «πολύτιμος πόρος». Η θεμελιώδης ιδέα είναι να διατηρηθούν τα υλικά και τα προϊόντα για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο σύστημα παραγωγής και κατανάλωσης με βάση την αρχή «...μοίρασμα, μίσθωση, επαναχρησιμοποίηση, επισκευή, ανακαίνιση και ανακύκλωση, σε (σχεδόν) κλειστό βρόχο...» (Bouguignon, 2016). Για να επιτευχθεί αυτή η προοπτική, η διαχείριση των ΑΣΑ στην ΚΟ θα πρέπει να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος ενός κυκλικού μοντέλου παραγωγής και κατανάλωσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25: Ένα απλοποιημένο μοντέλο κυκλικής οικονομίας για τα υλικά και την ενέργεια (Πηγή: ΕΟΠ, 2017).



Σε αρμονία με τις αρχές της ΚΟ, το θεμέλιο της διαχείρισης αποβλήτων της ΕΕ, σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα, είναι η «ιεράρχηση των αποβλήτων» πέντε σταδίων, η οποία θεσπίζει μια σειρά προτίμησης για τη διαχείριση και τη διάθεση των αποβλήτων.

Η πρόληψη των αποβλήτων έχει καθιερωθεί ως προτεραιότητα, με πρώτη προτεραιότητα τη μείωση, μέσω της ιεράρχησης των αποβλήτων, ενώ η παράταση της διάρκειας ζωής των πολύτιμων πόρων, που ακολουθεί, μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της επισκευής, της ανακαίνισης ή της ανακατασκευής είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της ΚΟ. Θα πρέπει να ξεπεραστεί ο εγκιβωτισμός σε κατασκευές, ιδίως εάν η ζήτηση για παραγωγή ενέργειας και ανακύκλωση ανταγωνίζεται την προτεραιότητα της επαναχρησιμοποίησης, της επισκευής και της ανακαίνισης (Hollins et al., 2017). Ωστόσο, η ΚΟ δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς λειτουργικές αγορές δευτερογενών υλικών, αν και σήμερα τα παρθένα υλικά σε πολλές περιπτώσεις είναι φθηνότερα από τα ανακτηθέντα (Silva Filho et al., 2021). Η εισαγωγή της ιεράρχησης των αποβλήτων μετατόπισε τη διαχείριση των αποβλήτων από την επεξεργασία υλικών μεγάλου όγκου και χαμηλής αξίας σε υλικά χαμηλού όγκου και υψηλής αξίας (Berg et al., 2020).

## 5.2 Πολιτικές και εργαλεία στη διαχείριση των ΑΣΑ προς την κατεύθυνση της ΚΟ

Με βάση τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν από το 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, στις 11 Μαρτίου 2020, το οποίο περιλαμβάνει μέτρα που καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο, από την παραγωγή και την κατανάλωση έως τη διαχείριση των αποβλήτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών. Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, δίνεται έμφαση στην πλήρη αποφυγή των αποβλήτων και στη μετατροπή τους σε μια υψηλής ποιότητας και εύρυθμα λειτουργούσα αγορά δευτερογενών πρώτων υλών. Προς αυτή την κατεύθυνση, το σχέδιο δράσης καθορίζει ένα εναρμονισμένο μοντέλο σε επίπεδο ΕΕ για τη χωριστή συλλογή αποβλήτων και την επισήμανση και προτείνει δράσεις για την ελαχιστοποίηση των εξαγωγών αποβλήτων της ΕΕ και την αντιμετώπιση των παράνομων μεταφορών.

Το σχέδιο δράσης περιλαμβάνει τέσσερις νομοθετικές δράσεις για την εισαγωγή νέων στόχων διαχείρισης αποβλήτων όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την υγειονομική ταφή, την ενίσχυση των διατάξεων για την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων και τη διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού, και τον εξορθολογισμό των ορισμών, των υποχρεώσεων υποβολής εκθέσεων και των μεθόδων υπολογισμού των στόχων.

Οι σημαντικότερες και πιο πρόσφατες νομοθετικές πράξεις<sup>13</sup> που σχετίζονται με τη διαχείριση των ΑΣΑ και την ΚΟ είναι οι ακόλουθες:

---

<sup>13</sup> Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ των οδηγιών, των κανονισμών, των αποφάσεων και των συστάσεων της ΕΕ ([https://europa.eu/european-union/law/legal-acts\\_en](https://europa.eu/european-union/law/legal-acts_en)). Το μεγαλύτερο μέρος της νομοθεσίας της ΕΕ όσον αφορά την κυκλική οικονομία και τα ΑΣΑ αποτελείται από οδηγίες και παρέχει μεγάλο περιθώριο στα εθνικά κράτη μέλη της ΕΕ να εκπληρώσουν τον στόχο και την ταχύτητα εφαρμογής, αφήνοντας τη «μεταφορά» στους εθνικούς νομοθέτες.

- Com(2020) 798/3, Πρόταση κανονισμού του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τις μπαταρίες και τα απόβλητα μπαταριών, την κατάργηση της οδηγίας 2006/66/EK και την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΕ) 2019/1020
- COM/2020/98 final, Νέο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία για μια καθαρότερη και πιο ανταγωνιστική Ευρώπη, Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών
- Κατ' εξουσιοδότηση κανονισμός (ΕΕ) 2020/2174 της Επιτροπής, της 19ης Οκτωβρίου 2020, για την τροποποίηση των παραρτημάτων ΙΓ, ΙΙΙ, ΙΙΙΑ, ΙV, V, VII και VIII του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1013/2006 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τις μεταφορές αποβλήτων
- Οδηγία 2019/904 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 5ης Ιουνίου 2019, για τη μείωση των επιπτώσεων ορισμένων πλαστικών προϊόντων στο περιβάλλον
- Οδηγία 2018/852 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 94/62/EK για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας
- Οδηγία 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 2008/98/EK για τα απόβλητα
- Οδηγία 2018/850 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/31/EK περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων
- Οδηγία 2018/849 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, για την τροποποίηση των οδηγιών 2000/53/EK για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, 2006/66/EK σχετικά με τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές και τα απόβλητα ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών, και 2012/19/ΕΕ σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού
- Com(2017) 34 final, Ο ρόλος της ενέργειας από απόβλητα στην κυκλική οικονομία, Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών

Με βάση τις τελευταίες οδηγίες και τις τροποποιήσεις τους, έχει καθοριστεί το ακόλουθο χρονοδιάγραμμα:

- Χωριστή συλλογή βιολογικών αποβλήτων έως τις 31/12/2023 και κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και επικίνδυνων αποβλήτων από νοικοκυριά έως την 1/1/2025
- Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση αστικών αποβλήτων σε ποσοστό τουλάχιστον 55 % κατά βάρος έως το 2025, 60 % έως το 2030 και 65 % έως το 2035, αντίστοιχα
- Ανακύκλωση απορριμμάτων συσκευασίας σε ποσοστό τουλάχιστον 65 % έως τις 31 Δεκεμβρίου 2025 και 70 % έως τις 31/12/2030
- Μείωση της υγειονομικής ταφής στο 10 % κατ' ανώτατο όριο των παραγόμενων αστικών αποβλήτων έως το 2035
- Απαγόρευση της υγειονομικής ταφής αποβλήτων κατάλληλων για ανακύκλωση με ισχύ από το 2030
- Ποσοστό ανακύκλωσης ανά υλικό έως το 2025: Πλαστικά: 50 %· Ξύλο: 25 %· Σιδηρούχα μέταλλα: 70 %· Αλουμίνιο: 50 %· Γυαλί: 70 %· Χαρτί και χαρτόνι: 75 %

- Ποσοστό ανακύκλωσης ανά υλικό έως το 2030: Πλαστικά: 55 %, Ξύλο: 30 %, Σιδηρούχα μέταλλα: 80 %, Αλουμίνιο: 60 %, Γυαλί: 75 %, Χαρτί και χαρτόνι: 85 %
- Χωριστή συλλογή πλαστικών φιαλών έως 3 lt, ώστε να επιτευχθεί 90 % ανακύκλωση έως το 2029 με ενδιάμεσο στόχο το 77 % έως το 2025. Οι φιάλες αυτές θα πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον 25 % ανακυκλωμένα πλαστικά ως πρώτη ύλη έως το 2025 (για φιάλες PET) και 30 % έως το 2030 (για όλες τις φιάλες).

Για την επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα σε ευρωπαϊκό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

Πίνακας 1: Μέσα πολιτικής που χρησιμοποιούνται σε ευρωπαϊκό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο για τη διαχείριση των αποβλήτων

Μέσο πολιτικής	Παραδείγματα διαχείρισης αποβλήτων
Νομοθεσία	Οδηγίες και κανονισμοί που χρησιμοποιούνται για: <ul style="list-style-type: none"> <li>• τον καθορισμό στόχων και απαιτήσεων υποβολής εκθέσεων για μεμονωμένα ρεύματα αποβλήτων               <ul style="list-style-type: none"> <li>• (π.χ. στόχοι ανακύκλωσης και στόχοι μείωσης της υγειονομικής ταφής)</li> <li>• θέσπιση συστημάτων διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού</li> <li>• δημιουργία οικονομικών εργαλείων</li> <li>• ενθάρρυνση του βελτιωμένου οικολογικού σχεδιασμού</li> </ul> </li> </ul>
Οικονομικά κίνητρα	Επενδύσεις σε υποδομές συλλογής αποβλήτων που υποστηρίζονται από το Ταμείο Συνοχής, χρηματοδότηση για Ε & Α και καινοτομία
Αγορακεντρικά εργαλεία	Φόροι και τέλη υγειονομικής ταφής, φόροι και τέλη αποτέφρωσης, φόροι πλαστικών σακουλών· Πληρώστε όπως πετάτε (PAYT) προγράμματα
Απαιτήσεις πληροφοριών	Πληροφορίες για την ανακύκλωση των καταναλωτών σχετικά με τις συσκευασίες, την εθελοντική υποβολή εκθέσεων σχετικά με την παραγωγή αποβλήτων και τον καθορισμό στόχων από τις εταιρείες
Εθελοντικά εργαλεία	Εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού, εθελοντικές δεσμεύσεις της βιομηχανίας, σχεδιασμός και επισήμανση προϊόντων (π.χ. μέσω του οικολογικού σήματος της ΕΕ) παροχή πληροφοριών σχετικά με τις ορθές πρακτικές, πρωτοβουλίες υπό την ηγεσία των επιχειρήσεων

Για λεπτομερέστερη ανάλυση, οι ενδιαφερόμενοι αναγνώστες αναφέρονται στο παραδοτέο BlockWaste «01.A1— Συγκριτική μελέτη των κανονισμών διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων (MSW) σε κάθε χώρα».

### 5.3 Ψηφιακές τεχνολογίες για κυκλική διαχείριση ΑΣΑ

Η μετάβαση του τομέα διαχείρισης ΑΣΑ στην ΚΟ θα απαιτήσει αναμφίβολα την εφαρμογή τεχνολογιών της βιομηχανίας 4.0, οι οποίες θα συμπληρώσουν ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, θα αντικαταστήσουν τις τεχνολογίες και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος (Mastos et al., 2021). Σήμερα, αναφέρονται διάφορες τεχνολογίες που σχετίζονται κυρίως με την ανάκτηση των ροών υλικών. Για παράδειγμα, τεχνολογίες μηχανικής διαλογής, π.χ. κόσκινα τυμπάνων, μόνιμοι μαγνητικοί και ηλεκτρομαγνητικοί διαχωριστές ρευμάτων, δεξαμενές επίπλευσης, αισθητήρες ακτίνων Χ

και υπέρυθρης ή εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR) κ.λπ., χρησιμοποιούνται σε μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας (MBT) για την αντιμετώπιση των σύμμεικτων αποβλήτων, προκειμένου να διαχωριστούν τα τεχνικά υλικά και η βιολογική φάση και να περιοριστεί η υπολειπόμενη ποσότητα που απομένει για διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής. Με βάση τη διαμόρφωσή τους, οι μονάδες MBT μπορούν να παρέχουν την απαιτούμενη απόδοση ανακύκλωσης, ανάκτησης και βιοαποικοδομήσιμης εκτροπής. Παρόμοιες τεχνολογίες διαλογής χρησιμοποιούνται σε ελαφρές συσκευασίες και πλαστικές εγκαταστάσεις διαλογής. Οι ελαφρές εγκαταστάσεις συσκευασίας μπορούν να ταξινομήσουν διαφορετικούς τύπους απορριμμάτων συσκευασίας που έχουν συλλεχθεί ως αναμειγμένες ροές ανακύκλωσης και οι εγκαταστάσεις διαλογής πλαστικών μπορούν να ταξινομήσουν διαφορετικούς τύπους και ποιότητα πλαστικού πολυμερούς (Hollins et al., 2017). Εκτός από τον διαχωρισμό, υπάρχουν καθιερωμένες τεχνολογίες ανακύκλωσης για την επεξεργασία και την ανακύκλωση τεχνικών υλικών ανακύκλωσης όπως το γυαλί, το αλουμίνιο, ο χάλυβας και ακόμη και το πλαστικό (κυρίως PET και HDPE). Για παράδειγμα, στην περίπτωση των πλαστικών, χρησιμοποιείται συνήθως μηχανική ανακύκλωση, ενώ οι τεχνολογίες που είναι πιο εξελιγμένες αναδύονται προς την απομάκρυνση των προσμείξεων και επιτρέπουν τη μετατροπή του ανακτημένου πλαστικού σε πολυμερή τροφίμων (Hollins et al., 2017). Τέλος, υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή αξίας (με γενικότερη έννοια) από βιολογικά απόβλητα, όπως η αναερόβια χώνευση, η κομποστοποίηση και η αξιοποίηση (αν και πολλές από τις τεχνολογίες αξιοποίησης των αποβλήτων είναι αναδυόμενες και δεν χρησιμοποιούνται επί του παρόντος σε μεγάλη κλίμακα). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι, ανεξάρτητα από τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, η βελτίωση των στόχων της ΚΟ, τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών, απαιτεί — σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό — τη χωριστή συλλογή των ροών αποβλήτων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η χωριστή συλλογή τονίζεται και απαιτείται από τη σχετική νομοθεσία.

Η 4<sup>η</sup> Βιομηχανική Επανάσταση (Βιομηχανία 4.0) αναμένεται να συμβάλει με πολλούς τρόπους στην καλύτερη διαχείριση των ΑΣΑ στο πλαίσιο της ΚΟ. Οι Berg et al. (2020) προσδιόρισαν τρεις βασικούς τομείς ψηφιοποίησης στη διαχείριση των ΑΣΑ: επικοινωνία, συλλογή αποβλήτων και εσωτερικές διαδικασίες .

Πίνακας 2: Κύριοι τομείς της ψηφιοποίησης στη διαχείριση των ΑΣΑ

Επικοινωνία	Αποκομιδή απορριμμάτων	Εσωτερικές διαδικασίες
Ιστοσελίδες	Οχήματα εξοπλισμένα με αισθητήρες	Τιμολογήσεις
Εφαρμογές για κινητά	Σχεδιασμός διαδρομής	Λογιστικός έλεγχος
Ενσωμάτωση σε άλλες υπηρεσίες	Προγραμματισμός πόρων	Έλεγχος
Εφαρμογές μέσω κοινωνικής δικτύωσης τρίτων	Παρακολούθηση αποθεμάτων	Διαδικασία παραγγελιών
	Τεκμηρίωση	Τεκμηρίωση

(Πηγή: Berg et al., 2020)

Οι Berg et al. (2020) υποστηρίζουν ότι η βιομηχανία αποβλήτων θα επηρεαστεί κυρίως από έξι ψηφιακές τεχνολογίες:

- Ρομποτική: θα επιτρέψει την παραγωγή ροών αποβλήτων υψηλής καθαρότητας και θα διευκολύνει τη διαδικασία συλλογής και την εφοδιαστική που εμπλέκονται στον χειρισμό των αποβλήτων.
- Internet of Things (IoT): θα βελτιώσει την εφοδιαστική μέσω των δοχείων και των περιεκτών που υποστηρίζονται από αισθητήρες, την ηλεκτρονική επεξεργασία των αρχείων και τη δικτύωση των απορριμματοφόρων.
- Υπολογιστικό νέφος: Μπορεί να βοηθήσει στην αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων αισθητήρων ή των λύσεων λογισμικού για τις εργασίες διαχείρισης, συλλογής, διαχείρισης και τεκμηρίωσης.
- Τεχνητή νοημοσύνη και νευρωνικά δίκτυα: Η τεχνητή νοημοσύνη και τα NN μπορούν να παρέχουν λύσεις στις εφαρμογές διαλογής μέσω της αναγνώρισης εικόνας, των αυτόνομων οχημάτων και των σαρωτικών ρομπότ, στη βελτιστοποίηση της συλλογής αποβλήτων, στις υπηρεσίες εξυπηρέτησης πελατών, στις υπηρεσίες πληροφόρησης των πολιτών κ.λπ.
- Ανάλυση δεδομένων: υποστηρίζει τη διάθεση των οχημάτων συλλογής αποβλήτων, την αξιολόγηση των δεδομένων αισθητήρων για τις εγκαταστάσεις αυτοματοποιημένης διαλογής, τον έλεγχο των μονάδων αποτέφρωσης αποβλήτων, την καταγραφή των ποσοτήτων αποβλήτων και των ροών υλικών κ.λπ.
- Τεχνολογία καταμετρημένου καθολικού («Blockchain»): θα διευκολύνει τον εντοπισμό των ροών υλικών και τη διαβίβαση δεδομένων σχετικά με τα υλικά και τα προϊόντα στην αλυσίδα εφοδιασμού, καθώς ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος θα αποθηκεύεται στο blockchain.

Οι Maniopoulos και Nilsen (2020) αναφέρουν ότι η ψηφιακή επανάσταση έχει ήδη μεταμορφώσει τη διαχείριση των αποβλήτων, τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό. Για παράδειγμα, τα τελευταία χρόνια οι συσκευές εντοπισμού GPS παρέχουν στις επιχειρήσεις εφοδιασμού πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα φορτηγά και τα εμπορευματοκιβώτια απορριμμάτων. Αισθητήρες μετρούν τις ποσότητες απορριμμάτων εντός των κάδων και των εμπορευματοκιβωτίων, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για τη βελτιστοποίηση της διαδρομής. Ρομπότ, σαρωτές και αλγόριθμοι οπτικής αναγνώρισης βρίσκουν το δρόμο τους στις αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις διαλογής ΑΣΑ. Ο Newton (2021) επισημαίνει ότι οι καινοτομίες της βιομηχανίας 4.0 επιφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων, εντοπίζοντας πηγές και πρότυπα αποβλήτων, διατηρώντας τις υποδομές αποβλήτων σε άριστη κατάσταση και μειώνοντας, μεταξύ άλλων, την κατανάλωση ενέργειας μέσω αισθητήρων IoT και αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων. Ο Jamrozik (2019) παρέχει ένα παράδειγμα από την πόλη της Νέας Υόρκης, όπου οι κάδοι απορριμμάτων που τροφοδοτούνται από το IoT με παρακολούθηση και ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο κατάφεραν να αυξήσουν τη συνολική χωρητικότητα των σκουπιδιών κατά σχεδόν 200% και, ταυτόχρονα, να μειώσουν τη συχνότητα αποκομιδής ανά κάδο κατά 50%.

## 6 Παραπομπές και πηγές για περαιτέρω ανάγνωση και ενημέρωση

### 6.1 Αναφορές

- Atalia K.R., Buha D.M., Bhavsar K.A., Shah N.K., (2015). A Review on Composting of Municipal Solid Waste. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT). e-ISSN: 2319-2402, p- ISSN: 2319-2399. Volume 9, Issue 5 Ver. I (May. 2015), PP 20-29. DOI: 10.9790/2402-095 12029
- Berg, H., Sebestyén, J., Bendix, P.p, Le Blevenec, K., Vrancken, K. (2020). Digital waste management, Eionet Report - ETC/WMGGE 2020/4, European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy, Mol, Belgium.
- Bourguignon, D. (2016). Closing the loop: New circular economy package. European Parliamentary Research Service (EPRS), Briefing to the European Parliament. ([https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS\\_BRI%282016%29573899\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/573899/EPRS_BRI%282016%29573899_EN.pdf)) Accessed 30 September 2021
- Caparrós-Pérez D. (2017). Feasibility to generate sustainable territories. Eco-efficient application of materials and construction systems in urban development and rehabilitation.
- CEWEP, (2021). Overview of landfill taxes and bans in EU Member States. Available at: <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2021/10/Landfill-taxes-and-bans-overview.pdf>
- Ciuta, S., Apostol, T. & Rusu, Valentin. (2015). Urban and Rural MSW Stream Characterization for Separate Collection Improvement. Sustainability. 7. 916-931. 10.3390/su7010916. ([https://www.researchgate.net/publication/271528610\\_Urban\\_and\\_Rural\\_MS\\_W\\_Stream\\_Characterization\\_for\\_Separate\\_Collection\\_Improvement](https://www.researchgate.net/publication/271528610_Urban_and_Rural_MS_W_Stream_Characterization_for_Separate_Collection_Improvement)) Accessed September 2021.
- Davies, S. The Great Horse-Manure Crisis of 1894 | Stephen Davies <https://fee.org/articles/the-great-horse-manure-crisis-of-1894/> (accessed Feb 13, 2020)
- EC, (2022). Landfill waste. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste_en)
- EEA, (2021). Diversion of waste from landfill in Europe. European Environmental Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/ims/diversion-of-waste-from-landfill>
- EEA, (2022). Waste recycling in Europe. Available at: <https://www.eea.europa.eu/ims/waste-recycling-in-europe>
- EESI, (2017). Fact Sheet Biogas: Converting Waste to Energy. Available at: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>
- EREF, (2022). Introduction to municipal solid waste landfilling. Available at: <https://erefdn.org/introduction-municipal-solid-waste-landfilling-2/>

- Ergene Şentürk, D., & Alp, E. (2016). Planning for the closure of uncontrolled landfills in Turkey to reduce environmental impacts, *Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 34(11), 1173–1183, <https://doi.org/10.1177/0734242X16665915>.
- European Commission COM(2017) 34. The role of waste-to-energy in the circular economy. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52017DC0034&from=EN#footnote17>
- European Commission, (2022). Waste prevention and management. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index_en.htm)
- European Environmental Agency (2017). Circular by design. Products in the circular economy. EEA Report No 6/2017, Copenhagen (<https://www.eea.europa.eu/publications/circular-by-design>) Accessed 29 September 2021
- European Union, Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj>)
- European Union, Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste (Text with EEA relevance) (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>)
- Eurostat (2021). Municipal Waste Statistics. ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)) Accessed 20 January 2022.
- Eurostat (2022). Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity([http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&dataset=env\\_wasg\\_en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?lang=en&dataset=env_wasg_en)) Accessed 29 January 2022.
- Eurostat, (2022). Municipal waste statistics. Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)
- Hollins, O., Lee, P., Sims, E., Bertham, O., Symington, H., Bell, N., Pfaltzgraff, L., and Sjögren, P. (2017). Towards a circular economy - Waste management in the EU. European Parliament. ([https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS\\_STU%282017%29581913\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS_STU%282017%29581913_EN.pdf)) Accessed 29 September 2021
- Hunt, R. G., et al., (1990). Estimates of the Volume of MSW and Selected Components in Trash Cans and Landfills. Franklin Associates, Ltd., with The Garbage Project for the Council for Solid Waste Solutions.
- Jamrozik, N. (2019). Smart waste management (<https://medium.com/@NadJam/smart-waste-management-17db1bd5bc6b#:>) Accessed 16 November 2021
- Kalyuzhnyi, Sergey & Epov, A & Sormunen, Kai & Kettunen, R & Rintala, Jukka & Privalenko, V & Nozhevnikova, Alla & Pender, S & Colleran, E. (2003). Evaluation of the current status of operating and closed landfills in Russia, Finland and Ireland with regard to water pollution and methane emission. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*. 48. 37-44

(<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/48/4/37/10950/Evaluation-of-the-current-status-of-operating-and?redirectedFrom=fulltext>).

- Kaza S., Yao, L., Perinaz Bhada-Tata, P. and Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Group. (<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>) Accessed 15 September 2021.
- Klundert, A. van de, Anschutz, J. (2001) Integrated sustainable waste management - the concept. Gouda, 2001, 44 p.
- Mastos, T. D., Nizamis, A., Terzi, S., Gkortzis, D., Papadopoulos, A., Tsagkalidis, N., Ioannidis, D., Votis, K. and Tzovaras, D. (2021). Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management. Journal of Cleaner Production, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126886>
- Mavropoulos, A., (2015). Wasted Health: the tragic case of dumpsites, ISWA ([https://www.researchgate.net/publication/281774422\\_Wasted\\_Health\\_the\\_tragic\\_case\\_of\\_dumpsites](https://www.researchgate.net/publication/281774422_Wasted_Health_the_tragic_case_of_dumpsites)). Accessed 25 January 2022.
- Mavropoulos, A. and Nilsen, A.W. (2020). Industry 4.0 and Circular Economy: Towards a Wasteless Future or a Wasteful Planet?. International Solid Waste Association Series, Wiley, New York, pp. 448.
- Newton, E. (2021). How Is Industry 4.0 Optimizing the Waste Industry? The IOT Magazine (<https://theiotmagazine.com/how-is-industry-4-0-optimizing-the-waste-industry-bfd4d35770f4>) Accessed 15 December 2021
- Shaoli De, Biswajit Debnath, (2016). Prevalence of Health Hazards Associated with Solid Waste Disposal- A Case Study of Kolkata, India, Procedia Environmental Sciences, Volume 35, pp. 201-208, ISSN 1878-0296, <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.081>.
- Sharma, K.D. and Jain, S. (2020), "Municipal solid waste generation, composition, and management: the global scenario", Social Responsibility Journal, Vol. 16 No. 6, pp. 917-948. <https://doi.org/10.1108/SRJ-06-2019-0210>
- Silva Filho, C. RV, Appelqvist, B. and Woolridge, A. (2021). The future of the waste management sector - trends, opportunities and challenges for the decade 2021-2030. International Solid Waste Association – ISWA. (<https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2021/10/ISWA-The-Future-of-Waste-Management-1.pdf>) Accessed 15 November 2021
- STOA, (2017). Towards a circular economy – Waste management in the EU. Science and Technology Options Assessment. EPRS/European Parliamentary Research Service. 140 pp. doi: 10.2861/978568
- Tamiru, A., (2001). The impact of uncontrolled waste disposal on surface water quality in Addis Ababa, Ethiopia, SINET: Ethiopian Journal of Science, Vol. 24 No. 1, <https://doi.org/10.4314/sinet.v24i1.18177>
- Tchobanoglous, G. and Kreith, F. (2002). Handbook of Solid Waste Management. 2nd Edition, McGraw Hill Handbooks. New York.



- U.S. Environmental Protection Agency (1998). Characterization of municipal solid waste in the United States: 1997 update, Municipal and Industrial Solid Waste Division Office of Solid Waste, Report No. EPA530-R-98-007.
- Vinti G, Bauza V, Clasen T, Medlicott K, Tudor T, Zurbrügg C, Vaccari M., (2021). Municipal Solid Waste Management and Adverse Health Outcomes: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8):4331. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084331>.
- Wagner, Jean-Frank & Rettenberger, G & Reinert, P. (2007). Modern landfill technology – landfill behavior of mechanical- biological pre-treated waste, *Proceedings Sardinia 2007, 11th International Waste Management and Landfill Symposium*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 1 - 5 October 2007 ([https://www.researchgate.net/publication/267996591\\_MODERN\\_LANDFILL\\_TECHNOLOGY\\_-\\_LANDFILL\\_BEHAVIOR\\_OF\\_MECHANICAL-\\_BIOLOGICAL\\_PRE-TREATED\\_WASTE](https://www.researchgate.net/publication/267996591_MODERN_LANDFILL_TECHNOLOGY_-_LANDFILL_BEHAVIOR_OF_MECHANICAL-_BIOLOGICAL_PRE-TREATED_WASTE)).
- Warell, W.A. & Vesilind , P.A., (2012). *Solid waste engineering second edition*. Cengage Learning. ISBN-13: 978-1-4390-6215-9.
- Waste Framework Directive, (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>
- Zbicinski, I., Stavenuiter, J., Kozłowska, B., van de Coevering, H., (2006). *Product design and life cycle assessment*. The Baltic University Press © 2006. Printed by Nina Tryckeri, Uppsala 2006. ISBN 91-975526-2-3
- Ziraba, A.K., Haregu, T.N. & Mberu, B., (2016). A review and framework for understanding the potential impact of poor solid waste management on health in developing countries. *Arch Public Health* 74, 55, <https://doi.org/10.1186/s13690-016-0166-4>.

## 6.2 Επιπλέον πηγές

### Βίντεο

Webinar: Introduction to Smart Waste Management | WasteHero:

<https://www.youtube.com/channel/UCbKk5uAsVfRmkJLOg0DsdXQ>

Circular Economy and solid waste management:

<https://www.youtube.com/watch?v=1UePkisQqJs>

Circular Economy in Waste management:

<https://www.youtube.com/watch?v=fpDrUwd1uq4>

Can A Circular Economy Make Trash Obsolete?:

[https://www.youtube.com/watch?v=JgcWmE\\_2T6Q](https://www.youtube.com/watch?v=JgcWmE_2T6Q)

Towards a circular economy - waste management in the EU:

[https://www.youtube.com/watch?v=8pxM0\\_uRzbE](https://www.youtube.com/watch?v=8pxM0_uRzbE)

Waste management and Circular Economy at POLIMI (Part 1):

[https://www.youtube.com/watch?v=yQJOkBEJhQc&list=RDCMUcOKtBGblWKIkE-Klf-SOFvg&start\\_radio=1&rv=yQJOkBEJhQc&t=36](https://www.youtube.com/watch?v=yQJOkBEJhQc&list=RDCMUcOKtBGblWKIkE-Klf-SOFvg&start_radio=1&rv=yQJOkBEJhQc&t=36)

Waste Management 4.0 and Tech Trends – Waste Metering Powered by AI:

<https://www.youtube.com/watch?v=H95YRZydiig>

Recycling Robots - Companies Turn to Robots to Help Sort Recyclables & Waste - Waste

Robotics: <https://www.youtube.com/watch?v=QbKA9uNgzYQ>

Robotics & AI Innovation Network | Using RAI to support waste management:

<https://www.youtube.com/watch?v=Yl62S5BU178>

Case study: IoT based waste management for Santander smart city:

<https://www.youtube.com/watch?v=lmk9kMO4MsY>

A Novel IOT and AI based Smart Waste Management System:

<https://www.youtube.com/watch?v=WVWYvcisdIA>

Environmental impacts of landfill leachate:

<https://www.youtube.com/watch?v=QYBvntdO6YM>

How does a landfill work?

<https://www.youtube.com/watch?v=n8KdoMYWnE>

Learn the Principles of Landfill Gas Generation:

<https://www.youtube.com/watch?v=p-CQqXf5N4E>

How gases and liquids are drained from landfills:

[https://www.youtube.com/watch?v=QHWxQgbmo\\_k](https://www.youtube.com/watch?v=QHWxQgbmo_k)

Advantages and Disadvantages of Waste Incineration:

<https://www.youtube.com/watch?v=6vzcbgBAewU>

Impacts and limitations of recycling:

<https://www.youtube.com/watch?v=1biGAcRIM3I>

What a Waste 2.0: Everything You Should Know About Solid Waste Management:

<https://www.youtube.com/watch?v=1CSm4GG2VrU>

Why don't we just burn our trash?:

<https://www.youtube.com/watch?v=OPVUrO-7SM>

Video on Waste Hierarchy:

<https://www.youtube.com/watch?v=LaT07IeDVR4>

Brief introduction to landfills:

<https://youtu.be/2Ot2C4FKzts>

Organics Decomposition in a Landfill:

<https://youtu.be/A2J74wxQ9-4>

Landfill leachate:

<https://youtu.be/C-j1jGB8CiM>

Landfill gas:

<https://youtu.be/8z7IbX5CSQo>

Waste to Energy – process explanation:

<https://youtu.be/DROZUstnsnw>

Waste to Energy: Inside the SYSAV Plant in Malmo, Sweden:

[https://youtu.be/l8\\_i1gU3gRg](https://youtu.be/l8_i1gU3gRg)

Waste-To-Energy Pyrolysis Conversion Process:

<https://youtu.be/7P5WF53Kfdl>

Waste to Energy by Advanced Gasification:

<https://youtu.be/vVvCEkKxWs0>

Lecture "RDF from municipal solid wastes" by Dirk Lechtenberg:

<https://youtu.be/MwT3lepTFag>

Organic waste treatment (18videos) available:

[https://youtube.com/playlist?list=PLNG\\_YQG6XtkXxCFHJCy2APfkxYJwsrRrj](https://youtube.com/playlist?list=PLNG_YQG6XtkXxCFHJCy2APfkxYJwsrRrj)

Recycling municipal waste:

<https://youtu.be/bxF3-wdxUKk>

Linear Economy Model:

<https://youtu.be/eETqWSDwCh4>

Explaining the Circular Economy and How Society Can Re-think Progress | Animated Video

Essay: <https://youtu.be/zCRKvDyyHml>

Circular Economy: Beyond Recycling:

<https://youtu.be/eOgXxTj5kGk>

What is a linear economic model?

[https://youtu.be/q\\_6GalOImPc](https://youtu.be/q_6GalOImPc)

Defining linear vs circular economy:

[https://youtu.be/fF\\_H07BrJOE](https://youtu.be/fF_H07BrJOE)

How to move from a linear economy to a circular economy:

<https://youtu.be/ECHiWnSvklo>

Πολιτικές, νομοθεσία και εργαλεία της ΕΕ

Circular economy action plan: [https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en)

Waste and recycling: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling_en)

Waste Framework Directive: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)

Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy COM/2015/0614 final:

<https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>

Monitoring Framework for the Circular Economy:

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework>

European Commission. Commission of European Communities. Communication No. 398, 2014. Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe; COM no. 398; European Commission: Brussels, Belgium, 2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398>

European Commission. Commission of European Communities. Communication No. 614, 2015. Closing the Loop—An EU Action Plan for the Circular Economy; COMno. 614; European Commission: Brussels, Belgium, 2015. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

European Commission. REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS (COM/2017/033 final) - On the implementation of the Circular Economy Action, 2017. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52017DC0033&qid=1524125695611>

European Commission. Commission of European Communities. Communication No. 29, 2018. Monitoring Framework for the Circular Economy; COM no. 29; European Commission: Brussels, Belgium, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A29%3AFIN>

European Commission. Commission of European Communities. Communication No. 98, 2020. A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe; COM no. 98; European Commission: Brussels, Belgium, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

European Commission. Waste Law. [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-law\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-law_en)

Study on modelling of the economic and environmental impacts of raw material consumption:

[https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource\\_efficiency/pdf/RMC.pdf](https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf)

### Βιβλία/Εγγραφα/Εκθέσεις

Berg, H., Bendix, P., Jansen, M., Le Blévenec, K., Bottermann, P., Magnus-Melgar, M., Pohjalainen, E. and Wahlström, M. (2021). Unlocking the potential of Industry 4.0 to reduce the environmental impact of production, Eionet Report - - ETC/WMGE 2021/5, European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy, Mol, Belgium. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/unlocking-the-potential-of-industry-4-0-to-reduce-the-environmental-impact-of-production/@@download/file/Final%20for%20website.pdf>

European Environment Agency - EEA (2016). Municipal waste management across European countries. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/municipal-waste>

- European Environment Agency (2016). More from less—material resource efficiency in Europe. 2015 overview of policies, instruments and targets in 32 countries, EEA report, no 10/2016. <https://www.eea.europa.eu/publications/more-from-less>
- European Environment Agency - EEA (2020). Waste management. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/waste-management/waste-management>
- European Environment Agency - EEA (2020). Recycling of municipal waste. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/resource-efficiency-and-low-carbon-economy/recycling-of-municipal-waste>
- European Environmental Bureau – EEB (2018). Towards an EU Product Policy Framework contributing to the Circular Economy. <https://eeb.org/publications/79/resource-efficiency/89942/briefing-on-the-eu-product-policy-framework.pdf>
- ISWA (2019). How Industry 4.0 transforms the waste sector, International Solid Waste Association. [https://www.pac.gr/bcm/uploads/ind\\_4-0\\_final\\_compressed\\_web.pdf](https://www.pac.gr/bcm/uploads/ind_4-0_final_compressed_web.pdf)
- World Business Council for Sustainable Development – WBCSD (2018). LINEAR RISKS. [https://docs.wbcsd.org/2018/06/linear\\_risk\\_report.pdf](https://docs.wbcsd.org/2018/06/linear_risk_report.pdf)

### Άλλες πηγές

- <https://www.epa.gov/landfills/municipal-solid-waste-landfills#whatis>
- <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000Q3ZF.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976%20Thru%201980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C76THRU80%5CTXT%5C00000004%5C2000Q3ZF.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1>
- [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/msw\\_infographic\\_jan2021-sm.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/msw_infographic_jan2021-sm.pdf)
- <https://www.eea.europa.eu/soer/2015/countries-comparison/waste>
- <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>
- <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/challenges-to-the-solid-waste-sector.html>
- <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends-in-solid-waste-management.html>
- <https://www.iswa.org/climate-change-and-waste-management/?v=f214a7d42e0d>
- <https://www.colorado.edu/center/2021/04/15/hidden-damage-landfills>
- <https://www.epa.gov/report-environment/wastes>
- [https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate\\_change\\_xsum.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/climate_change_xsum.pdf)
- <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-018-0175-y>

World Health Organization, (2021). Solid waste. In: Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment, Geneva. ([https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who\\_compendium\\_chapter4\\_v2\\_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc\\_5](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/who-compendium-on-health-and-environment/who_compendium_chapter4_v2_01092021.pdf?sfvrsn=b4e99edc_5)).

Accessed 26 January 2022.

Municipal waste generated in EU countries (kg/capita) in 2005 and 2020  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/policy-context>

'Generation Awake' - the European Commission awareness raising campaign on resource efficiency: [https://ec.europa.eu/environment/generationawake/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/generationawake/index_en.htm)

Example of Deposit System in Estonia: <https://eestipandipakend.ee/en/how-does-the-deposit-system-work/>

Environmental research and education foundation (EREF) - Introduction to Municipal solid waste landfilling: <https://erefdn.org/introduction-municipal-solid-waste-landfilling-2/>

Eionet Portal - Assessment of waste incineration capacity and waste shipments in Europe: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/assessment-of-waste-incineration-capacity-and-waste-shipments-in-europe>

Springer Link - Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12649-018-0297-7>

Bio-waste in Europe - <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/>

The case for increasing recycling: Estimating the potential for recycling in Europe: <https://www.eea.europa.eu/publications/the-case-for-increasing-recycling>

Limits of recycling 2020: <https://trinomics.eu/project/2119-limits-of-recycling/>

Integrated Waste Management for a Smart City:

<https://www.classcentral.com/course/youtube-integrated-waste-management-for-a-smart-city-47757/classroom>