



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ: ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WARM
ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Συγγραφέας:

Δυσόηλης Ανδρέας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Τσαγκαράκης Κωνσταντίνος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκπονήθηκε στο πλαίσιο της απόκτησης διπλώματος
της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
του Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά, 2025

Η παρούσα διπλωματική εργασία
αφιερώνεται στην οικογένεια μου...

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί το αποτέλεσμα μιας μακράς προσπάθειας, η οποία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς τη συμβολή και τη στήριξη σημαντικών ανθρώπων στη ζωή μου. Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όσους στάθηκαν δίπλα μου σε αυτή τη διαδρομή.

Θα ήθελα ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Τσαγκαράκη Κωνσταντίνο, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την αμέριστη αγάπη, κατανόηση και στήριξή τους σε κάθε μου βήμα. Χωρίς εκείνους, η προσπάθεια αυτή δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους μου για την ενθάρρυνση και τη συμπαράστασή τους, που αποτέλεσαν για εμένα πηγή δύναμης και έμπνευσης.

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αποτίμηση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών ωφελειών από την εναλλακτική διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων σε μια βιομηχανία εμφιάλωσης και τυποποίησης. Για να αντικατοπτρίζουν τα αποτελέσματα της έρευνας ρεαλιστικές συνθήκες, τα δεδομένα αντλήθηκαν από δημοσιευμένες αναφορές για τα έτη 2022 και 2023. Τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία σεναρίων διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων, στα οποία συνδυάζονται διάφορα ποσοστά απορριμμάτων που υπόκεινται σε υγειονομική ταφή, ανακύκλωση ή κομποστοποίηση. Με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA), υπολογίστηκαν οι μειώσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακές αποταμιεύσεις για τα αντίστοιχα σενάρια.

Για τους απαραίτητους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό μοντέλο WARM (Waste Reduction Model) της EPA, το οποίο έχει τη δυνατότητα λειτουργίας σε περιβάλλον Excel και προσφέρει τη δυνατότητα εκτίμησης της μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και εξοικονόμηση ενέργειας για διάφορα σενάρια διαχείρισης αποβλήτων. Η μελέτη θα συσχετίσει τα αποτελέσματα με καθημερινούς πιο κατανοητούς όρους όπως, για παράδειγμα, επιβατικά οχήματα. Τέλος, τα αποτελέσματα διαμορφώθηκαν σε διαγράμματα για την εκπόνηση πετυχημένων συμπερασμάτων.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων υποδεικνύει τη σημαντικότητα της εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων για τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την ορθολογική αξιοποίηση ενεργειακών πόρων και προσφέρει ποσοτικές εκτιμήσεις σε μια βιομηχανική μονάδα παραγωγής αναψυκτικών.

Λέξεις κλειδιά: WARM, μοντέλο μείωσης αποβλήτων, αστικά στερεά απόβλητα, διαχείριση, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the environmental and energy benefits of alternative municipal solid waste management in a bottling and packaging industry. To ensure that the research findings reflect real-world conditions, data were sourced from published reports for the years 2022 and 2023. These data were utilized to develop waste management scenarios incorporating different proportions of waste allocated to landfill, recycling, and composting. Using specialized software from the United States Environmental Protection Agency (US EPA), the study calculated reductions in carbon dioxide emissions and energy savings for the corresponding scenarios.

For the necessary calculations, the study employed WARM (Waste Reduction Model) developed by the EPA, which operates within an Excel environment. This model enables the estimation of greenhouse gas emission reductions and energy savings across various waste management scenarios. Additionally, the study contextualized the results in more relatable terms, such as the equivalent impact on passenger vehicles. Finally, the findings were visualized through graphical representations to facilitate the formulation of meaningful conclusions.

The analysis of the results highlights the significance of alternative waste management in mitigating environmental impacts and optimizing energy resource utilization. Moreover, it provides quantitative assessments applicable to an industrial soft drink production facility.

Keywords: WARM, waste reduction model, municipal solid waste, management, carbon dioxide emissions

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	11
1.2. ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	11
1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	14
2.1. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	14
2.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΣΑ.....	15
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WARM	18
3.1. ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WARM: ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	18
3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	19
3.3. ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	20
3.4. ΒΑΣΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	21
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	23
4.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	23
4.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ	23
4.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ.....	38
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	52
5.1. ΒΑΣΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	52
5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	53
5.3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	53
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84

Ευρετήριο Πινάκων

- Πίνακας 1.** Τύποι υλικών που αναγνωρίζει το WARM.
- Πίνακας 2.** Δεδομένα της μελέτης προς ανάλυση.
- Πίνακας 3.** Εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης αποβλήτων προς ανάλυση.
- Πίνακας 4.** Αποτελέσματα εξοικονόμησης συνολικού συνδυασμού σε MTCO_2E .
- Πίνακας 5.** Αποτελέσματα εξοικονόμησης συνολικού συνδυασμού σε εκατομμύρια BTU.
- Πίνακας 6.** Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε MTCO_2E .
- Πίνακας 7.** Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε οχήματα.
- Πίνακας 8.** Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε γαλόνια βενζίνης.
- Πίνακας 9.** Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε φιάλες προπανίου.
- Πίνακας 10.** Κατάταξη υλικών βάση της αποδοτικότητας τους (περιβάλλον).
- Πίνακας 11.** Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε εκατομμύρια BTU.
- Πίνακας 12.** Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε νοικοκυριά.
- Πίνακας 13.** Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε βαρέλια πετρελαίου.
- Πίνακας 14.** Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε γαλόνια βενζίνης.
- Πίνακας 15.** Κατάταξη υλικών βάση της αποδοτικότητας τους (ενέργεια)
- Πίνακας Π1.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε MTCO_2E το 2022.
- Πίνακας Π2.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε MTCO_2E το 2023.
- Πίνακας Π3.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε επιβατικά οχήματα το 2022.
- Πίνακας Π4.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε επιβατικά οχήματα το 2023.
- Πίνακας Π5.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2022.
- Πίνακας Π6.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2023.
- Πίνακας Π7.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε φιάλες προπανίου το 2022.
- Πίνακας Π8.** Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε φιάλες προπανίου το 2023.
- Πίνακας Π9.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε BTU το 2022.
- Πίνακας Π10.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε BTU το 2023.
- Πίνακας Π11.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε νοικοκυριά το 2022.
- Πίνακας Π12.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε νοικοκυριά το 2023.
- Πίνακας Π13.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε βαρέλια πετρελαίου το 2022.
- Πίνακας Π14.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε βαρέλια πετρελαίου το 2023.
- Πίνακας Π15.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2022.
- Πίνακας Π16.** Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2023.

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

- Διάγραμμα 1.** Μοντέλο κυκλικής οικονομίας.
- Διάγραμμα 2.** Πυραμίδα Ιεράρχησης Αποβλήτων.
- Διάγραμμα 3.** Παραγόμενα αστικά απόβλητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Διάγραμμα 4.** Παραγωγή και επεξεργασία στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα.
- Διάγραμμα 5.** Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε MTCO_2E .
- Διάγραμμα 6.** Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε επιβατικά οχήματα.
- Διάγραμμα 7.** Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε γαλόνια βενζίνης.
- Διάγραμμα 8.** Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε φιάλες προπανίου.
- Διάγραμμα 9.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση χαρτιού.
- Διάγραμμα 10.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση πλαστικού.
- Διάγραμμα 11.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση αλουμινίου.
- Διάγραμμα 12.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση άλλων μετάλλων.
- Διάγραμμα 13.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση γυαλιού.
- Διάγραμμα 14.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων.
- Διάγραμμα 15.** Μειώσεις εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση λοιπών.
- Διάγραμμα 16.** Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε MTCO_2E : α. 2022, β. 2023.
- Διάγραμμα 17.** Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε επιβατικά οχήματα: α. 2022, β. 2023 .
- Διάγραμμα 18.** Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε γαλόνια βενζίνης: α. 2022, β. 2023.
- Διάγραμμα 19.** Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε φιάλες προπανίου: α. 2022, β. 2023.
- Διάγραμμα 20.** Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση εκπομπών το 2022.
- Διάγραμμα 21.** Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση εκπομπών το 2023.
- Διάγραμμα 22.** Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU.
- Διάγραμμα 23.** Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε νοικοκυριά.
- Διάγραμμα 24.** Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε βαρέλια πετρελαίου.
- Διάγραμμα 25.** Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε γαλόνια βενζίνης.
- Διάγραμμα 26.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση χαρτιού.
- Διάγραμμα 27.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση πλαστικού.
- Διάγραμμα 28.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση αλουμινίου.
- Διάγραμμα 29.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση άλλων μετάλλων.
- Διάγραμμα 30.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση γυαλιού.
- Διάγραμμα 31.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων.
- Διάγραμμα 32.** Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση λοιπών.
- Διάγραμμα 33.** Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε BTU: α. 2022, β. 2023.
- Διάγραμμα 34.** Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε νοικοκυριά: α. 2022, β. 2023.
- Διάγραμμα 35.** Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε βαρέλια πετρελαίου: α. 2022, β. 2023.

Διάγραμμα 36. Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε γαλόνια βενζίνης: α. 2022, β. 2023.

Διάγραμμα 37. Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση ενέργειας το 2022.

Διάγραμμα 38. Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση ενέργειας το 2023.

Διάγραμμα Π1. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση χαρτιού σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π2. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση χαρτιού σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π3. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση χαρτιού σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π4. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση πλαστικού σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π5. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση πλαστικού σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π6. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση πλαστικού σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π7. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση αλουμινίου σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π8. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση αλουμινίου σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π9. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση αλουμινίου σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π10. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π11. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π12. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π13. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση γυαλιού σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π14. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση γυαλιού σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π15. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση γυαλιού σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π16. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π17. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π18. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π19. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση λοιπών σε επιβατικά οχήματα.

Διάγραμμα Π20. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση λοιπών σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π21. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση λοιπών σε φιάλες προπανίου.

Διάγραμμα Π22. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση χαρτιού σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π23. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση χαρτιού σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π24. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση χαρτιού σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π25. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση πλαστικού σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π26. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση πλαστικού σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π27. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση πλαστικού σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π28. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση αλουμινίου σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π29. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση αλουμινίου σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π30. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση αλουμινίου σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π31. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π32. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π33. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π34. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση γυαλιού σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π35. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση γυαλιού σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π36. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση γυαλιού σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π37. Εξοικονόμηση ενέργειας για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π38. Εξοικονόμηση ενέργειας για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π39. Εξοικονόμηση ενέργειας για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε γαλόνια βενζίνης.

Διάγραμμα Π40. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση λοιπών σε νοικοκυριά.

Διάγραμμα Π41. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση λοιπών σε βαρέλια πετρελαίου.

Διάγραμμα Π42. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση λοιπών σε γαλόνια βενζίνης.

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα Π1. Το μοντέλο WARM ως φύλλο Excel.

Εικόνα Π2. Δήλωση εκπομπών ηλεκτρισμού.

Εικόνα Π3. Μορφή υλικών για μείωση στη πηγή.

Εικόνα Π4. Δήλωση μεταβλητής για το σύστημα ελέγχου αερίων XYTA (Landfill Gas – LFG).

Εικόνα Π5. Δήλωση μεταβλητής για την ανάκτηση αερίων από χώρους υγειονομικής ταφής.

Εικόνα Π6. Επιλογές αποδοτικότητας για τη συλλογή αερίων.

Εικόνα Π7. Κατάσταση υγρασίας στον χώρο υγειονομικής ταφής.

Εικόνα Π8. Επιλογές για την αναερόβια χώνευση.

Εικόνα Π9. Επιλογές προϊόντος αναερόβιας χώνευσης.

Εικόνα Π10. Αποστάσεις μετακίνησης απορριμμάτων.

Εικόνα Π11. Αποτελέσματα υπολογισμών και ισοδύναμων εξοικονόμησης.

1.Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της μελέτης

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στη σύγχρονη περιβαλλοντική πολιτική είναι αυτή της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων (στα οποία θα αναφερόμαστε ως ΑΣΑ), αφού σχετίζεται άμεσα με τη προστασία των φυσικών πόρων και την μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Κάποιες διεργασίες, όπως η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση, μπορούν να συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην αειφόρα ανάπτυξη και την κυκλική οικονομία.



Διάγραμμα 1. Μοντέλο κυκλικής οικονομίας (Πηγή: Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Κοινοβουλευτικής Έρευνας, 2023)

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών ωφελειών από την εφαρμογή εναλλακτικών στρατηγικών διαχείρισης των ΑΣΑ ενός οργανισμού. Με τη χρήση του μοντέλου WARM (Waste Reduction Model) εκτιμώνται η μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορα σενάρια.

Ο κύριος στόχος της μελέτης είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων στον υπό μελέτη οργανισμό και ο προσδιορισμός των βέλτιστων πρακτικών που αν εφαρμοστούν μπορούν να μεγιστοποιήσουν τις περιβαλλοντικές και ενεργειακές ωφέλειες, τόσο εντός του πλαισίου της επιχείρησης όσο και εκτός αυτού.

1.2. Σημασία της εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων

Η διαχείριση των ΑΣΑ είναι ένα βασικό και κρίσιμο κομμάτι στο δρόμο για την επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας. Παραδοσιακά, η διαχείριση των αποβλήτων βασίζεται στην υγειονομική ταφή και αδιάκοπη σπατάλη υλικών, ακόμα και ανακυκλώσιμων. Αυτή η μέθοδος έχει σαν αποτέλεσμα την ρύπανση του εδάφους και

των υδάτων, την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την σπατάλη φυσικών πόρων.

Αντίθετα, η εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ βασίζεται σε μεθόδους που υποστηρίζουν την βιώσιμη ανάπτυξη και την κυκλική οικονομία. Η μείωση της δημιουργίας αποβλήτων και η επαναχρησιμοποίηση (ανακύκλωση) είναι θεμελιώδεις έννοιες αυτής της προσέγγισης. Μέσω τούτων, είναι εφικτή η μείωση της ποσότητας αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, η εξοικονόμηση πολύτιμων φυσικών πόρων και ο περιορισμός του ενεργειακού αποτυπώματος των διεργασιών διαχείρισης των αποβλήτων.

Οι οργανισμοί, τόσο ιδιωτικοί όσο και δημόσιοι, παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Η επιλογή των στρατηγικών διαχείρισης αποβλήτων μπορεί να συμβάλλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την ενδυνάμωση της δημόσιας εικόνας του οργανισμού και τη μείωση του κόστους λειτουργίας του.

Οι παραπάνω στόχοι μπορούν να επιτευχθούν με διάφορες μεθόδους. Μία από αυτές, είναι η χρήση του μοντέλου WARM (Waste Reduction Model) της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (USEPA) . Το WARM έχει τη δυνατότητα ποσοτικής αποτίμησης των περιβαλλοντικών και ενεργειακών ωφελειών σε διάφορα σενάρια διαχείρισης αποβλήτων. Με αυτά, ο οργανισμός μπορεί να πάρει αποφάσεις στηριγμένες σε μαθηματικούς υπολογισμούς.

Καταλήγοντας, η υιοθέτηση πρακτικών φιλικών προς το περιβάλλον μπορεί να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ παράλληλα να ενισχύσει τη αειφόρο ανάπτυξη σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

1.3. Μεθοδολογία και δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών οφελών λόγω της εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ μέσω της εφαρμογής του μοντέλου WARM. Για την ανάλυση αυτή, επιλέχθηκε ως μελέτη περίπτωσης ένας συγκεκριμένος οργανισμός, ο οποίος δραστηριοποιείται στη παραγωγή και διανομή ποτών (αλκοολούχων και μη) και τροφίμων.

Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε σε αυτή τη μελέτη εστιάζει στην συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων για τη διαχείριση των αποβλήτων του οργανισμού. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, συγκεντρώθηκαν από έντυπα του ίδιου οργανισμού για τη καταγραφή των ποσοτήτων και τη μέθοδο επεξεργασίας τους (π.χ. υγειονομική ταφή, ανακύκλωση, κομποστοποίηση, αποτέφρωση).

Στη συνέχεια, εισάχθηκαν σε φύλλα εργασίας του Excel ως παράμετροι του μοντέλου WARM, προκειμένου να υπολογιστούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η εξοικονόμηση ενέργειας και τα οφέλη διάφορων σεναρίων διαχείρισης των ΑΣΑ. Τα σενάρια που εξετάστηκαν είναι:

- Σενάριο αναφοράς, αφορά την τρέχουσα κατάσταση του οργανισμού διαχείρισης αποβλήτων του οργανισμού.
- Εναλλακτικό σενάριο, αφορά την εναλλακτική κατάσταση μέσω της αύξησης των ποσοτήτων για ανακύκλωση, κομποστοποίηση και ενεργειακή αξιοποίηση.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του WARM συγκεντρώνονται και συγκρίνονται για να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιπτώσεις σε περίπτωση υιοθέτησης μιας εναλλακτικής στρατηγικής διαχείρισης αποβλήτων. Η ανάλυση διερευνά κάποιους ποσοτικούς δείκτες όπως τους μετρικούς τόνους εκπομπών CO₂ (MTCO₂) και την ενέργεια που εξοικονομείται (BTU).

Όσο αφορά τη δομή της, η παρούσα εργασία οργανώνεται σε πέντε κύρια κεφάλαια. Το πρώτο είναι περιέχει μια θεωρητική επεξήγηση των εννοιών που περιλαμβάνονται στη μελέτη αλλά και τη σημασία της εναλλακτικής προσέγγισης. Το δεύτερο κεφάλαιο ακολουθεί και εξηγεί λεπτομερώς την εφαρμογή του μοντέλου και τη μεθοδολογία. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, ενώ στο τέταρτο γίνεται ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της έρευνας και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις στη διαχείριση των αποβλήτων.

Αυτή η δομημένη προσέγγιση θα βοηθήσει στην εκπόνηση συμπερασμάτων σχετικά με τη βέλτιστη διαχείριση των αποβλήτων, στοχεύοντας στην ανάπτυξη ενός πλάνου για την βιώσιμη ανάπτυξη του οργανισμού.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

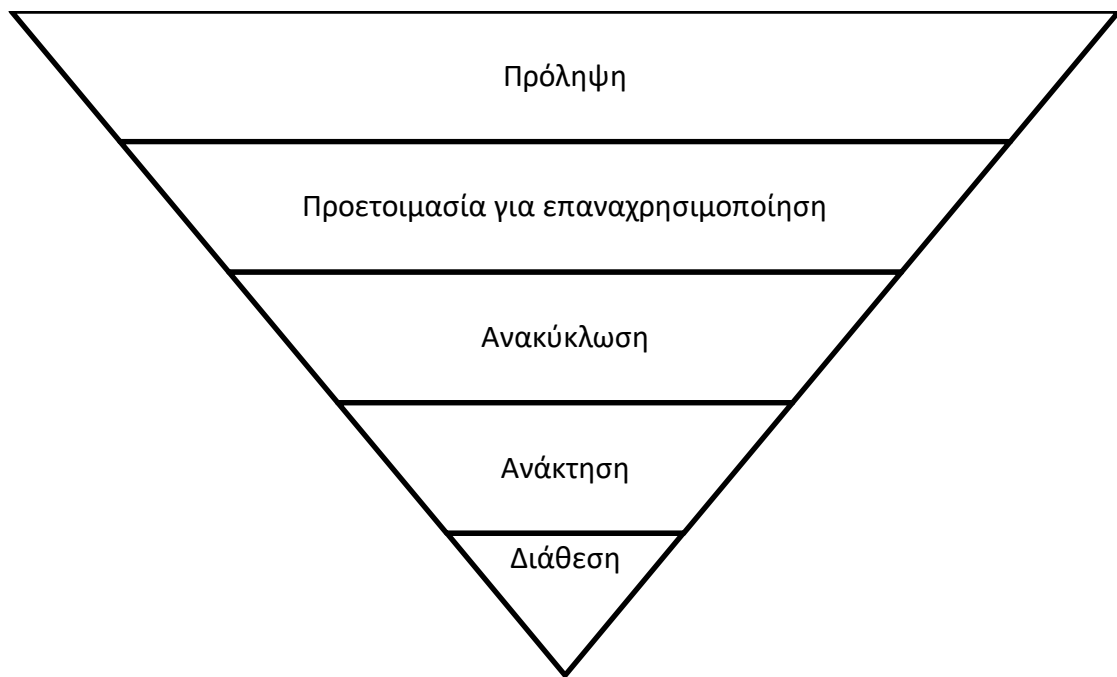
2.1. Αστικά στερεά απόβλητα

Απόβλητο μπορεί να θεωρηθεί κάθε αντικείμενο ή ουσία για την οποία δεν υπάρχει κάποια χρήση και απορρίπτεται, ενώ μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε φυσική κατάσταση (στερεή, υγρή ή αέρια). Οι κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται τα απόβλητα είναι οι εξής (ΦΕΚ Α' 185/29.09.2020):

- Αστικά απόβλητα:
 - Αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ)
 - Ιλύες αστικού τύπου
- Βιομηχανικά απόβλητα:
 - Βιομηχανικά μη επικίνδυνα απόβλητα (BMEA)
 - Βιομηχανικά επικίνδυνα απόβλητα (BEA)
- Γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα (ΓΚΤ)
- Λοιπά επικίνδυνα απόβλητα
- Απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)
- Λοιπά ρεύματα αποβλήτων:
 - Απόβλητα λιπαντικών ελαίων (ΑΕ)
 - Οχήματα τέλους κύκλου ζωής (ΟΤΚΖ)
 - Απόβλητα συσσωρευτών οχημάτων και βιομηχανίας (ΑΣΟΒ)
 - Απόβλητα ηλεκτρικού ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)
 - Μεταχειρισμένα Ελαστικά Οχημάτων (ΜΕΟ)
- Επικίνδυνα απόβλητα υγειονομικών Μονάδων (ΕΑΥΜ)

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η παρούσα εργασία θα μελετήσει τα οφέλη της εναλλακτικής διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων. Είναι μία από τις πιο σημαντικές κατηγορίες αποβλήτων, όντας αυτά που παράγονται στην καθημερινότητα μας. Βέβαια αξίζει να αναφερθεί, πως ως ΑΣΑ δεν θεωρούνται μόνο αυτά που προκύπτουν από οικιακή χρήση, αλλά και αυτά που προκύπτουν από εμπορική, εφόσον έχουν παρόμοια σύνθεση.

Ανάλογα το υλικό (χαρτί, γυαλί, μέταλλο κ.ά.) και τη μορφή του αποβλήτου (καθαρό, αλλοιωμένο κ.ά.) υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι διαχείρισης τους. Η Ευρωπαϊκή ένωση με σκοπό των περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων αλλά και παράλληλη βελτίωση της αποδοτικότητας των πόρων προέβη στην ιεράρχηση των μεθόδων, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στο Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2. Πυραμίδα Ιεράρχησης Αποβλήτων (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2008)

Η παραπάνω αντίστροφη πυραμίδα περιγράφει τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης, δίνοντας προτεραιότητα στις πιο βιώσιμες λύσεις. Επεξηγώντας αυτές:

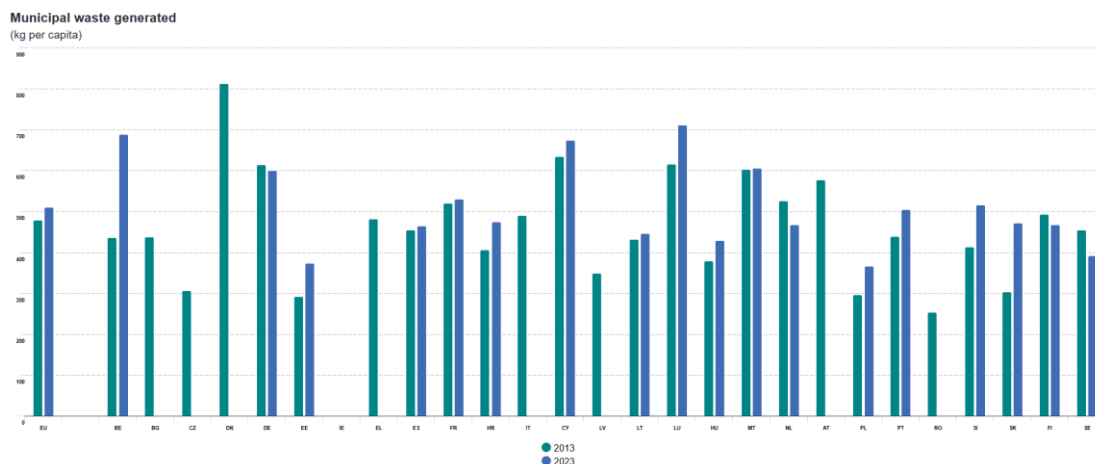
- Πρόληψη: μείωση της παραγωγής αποβλήτων στην πηγή
- Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση: επισκευή προϊόντων
- Ανακύκλωση: Μετατροπή αποβλήτων σε νέα υλικά
- Ανάκτηση: Αξιοποίηση απορριμμάτων για ενεργειακά κέρδη
- Διάθεση: Υγειονομική ταφή ή καύση αποβλήτων

2.2. Περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιπτώσεις από τη συμβατική διαχείριση των ΑΣΑ

Η άμεση σύνδεση με την προστασία του περιβάλλοντος, τη δημόσια υγεία, την αειφόρο ανάπτυξη και την επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας, καθιστά τη αποτελεσματική διαχείριση των ΑΣΑ μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις. Το μεγαλύτερο μέρος της συμβατικής διαχείρισης τους περιλαμβάνει υγειονομική ταφή, αποτέφρωση και ανεξέλεγκτη απόρριψη, οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις το περιβάλλον. Αν και έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος προς φιλικότερες προσεγγίσεις στο περιβάλλον, η πλειονότητα των ΑΣΑ διαχειρίζεται με τρόπους που το επιβαρύνουν, ιδιαίτερα σε χώρες με χαμηλές επενδύσεις στον τομέα.

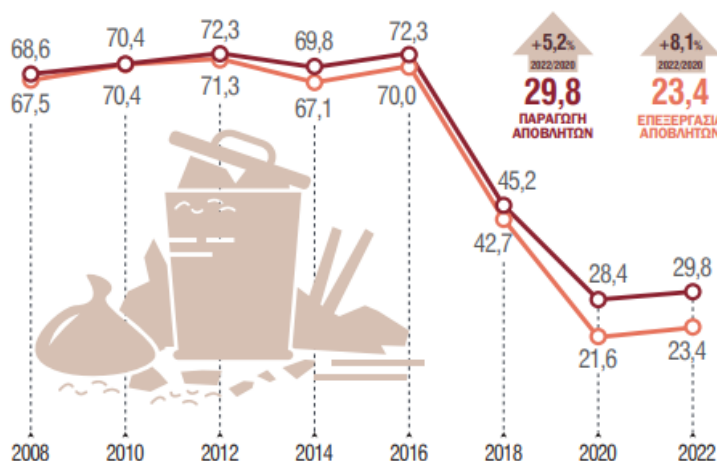
Η αστικοποίηση, η ανάπτυξη της οικονομίας και οι σύγχρονες καταναλωτικές συνήθειες είναι βασικοί λόγοι της αύξησης της παραγωγής αποβλήτων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχους για τη προώθηση της ανακύκλωσης και τη μείωση των συμβατικών μεθόδων διαχείρισης ΑΣΑ με σκοπό τη μείωση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών επιπτώσεων τους. Ένας από αυτούς τους στόχους είναι η επίτευξη ποσοστού 55% ταφής των ΑΣΑ το 2025 και 60% μέχρι το 2030 (Ευρωπαϊκό

Κοινοβούλιο, 2018). Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι, οι μέθοδοι διαχείρισης αποβλήτων ποικίλουν σημαντικά ανάμεσα στα κράτη-μέλη, με κάποιες χώρες να ανακυκλώνουν σε μεγάλο βαθμό και άλλες να βασίζονται ακόμη στην υγειονομική ταφή.



Διάγραμμα 3. Παραγόμενα αστικά απόβλητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή: Eurostat, 2025)

Όσον αφορά την Ελλάδα, η διαχείριση των ΑΣΑ βασίζεται ακόμα σε σημαντικό ποσοστό στην υγειονομική ταφή αποβλήτων παρά τις προσπάθειες για αύξηση της ανακύκλωσης. Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), στόχος είναι η μείωση της ταφής σε ποσοστό 10% μέχρι το 2030, αν και οι υπάρχον υποδομές αποτελούν εμπόδιο στην επίτευξη αυτού του στόχου.



Διάγραμμα 4. Παραγωγή και επεξεργασία στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2024)

Οι προσπάθειες για μετάβαση σε βιώσιμες μεθόδους διαχείρισης είναι εμφανείς, ωστόσο υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που τις εμποδίζουν. Οι προκλήσεις που καλείται η Ελλάδα να αντιμετωπίσει είναι:

- Έλλειψη απαραίτητων υποδομών
- Χαμηλή συμμετοχή των πολιτών

– Οικονομική και θεσμικοί περιορισμοί

Παρά την ευρεία χρήση των συμβατικών μεθόδων διαχείρισης είναι προφανές ότι υπάρχουν αρνητικές συνέπειες για το περιβάλλον. Αν και οι συμβατικές μέθοδοι καθιστούν εύκολη την απομάκρυνση αποβλήτων, παράγουν αυξημένους ρύπους επηρεάζοντας τόσο το έδαφος όσο τα ύδατα και τον αέρα, βλάπτοντας ακολούθως το οικοσύστημα και τη δημόσια υγεία, ενώ η μη αξιοποίηση αποβλήτων για ανάκτηση ενέργειας τις καθιστά σπάταλες. Τέτοιες επιπτώσεις μπορεί να είναι (EPA, 2023):

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
 - Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG)
 - Παραγωγή μεθανίου (CH_4) λόγω αποσύνθεσης οργανικών αποβλήτων
 - Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) από την καύση αποβλήτων
 - Ρύπανση εδάφους και υδάτων
 - Διαρροή ρύπων σε υπόγεια και επιφανειακά ύδατα
 - Μεταφορά τοξικών ουσιών στο έδαφος
 - Μόλυνση οικοσυστήματος
 - Επιπτώσεις σε πανίδα και χλωρίδα λόγω απόρριψης αποβλήτων
- Ενεργειακές επιπτώσεις
 - Κατανάλωση ενέργειας για διαχείριση
 - Ενεργειακή σπατάλη για συλλογή και μεταφορά αποβλήτων
 - Ενέργεια για λειτουργία εγκαταστάσεων
 - Ενεργειακές απώλειες λόγω μη αξιοποίησης αποβλήτων
 - Οργανικά απόβλητα που δεν κομποστοποιούνται ή υφίστανται αναερόβια χώνευση σπαταλούνται
 - Παραγωγή βιοαερίου ή θερμικής αξιοποίησης για ανάκτηση ενέργειας

Η μελέτη των περιβαλλοντικών και ενεργειακών επιπτώσεων της συμβατικής διαχείρισης αστικών αποβλήτων αναδεικνύει τις προκλήσεις για το περιβάλλον, το οικοσύστημα και τη δημόσια υγεία. Πλέον, η ανάγκη υιοθέτησης βιώσιμων λύσεων είναι εμφανέστατη και σε αυτή την προσπάθεια σύγχρονα υπολογιστικά μοντέλα όπως το WARM μπορούν να παίζουν σημαντικό ρόλο ποσοτικοποιώντας τις πιθανές ωφέλειες διαφόρων σεναρίων.

3. Μεθοδολογία και εφαρμογή του μοντέλου WARM

3.1. Το μοντέλο WARM: αρχές και εφαρμογές

Όπως έχει αναφερθεί, το μοντέλο WARM δημιουργήθηκε από την EPA και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1998. Από τότε, έχουν δημοσιευτεί άλλες 15 εκδόσεις με την τελευταία να κυκλοφορεί το 2023 καθιστώντας το μοντέλο ολοένα και πιο αποτελεσματικό και ολοκληρωμένο.

Το WARM αποτελεί ένα υπολογιστικό μοντέλο που προσφέρει συγκριτικές εκτιμήσεις σχετικά με τις πιθανές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, την εξοικονόμηση ενέργειας και τις οικονομικές επιπτώσεις που προκύπτουν από διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης διαφόρων υλικών. Το εργαλείο αξιολογεί συμβατικές και εναλλακτικές μεθόδους, όπως η μείωση στην πηγή, η υγειονομική ταφή, η ανακύκλωση, η κομποστοποίηση, η αναερόβια χώνευση και η καύση.

Ειδικότερα, τα υλικά που αναλύει είναι το χαρτί και το χαρτόνι, πλαστικά, διάφορα μέταλλα, γυαλί, τρόφιμα, υφάσματα, ξύλο, ελαστικά, ηλεκτρονικά απόβλητα, καθώς και απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων. Αναλυτικότερα, τα υλικά αναφέρονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τύποι υλικών που αναγνωρίζει το WARM

Υλικά		
Αλουμινένια κουτάκια	Υπολείμματα τροφίμων	Μικτά πλαστικά
Αλουμινένιο χυτήριο	Υπολείμματα τροφίμων(μόνο κρέας)	Μικτά ανακυκλώσιμα
Ασφαλτικό σκυρόδεμα	Υπολείμματα τροφίμων(χωρίς κρέας)	Εφημερίδες
Κεραμίδια ασφάλτου	Φρούτα και λαχανικά	Χαρτί γραφείου
Βοδινό κρέας	Γυαλί	PET
Κλαδιά	Δημητριακά	Τηλεφωνικοί κατάλογοι
Ψωμί	Χόρτα	PLA
Χαλί	Συσκευές έντυπου υλικού	Φορητές ηλ. συσκευές
Τούβλα	HDPE	Πουλερικά
Σκυρόδεμα	LDPE	PP
Χάλκινο σύρμα	Φύλλα δέντρων	PS
Κυματοειδές χαρτόνι	LLDPE	PVC
Οθόνες CRT	Περιοδικά	Κουτιά χάλυβα
Γαλακτοκομικά προϊόντα	MDF	Δομικός χάλυβας
Επεξεργαστές Η/Υ	Μικτά ηλεκτρονικά	Σχολικά εγχειρίδιο
Πριστή ξυλεία	Μικτά μέταλλα	Ελαστικά
Γυψοσανίδα	Μικτά ΑΣΑ	Δάπεδο βινυλίου
Ηλεκτρονικά περιφερειακά	Μικτά οργανικά	Δάπεδο από ξύλο
Μόνωση από υαλοβάμβακα	Γενικά μικτά χαρτιά	Κλαδεύματα αυλής
Επίπεδες οθόνες	Μικτά χαρτιά(κυρίως γραφείου)	Τέφρα
Μικτά χαρτιά(κυρίως οικιακά)		

Εισάγοντας τα δεδομένα που αντιστοιχούν στις αντίστοιχες μεθόδους, το WARM υπολογίζει τις εκπομπές αερίων, την κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς και τους οικονομικούς δείκτες για διάφορες κατηγορίες που

συναντώνται στα ΑΣΑ και στα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων. Οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν:

- Ισοδύναμο CO₂ σε μετρικούς τόνους (MTCO₂E)
- Ενεργειακή κατανάλωση σε εκατομμύρια βρετανικών θερμικών μονάδων (BTU)
- Ανθρώπινες εργατοώρες
- Μισθολογικές αποδοχές (\$)
- Φορολογικά έσοδα (\$)

Το WARM προτείνεται για χρήση τόσο από οργανισμούς όσο και ιδιώτες, συμπεριλαμβανομένων τοπικών και κρατικών αρχών, μικρών επιχειρήσεων και μεγάλων βιομηχανιών, νοικοκυριών και λοιπών ενδιαφερόμενων φορέων που σκοπεύουν να περιορίσουν τις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον, την περίσσεια κατανάλωσης ενέργειας και παραπάνω οικονομικά έξοδα λόγω αυτών.

Παρ' όλα αυτά, αξίζει να αναφερθεί πως το παραπάνω μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη ορισμένους παράγοντες όπως, παραδείγματος χάριν, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ρύπανση υδάτων και η ηχορύπανση σε συγκεκριμένες περιοχές και για αυτό δεν προτείνεται για λήψη τελικών αποφάσεων. Περαιτέρω, το WARM δεν ενδείκνυται για ανάπτυξη απογραφών αναφοράς εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αφού χρειάζονται βάση αναφοράς και ετήσιες μετρήσεις για τον εκάστοτε οργανισμό.

3.2. Δεδομένα και παραδοχές της εργασίας

Για την εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής αξιοπιστίας της μελέτης, τα δεδομένα που επιλέχθηκαν αποτελούν τα πιο πρόσφατα δημοσιευμένα και αφορούν τα έτη 2022 και 2023. Έτσι, αποφεύγεται η επίδραση μεμονωμένων εξωτερικών παραγόντων όπως η πανδημία COVID-19, και παρουσιάζει αποτελέσματα που αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια τις καθημερινές συνθήκες. Παράλληλα, η άντληση δεδομένων από πολλαπλά έτη προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα σύγκρισης αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων με μειωμένο κίνδυνο σφάλματος από ιδιαιτερότητες που μπορεί να προκύψουν όπως εσωτερικούς επαναλαμβανόμενους παράγοντες όπως η διακοπή ή μείωση παραγωγής για λόγους συντήρησης μηχανημάτων.

Από τα δημοσιευμένα δεδομένα, επιλέχθηκε ένα μέρος αυτών, αυτά που θεωρήθηκαν από τον συγγραφέα πιο σημαντικά. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν και οργανώθηκαν σε φύλλα εργασίας Excel και ορίστηκαν ως παράμετροι στο μοντέλο WARM (βλ. Παράρτημα 1). Τα δεδομένα του δείγματος που αναφέρθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Δεδομένα της μελέτης προς ανάλυση

Ανακυκλώσιμα Απορρίμματα(τόνοι)	Έτος		Ποσοστιαία Διαφορά
	2022	2023	2022-2023
Χαρτί	394,77	434,96	10,18%
Πλαστικό	345,73	226,19	-34,58%
Αλουμίνιο	647,53	108,1	-83,31%
Άλλα μέταλλα	146,55	115,98	-20,86%
Γυαλί	730,15	754,8	3,38%
Βιολογικά απόβλητα	488,66	438,97	-10,17%
Λοιπά	1.116,59	1.064,89	-4,63%
Σύνολο	3.869,98	3.143,89	-18,77%

Αν και είναι γνωστό ότι μέρος των απορριμμάτων του υπό μελέτη οργανισμού ενδέχεται να οδηγείται σε διεργασίες όπως η ανακύκλωση, η κομποστοποίηση ή και η ενεργειακή αξιοποίηση, τα διαθέσιμα δεδομένα δεν περιλαμβάνουν επαρκώς τεκμηριωμένα ποσοτικά στοιχεία για το τι ποσοστό της κάθε ροής αποβλήτων ακολουθεί την καθεμία από αυτές τις διαδρομές. Δεδομένης της έλλειψης αξιόπιστης και αναλυτικής κατανομής, και προκειμένου να εξασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των σεναρίων που θα αναπτυχθούν, στην παρούσα μελέτη υιοθετείται η παραδοχή ότι το baseline σενάριο αφορά στην πλήρη υγειονομική ταφή του συνόλου των αστικών στερεών αποβλήτων. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την εκτίμηση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών ωφελειών από την εφαρμογή εναλλακτικών μορφών διαχείρισης σε σχέση με ένα κοινώς αναγνωρίσιμο και περιβαλλοντικά επιβαρυντικό σημείο αναφοράς.

Επιπλέον, στη συγκεκριμένη ανάλυση δεν λαμβάνεται υπόψη η παράμετρος της απόστασης μεταφοράς μεταξύ του σημείου συλλογής των αποβλήτων και των μονάδων επεξεργασίας ή τελικής διάθεσης, καθώς δεν διατίθενται επαρκή και αξιόπιστα δεδομένα για τις ακριβείς αποστάσεις ή τις διαδρομές μεταφοράς. Παρόλο που η μεταφορά μπορεί να συμβάλλει στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σύμφωνα με το μοντέλο WARM, η επίδραση της μεταφοράς είναι συνήθως περιορισμένη σε σύγκριση με τις κύριες φάσεις διαχείρισης των αποβλήτων (όπως η ταφή, η καύση ή η ανακύκλωση), εκτός εάν οι αποστάσεις είναι σημαντικά μεγάλες ή η τεχνολογία μεταφοράς ιδιαίτερα ενεργοβόρα. Κατά συνέπεια, προκειμένου να διατηρηθεί η συγκρισιμότητα των σεναρίων και να αποφευχθεί η εισαγωγή αβεβαιοτήτων, η μεταφορά θεωρείται ουδέτερη μεταβλητή στην παρούσα μελέτη και επομένως αξιοποιήθηκαν οι πρότυπες τιμές του WARM, οι οποίες ανέρχονται στα 32 χιλιόμετρα προς κάθε κατεύθυνση.

3.3. Σεναρία διαχείρισης αποβλήτων

Για την παρούσα εργασία, οι υπολογισμοί με το μοντέλο WARM βασίστηκαν στη σύγκριση δύο σεναρίων: ενός αρχικού και ενός εναλλακτικού. Στο αρχικό σενάριο, θεωρήθηκε ότι όλα τα απόβλητα οδηγούνται σε υγειονομική ταφή, χωρίς καμία μορφή εναλλακτικής διαχείρισης. Στο εναλλακτικό σενάριο, εξετάστηκαν

διαφορετικά ποσοστά επεξεργασίας των αποβλήτων μέσω ανακύκλωσης, και κομποστοποίησης, ανάλογα με το είδος κάθε αποβλήτου. Με βάση τις τιμές του Πίνακα 2, εισήχθησαν τα αντίστοιχα δεδομένα στο μοντέλο και διαμορφώθηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια.

Πίνακας 3. Εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης αποβλήτων προς ανάλυση

Σενάρια	Ποσοστό σεναρίου εναλλακτικής διαχείρισης	Εφικτότητα
S0(baseline)	0%	-
S1	20%	Υψηλή
S2	40%	Υψηλή
S3	60%	Μέτρια
S4	80%	Χαμηλή
S5	100%	Θεωρητικό

Η εφικτότητα των σεναρίων βασίστηκε στο κατά πόσο μπορούν να εφαρμοστούν οι προτεινόμενες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων, με βάση την παρούσα κατάσταση του οργανισμού. Τα σενάρια S1 και S2 θεωρούνται περισσότερο ρεαλιστικά, καθώς απαιτούν περιορισμένες αλλαγές και μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς μεγάλες παρεμβάσεις. Το σενάριο S3 προϋποθέτει αυξημένες προσπάθειες και κάποιες επενδύσεις, για αυτό και χαρακτηρίζεται μέτριας εφικτότητας. Όσο προχωράμε προς τα σενάρια S4 και S5, οι απαιτήσεις αυξάνονται σημαντικά και χρειάζονται εκτεταμένες αλλαγές, περισσότεροι πόροι και καλύτερη οργάνωση. Το S4 είναι δύσκολα εφαρμόσιμο, ενώ το S5 αποτελεί ένα ιδανικό αλλά προς το παρόν θεωρητικό σενάριο, που ενσωματώνεται στη μελέτη για να εξεταστούν τα όρια των δυνατοτήτων στο μέλλον.

3.4. Βασικοί δείκτες αξιολόγησης

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τα οφέλη από την εναλλακτική διαχείριση των απορριμμάτων, είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσουμε συγκεκριμένους δείκτες που ποσοτικοποιούν τους τα “κέρδη” των ρύπων. Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο WARM αξιοποιεί δύο βασικούς δείκτες: οι μετρικοί τόνοι ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (MTCO₂E) και οι βρετανικές θερμικές μονάδες (BTU).

Ο πρώτος δείκτης, MTCO₂E, μας δείχνει τις ποσότητες των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (όπως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο κ.ά.) που αποφεύγονται χάρη στις διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων. Όλα αυτά μετατρέπονται σε έναν κοινό όρο, το διοξείδιο του άνθρακα, ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε εύκολα τα σενάρια και να δούμε ποιο είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

Ο δεύτερος δείκτης, BTU, αφορά την ενέργεια. Μας δείχνει αν οι εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης εξοικονομούν ενέργεια αλλά και πόση. Ουσιαστικά, κάθε υλικό που διαχειριζόμαστε έχει ένα ενεργειακό "αποτύπωμα", και ο δείκτης BTU βοηθά στον υπολογισμό της εξοικονομούμενης ενέργειας ανάλογα με την επιλεγμένη μέθοδο διαχείρισης των αποβλήτων. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι

η εκάστοτε πρακτική διαχείρισης των απορριμμάτων απαιτεί την κατανάλωση μιας συγκεκριμένης ποσότητας ενέργειας, γεγονός που επηρεάζει το τελικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Οι δύο αυτοί δείκτες λειτουργούν συμπληρωματικά· ο $MTCO_2E$ δείχνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενώ ο BTU δίνει την ενεργειακή εικόνα. Στην συνέχεια της εργασίας, με τη βοήθεια γραφημάτων, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για τον προς μελέτη οργανισμό, ώστε να είναι ξεκάθαρα τόσο για τον αναλυτή όσο και για κάθε πιθανό αναγνώστη τα οφέλη για το περιβάλλον και την ενεργειακή κατανάλωση.

4. Αποτελέσματα και ανάλυση

4.1. Σύγκριση των σεναρίων διαχείρισης

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για τις ποσότητες και τα είδη των αποβλήτων εισήχθησαν στο μοντέλο WARM για κάθε σενάριο διαχείρισης ξεχωριστά. Με βάση αυτά, το εργαλείο παρήγαγε τις αντίστοιχες τιμές για τις εκπομπές (MTCO₂E) και την ενεργειακή επίπτωση (BTU), επιτρέποντας συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων. Παρακάτω δίνονται οι Πίνακες 4 και 5 στους οποίους παρατίθενται τα αποτελέσματα εξοικονόμησης του WARM για τις περιβαλλοντικές και ενεργειακές επιπτώσεις των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης αντίστοιχα.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα εξοικονόμησης συνολικού συνδυασμού σε MTCO₂E

Εξοικονόμηση σε MTCO ₂ E	Σενάρια ανακύκλωσης ή κομποστοποίησης				
Έτος	20%	40%	60%	80%	100%
2022	2.353	4.707	7.060	9.414	11.767
2023	1.310	2.621	3.931	5.241	6.552

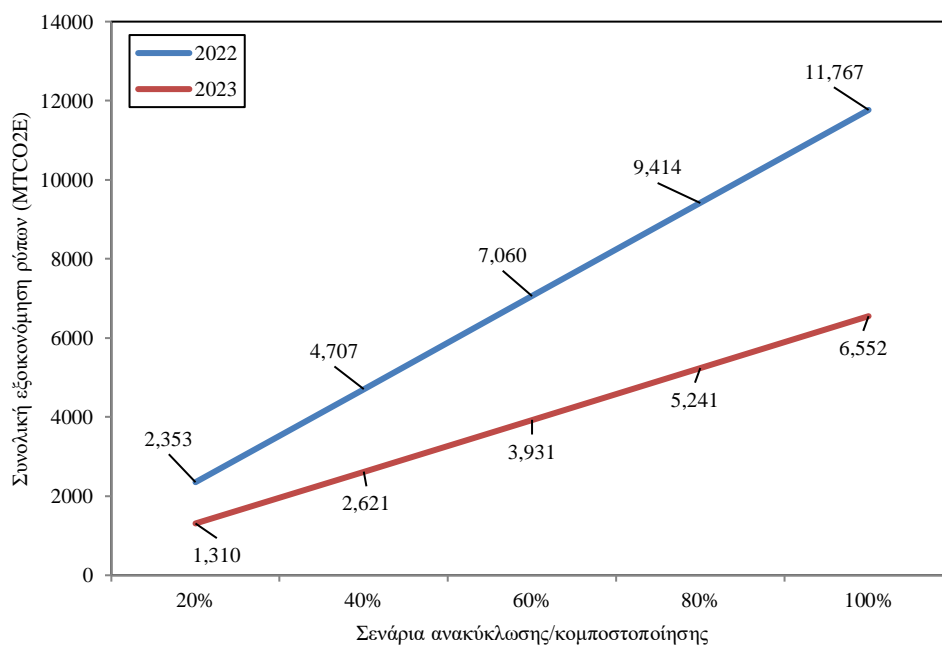
Πίνακας 5. Αποτελέσματα εξοικονόμησης συνολικού συνδυασμού σε εκατομμύρια BTU

Εξοικονόμηση σε BTU	Σενάρια ανακύκλωσης ή κομποστοποίησης				
Έτος	20%	40%	60%	80%	100%
2022	28.579	57.158	85.737	114.316	142.895
2023	10.952	21.905	32.857	43.810	54.762

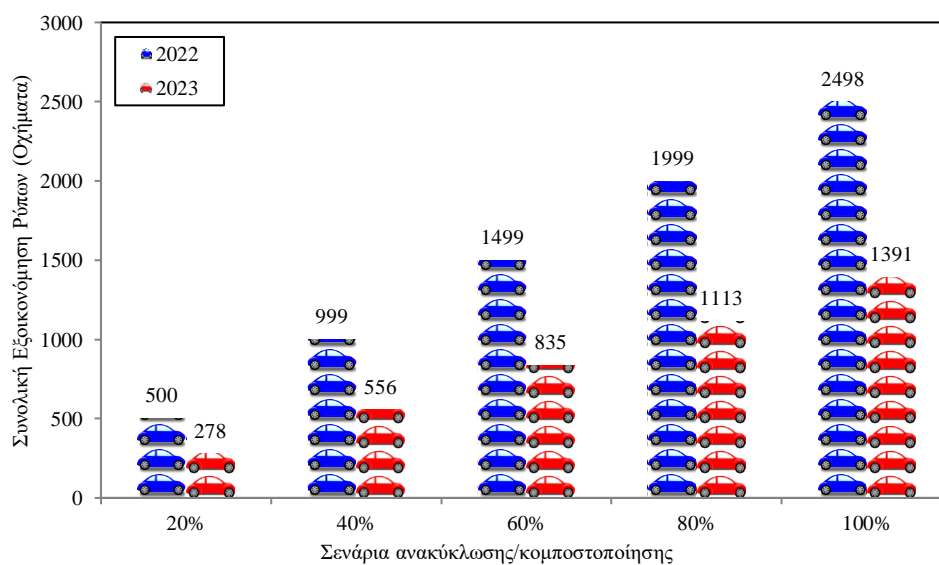
4.2. Εκτίμηση των περιβαλλοντικών ωφελειών

Όπως έχει αναφερθεί, οι τελικές τιμές που μας δόθηκαν από το WARM, μετά από τους απαραίτητους υπολογισμούς, αξιοποιήθηκαν για την δημιουργία τεσσάρων διαγραμμάτων στα οποία περιγράφεται, σε θεωρητικό επίπεδο, η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τα διάφορα σενάρια εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων που μας απασχολούν.

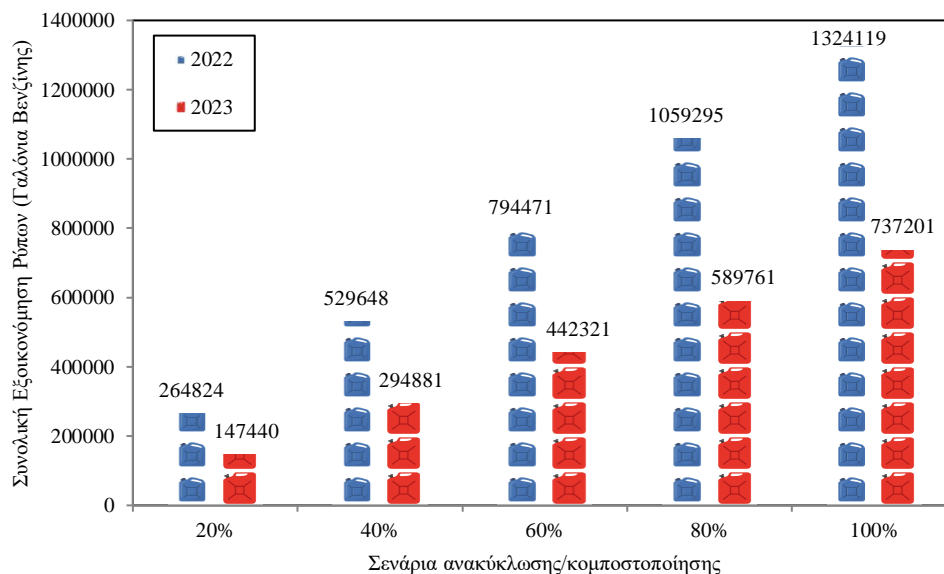
Στα Διαγράμματα 5-8 παρουσιάζονται οι “αποταμιεύσεις” για το σύνολο των απορριμμάτων τόσο σε μετρικούς τόνους όσο και στα ισοδύναμα.



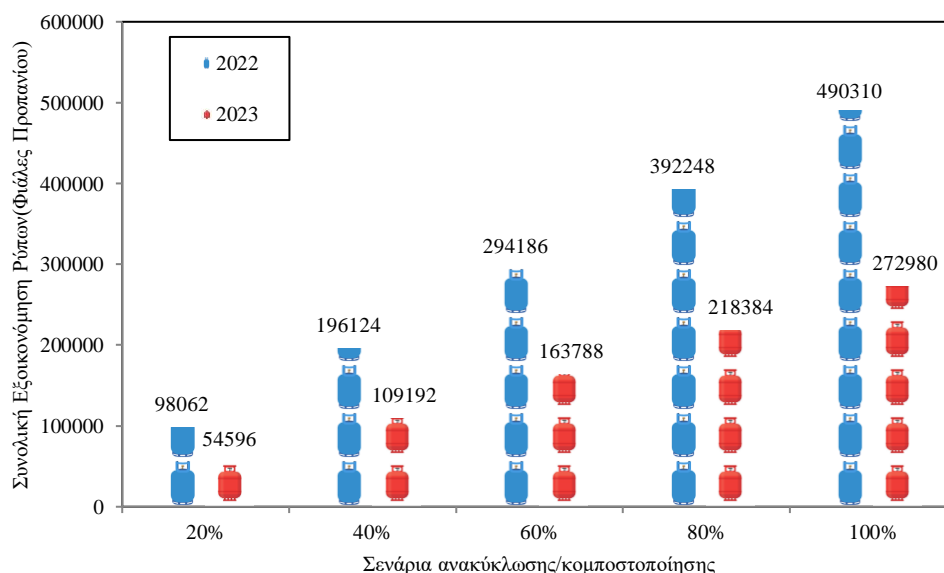
Διάγραμμα 5. Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε MTCO₂E.



Διάγραμμα 6. Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε επιβατικά οχήματα.



Διάγραμμα 7. Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε γαλόνια βενζίνης.



Διάγραμμα 8. Συνολική μείωση εκπομπών αερίων σε φιάλες προπανίου.

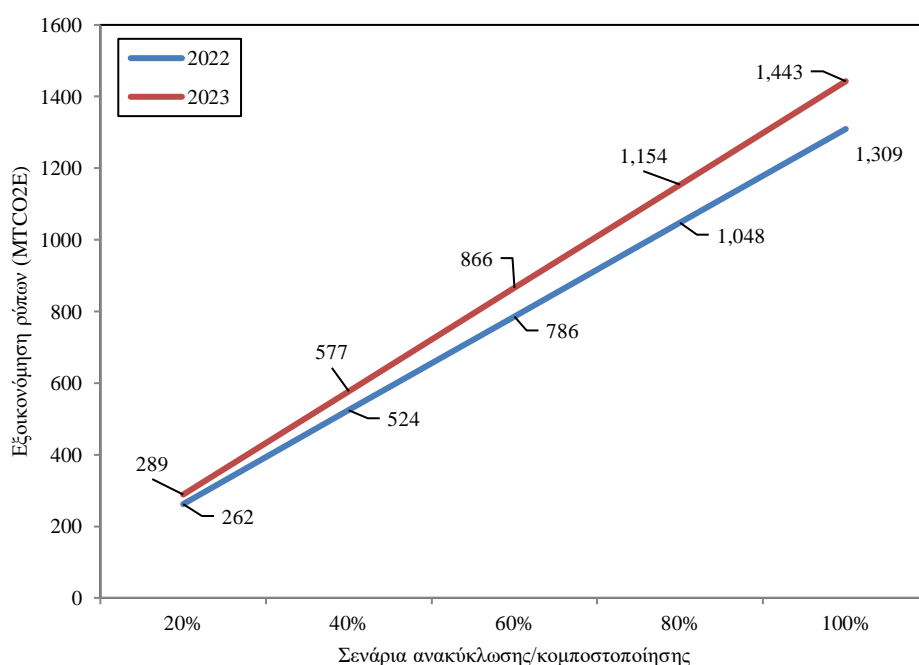
Όπως παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 5 έως 8, παρατίθενται τα αποτελέσματα του μοντέλου WARM αναφορικά με τα διάφορα σενάρια εναλλακτικής διαχείρισης των συνολικών αποβλήτων της εταιρείας.

Εστιάζοντας στο σενάριο μέτριας εφικτότητας, για το έτος 2022 εκτιμάται ότι θα μπορούσε να επιτευχθεί μείωση εκπομπών περίπου 7.000 μετρικών τόνων CO₂. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί ενδεικτικά στις ετήσιες εκπομπές περίπου 1.500 επιβατικών οχημάτων, στην καύση 800.000 γαλονιών βενζίνης ή στη χρήση 295.000 φιαλών προπανίου.

Για το έτος 2023, το ίδιο σενάριο προβλέπει αντίστοιχη μείωση κατά περίπου 4.000 μετρικούς τόνους CO₂, ποσότητα που ισοδυναμεί με τις ετήσιες εκπομπές

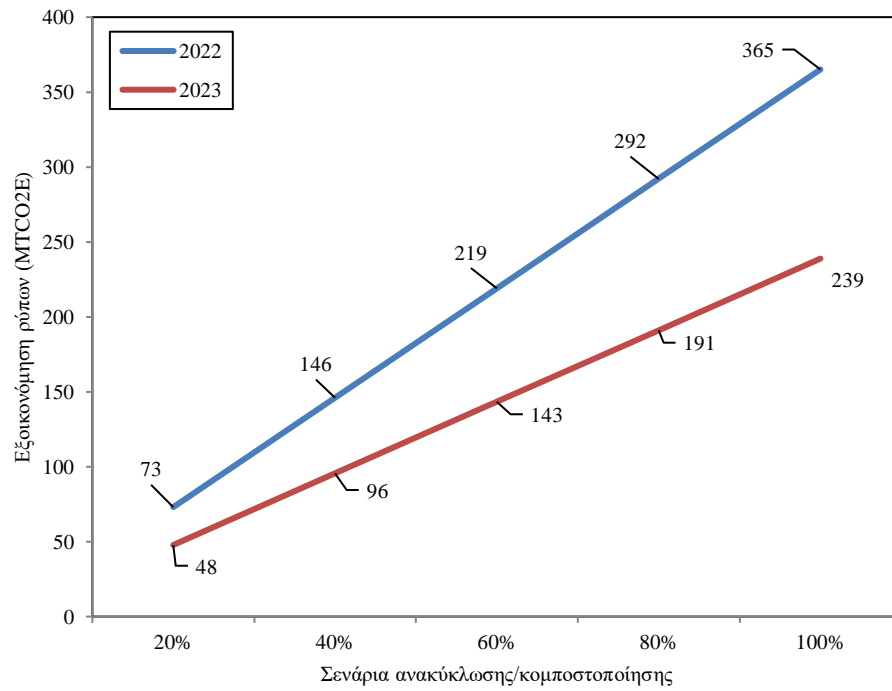
περίπου 850 επιβατικών οχημάτων, 440.000 γαλονιών βενζίνης ή 164.000 φιαλών προπανίου. Τα ευρήματα αυτά αναδεικνύουν τη σημαντική συμβολή που μπορεί να έχει η εφαρμογή μέτρων εναλλακτικής διαχείρισης αποβλήτων στον περιορισμό του ανθρακικού αποτυπώματος της εταιρείας.

Αναλύοντας περαιτέρω τα αποτελέσματα, μια ακόμη διαπίστωση είναι πως για κάθε αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης ή κομποστοποίησης, υπάρχει ανάλογη αύξηση της συνολικής εξοικονόμησης. Για παράδειγμα, για διπλασιασμό του ποσοστού από 40% σε 80% , το 2022, παρατηρείται και διπλασιασμός της εξοικονόμησης από 4.700 σε 9.400 μετρικούς τόνους. Παρόμοια πρότυπα καταγράφονται και για κάθε επιμέρους υλικό, με τις σχετικές μειώσεις εκπομπών να παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 9-15. Η συνέπεια αυτή ενισχύει την αξιοπιστία τόσο της υπολογιστικής μεθοδολογίας όσο και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή της.



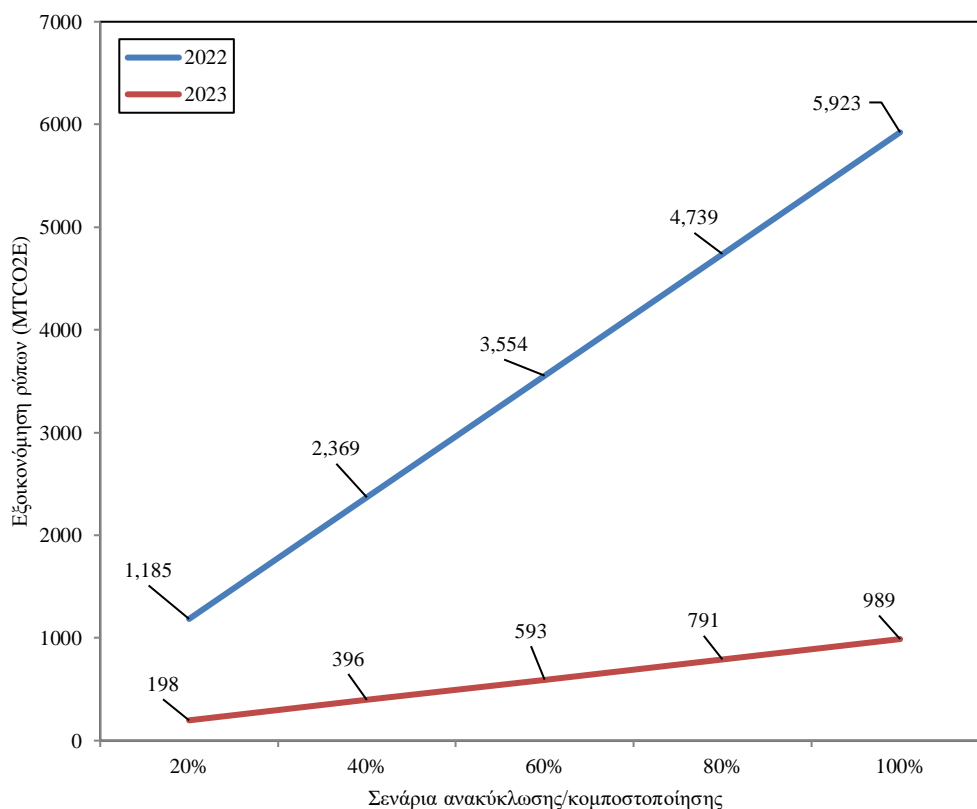
Διάγραμμα 9. Μειώσεις εκπομπών MTCO₂E για ανακύκλωση χαρτιού.

Όσον αφορά το χαρτί, είναι το υλικό με τη μεγαλύτερη ποσοτική αύξηση από το ένα έτος στο άλλο. Η ανακύκλωση του φαίνεται να είναι αρκετά αποδοτική, έπειτα από σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά, όπως φαίνεται παρακάτω. Στα σενάρια υψηλής και μέτριας εφικτότητας, οι πιθανές εξοικονομήσεις εκπομπών ανέρχονται μεταξύ 275 και 825 μετρικούς τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Αξίζει να αναφερθεί, πως οι ετήσιες μειώσεις των ρύπων του χαρτιού δεν ακολουθούν αυτές του συνδυασμού υλικών, καθώς είναι αυξημένες το 2023.



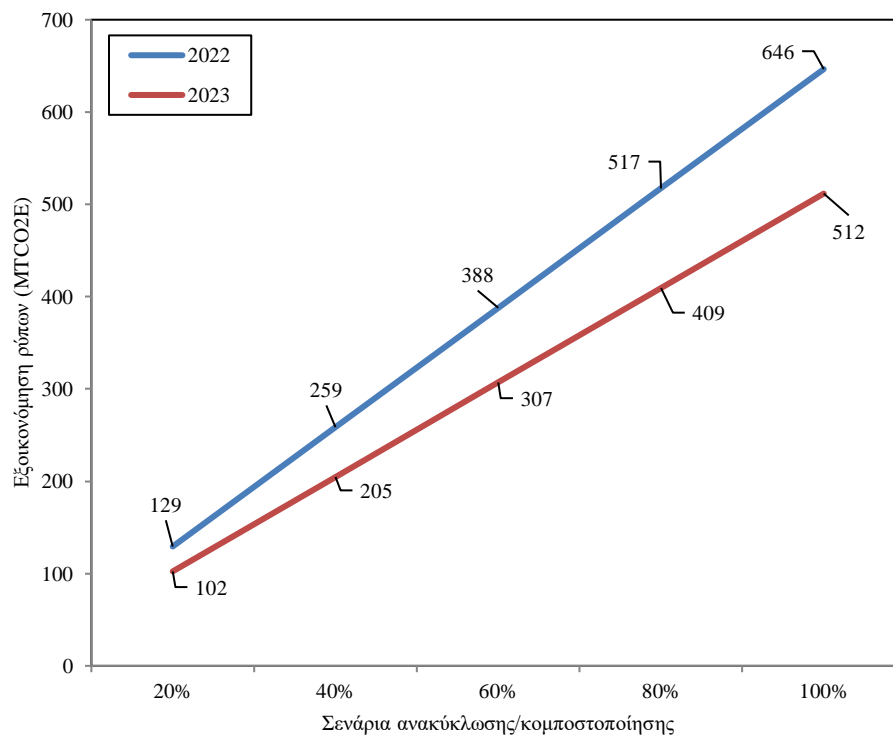
Διάγραμμα 10. Μειώσεις εκπομπών MTCo₂E για ανακύκλωση πλαστικού.

Σε αντίθεση με το χαρτί, η ποσότητα του πλαστικού παρουσίασε πτώση της τάξεως του 35% το 2023. Στα ρεαλιστικά σενάρια, δηλαδή 20-60%, οι τιμές του κυμαίνονται από 73 έως 220 μετρικούς τόνους και 48 έως 143 μετρικούς τόνους για τις δύο χρονιές αντίστοιχα. Συγκριτικά με το χαρτί, η συμβολή του πλαστικού στην συνολική μείωση των εκπομπών είναι αρκετά μικρότερη.



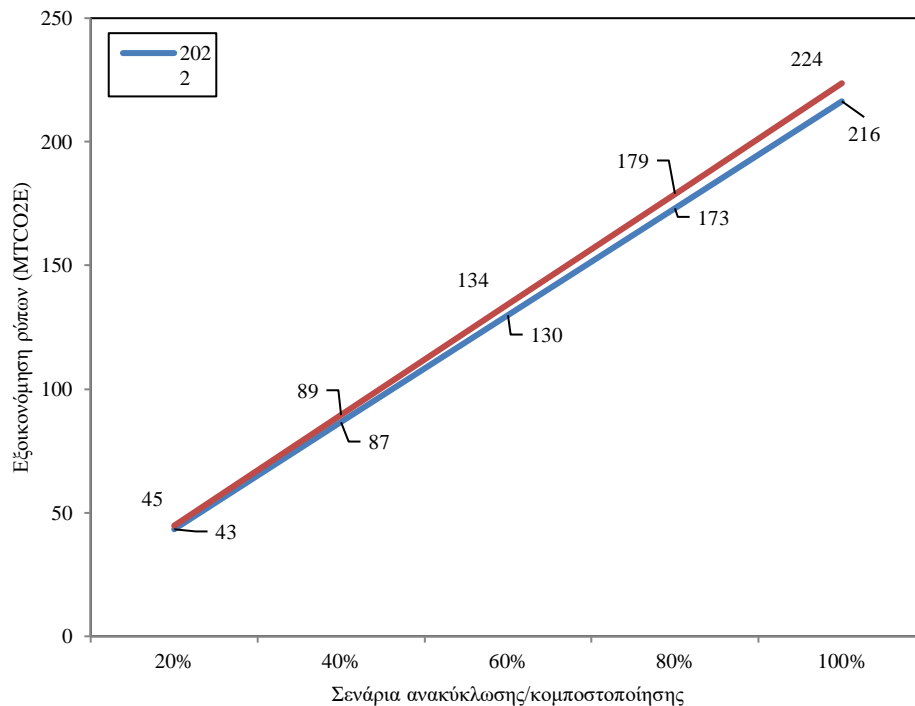
Διάγραμμα 11. Μειώσεις εκπομπών MTCo₂E για ανακύκλωση αλουμινίου.

Το αλουμίνιο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ποσοτική πτώση το 2023. Παρά αυτή την αισθητή μείωση, η ανακύκλωση του φαίνεται να είναι η πιο συμφέρουσα σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά. Το 2022, η παραχθείσα ποσότητα αλουμινίου αντιστοιχεί περίπου στο 17% της συνολικής ποσότητας των αποβλήτων, ενώ η συμβολή του στην συνολική εξοικονόμηση ρύπων ανέρχεται περίπου στο 50%. Αντίστοιχα, το 2023 η ποσότητα του καλύπτει περίπου το 3,5% της συνολικής ενώ καλύπτει το 15% της εξοικονόμησης.



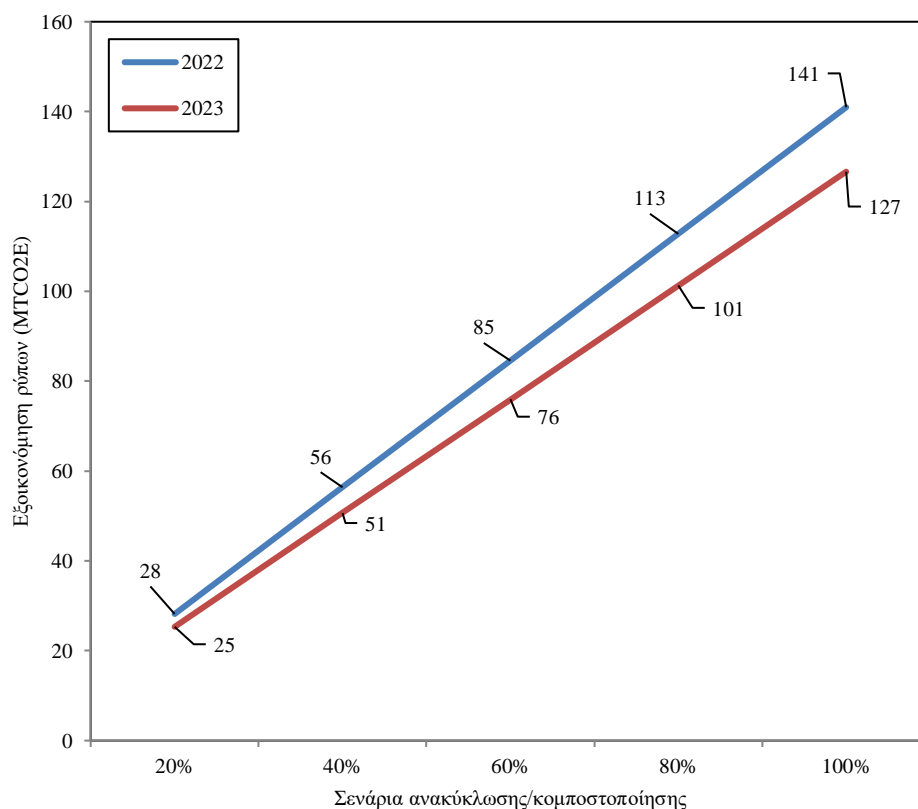
Διάγραμμα 12. Μειώσεις εκπομπών MTCO₂E για ανακύκλωση άλλων μετάλλων.

Όσο αφορά τα άλλα ή μεικτά μέταλλα, υπάρχει μείωση της παραγόμενης ποσότητας κατά περίπου 21% ανάμεσα στα δύο έτη που μας απασχολούν. Κατά μέσο όρο, για τα δύο έτη και τα ρεαλιστικά σενάρια, οι πιθανές μειώσεις ρύπων ξεκινούν από περίπου 115 και ανέρχονται στους 346 μετρικούς τόνους διοξειδίου του άνθρακα.



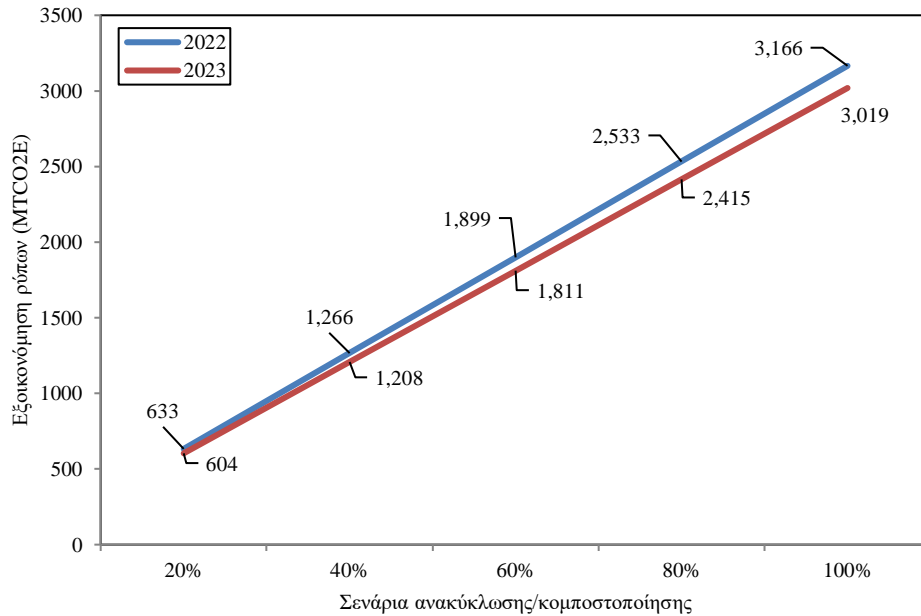
Διάγραμμα 13. Μειώσεις εκπομπών MTCO₂E για ανακύκλωση γυαλιού.

Όπως και το χαρτί, το γυαλί αντιτίθεται στην συνολική μείωση παραγόμενης ποσότητας αποβλήτων, παρουσιάζοντας αύξηση κατά 3,38% το 2023 σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά. Για τα ρεαλιστικά σενάρια, οι τιμές της εξοικονόμησης βρίσκονται στο εύρος 44 και 132 μετρικών τόνων CO₂. Αξίζει να σημειωθεί, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, πως το γυαλί παρουσιάζει την δεύτερη χειρότερη αποδοτικότητα εξοικονόμησης ρύπων ανά τόνο υλικού.



Διάγραμμα 14. Μειώσεις εκπομπών MTCO₂E για κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων.

Από την σύσταση υλικών που μας απασχολεί, τα βιολογικά απόβλητα αποτελούν το μόνο είδος υλικού με χειρότερο συντελεστή εξοικονόμησης MTCO₂ από το γυαλί. Για το σενάριο 60% κομποστοποίησης, για τους 489 τόνους βιολογικών αποβλήτων εξοικονομούνται μόνο 85 μετρικοί τόνοι και για 439 βιοαποβλήτων μόνο 76 μετρικοί τόνοι μετρικοί τόνοι διοξειδίου για τα δύο έτη , αντίστοιχα.

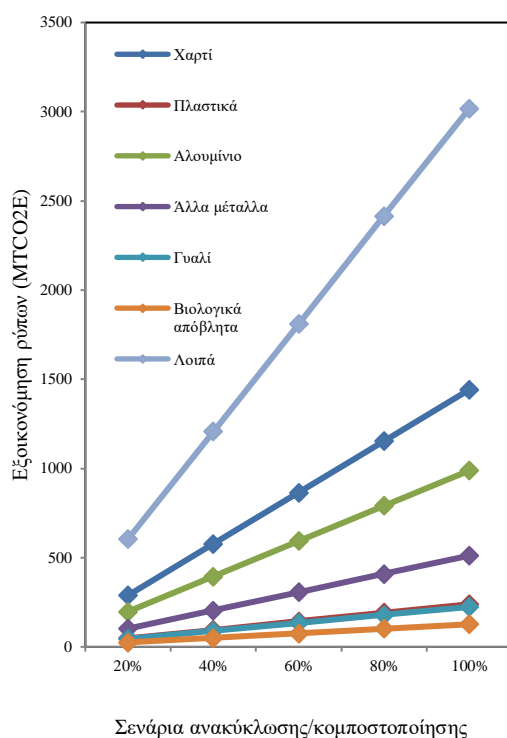
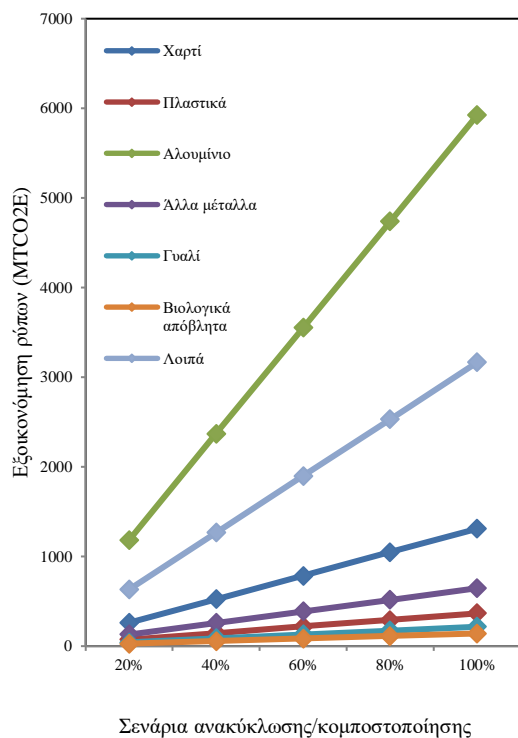


Διάγραμμα 15. Μειώσεις εκπομπών MTCO₂E για ανακύκλωση λοιπών.

Τα μεικτά ανακυκλώσιμα υλικά ή “Λοιπά” παρουσιάζουν την μικρότερη πτώση από τα υλικά που μειώθηκε η παραγωγή τους ανάμεσα στα δύο έτη που μελετιούνται. Για τα σενάρια υψηλής και μέτριας εφικτότητας, οι τιμές των πιθανών μειώσεων εκπομπών ρύπων κυμαίνονται από περίπου 618 έως και 1.855 μετρικούς τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Αναφέρεται ότι τα λοιπά ανακυκλώσιμα υλικά βρίσκονται στην μέση της κατάταξης των υλικών με τα οποία ασχολείται η συγκεκριμένη μελέτη με συντελεστή εξοικονόμησης ρύπων 2,8.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, για το σενάριο 60%, παρατηρήθηκε ότι το πρώτο έτος την μεγαλύτερη συμβολή στην μείωση των εκπομπών είχε το αλουμίνιο με 3.554 μετρικούς τόνους ενώ τη μικρότερη συμβολή παρουσίασαν τα βιολογικά απόβλητα με μόλις 85 τόνους. Το δεύτερο έτος, την “πρωτιά” φαίνεται να παίρνουν τα λοιπά ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ με τη μικρότερη συμβολή παραμένουν τα βιολογικά απόβλητα με 1.899 και 76 μετρικούς τόνους, αντίστοιχα.

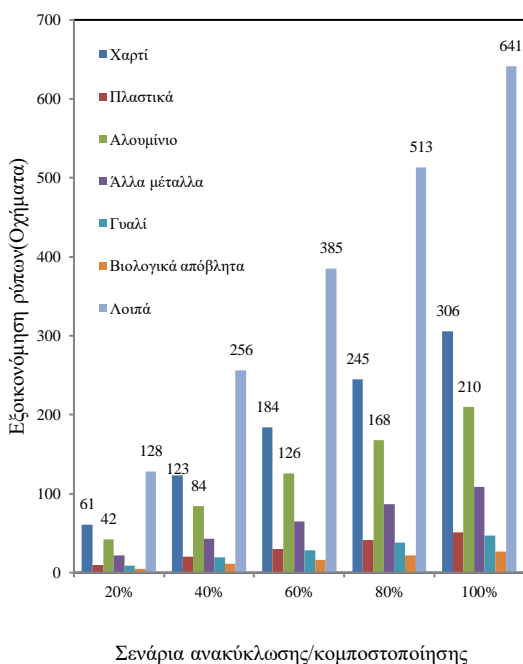
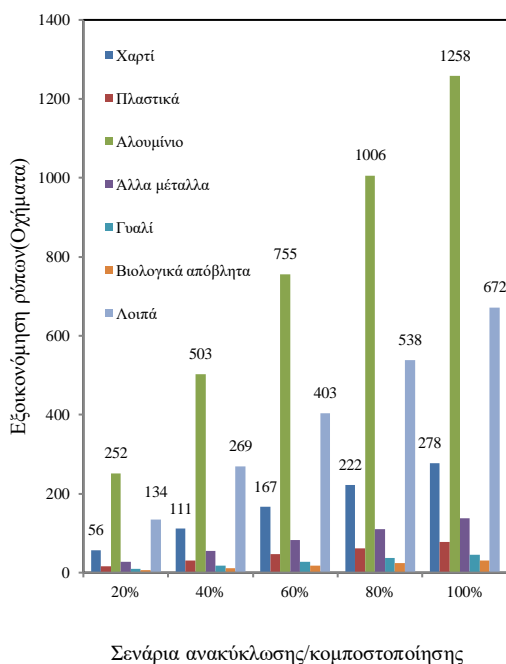
Για την πληρέστερη κατανόηση της κλίμακας μείωσης εκπομπών ανά υλικό, καθώς και την απόκτηση μιας συνολικής εικόνας των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκαν παρακάτω γραφήματα. Τα Διαγράμματα 16 αποτυπώνουν συγκεντρωτικά τα δεδομένα για όλα τα υλικά που αναλύθηκαν παραπάνω.



(α)

(β)

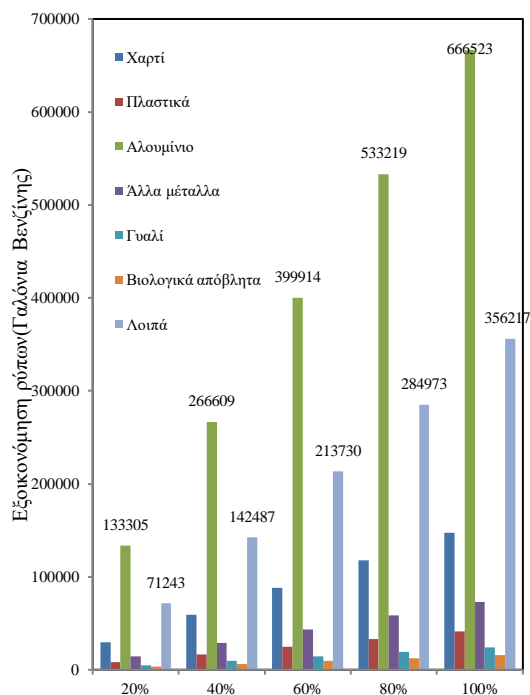
Διάγραμμα 16. Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε MTCO₂E: α. 2022, β. 2023



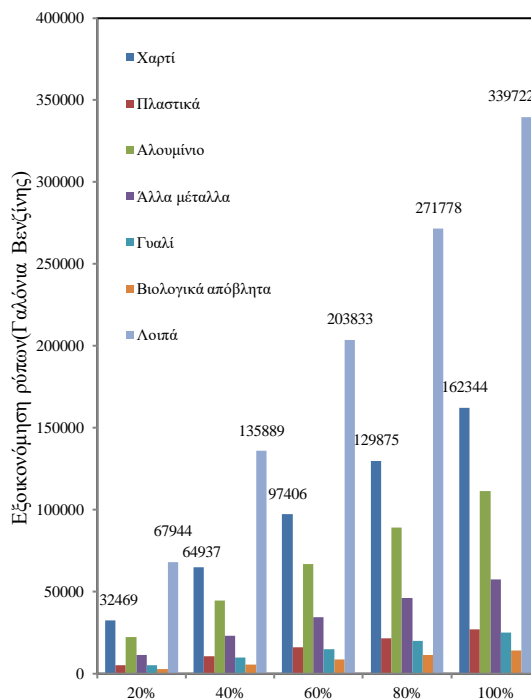
(α)

(β)

Διάγραμμα 17. Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε επιβατικά οχήματα: α. 2022, β. 2023



Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

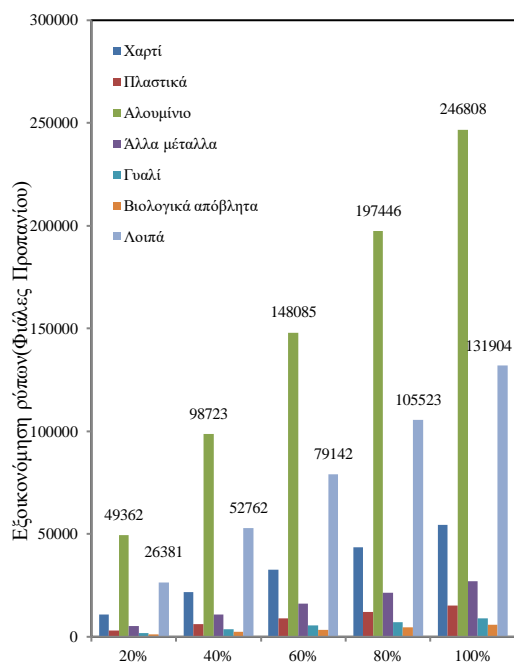


Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

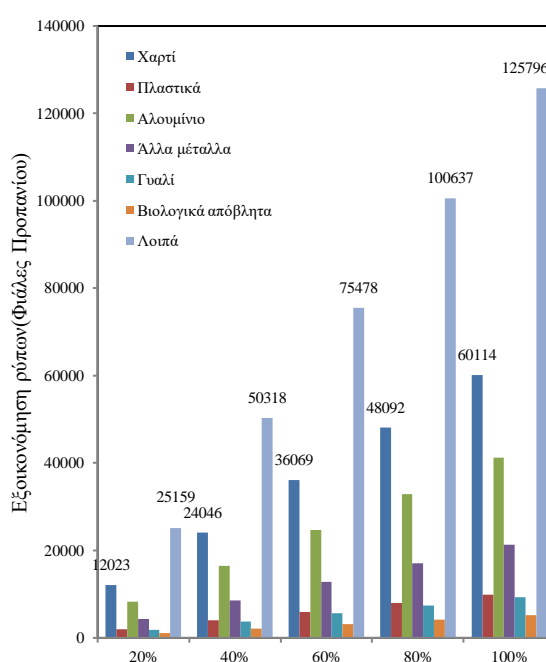
(α)

(β)

Διάγραμμα 18. Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε γαλόνια βενζίνης: α. 2022, β. 2023



Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης



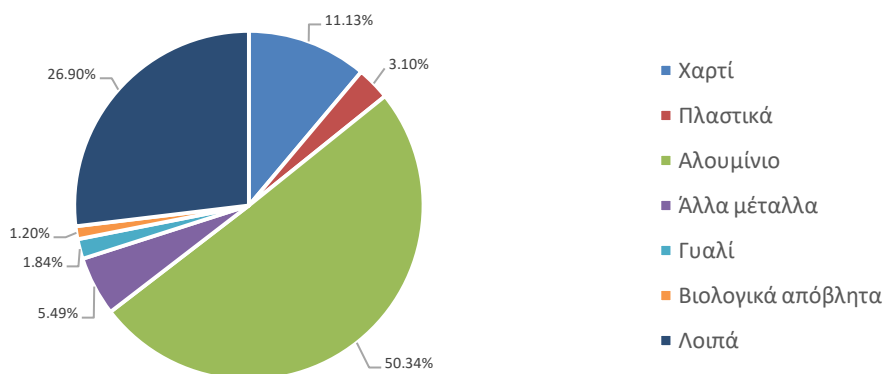
Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

(α)

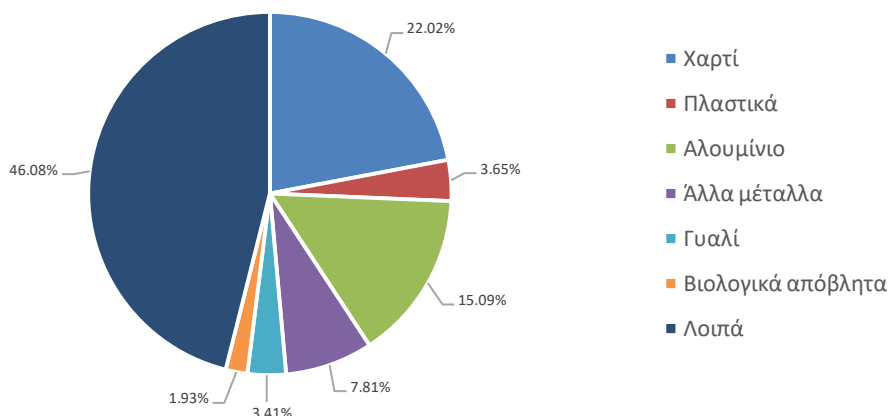
(β)

Διάγραμμα 19. Σύγκριση μεταβολών εκπομπών σε φιάλες προπανίου: α. 2022, β. 2023

Στα διαγράμματα 17-19, παρουσιάζονται τα είδη αποβλήτων με την μεγαλύτερη απόδοση ως προς τα ισοδύναμα, συγκριτικά μεταξύ τους, επαληθεύοντας το συμπέρασμα που εκπονήθηκε προηγουμένως για την αποδοτικότητα του αλουμινίου και των λοιπών ανακυκλώσιμων για τα δύο έτη.



Διάγραμμα 20. Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση εκπομπών το 2022



Διάγραμμα 21. Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση εκπομπών το 2023

Στα δύο προηγούμενα γραφήματα “πίτες” (βλ. Διάγραμμα 20 και 21) απεικονίζεται η ποσοστιαία σύσταση του συνολικού όγκου των αποβλήτων που τίθεται προς μελέτη. Προκειμένου να αποφευχθεί παρερμηνεία, αναφέρεται πως οι τιμές που αναγράφονται είναι πανομοιότυπες για όλα τα πιθανά σενάρια, αφού οι τιμές αυξομειώνονται αναλογικά. Για την καλύτερη κατανόηση των εννοιών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα καθημερινό παράδειγμα της ζαχαροπλαστικής. Η παρασκευή ενός γλυκίσματος βασίζεται στη διατήρηση σταθερών αναλογιών μεταξύ των συστατικών, ανεξαρτήτως της συνολικής ποσότητας που πρόκειται να παραχθεί. Για παράδειγμα, η βασική συνταγή για παντεσπάνι ορίζει ως αναλογία 1:1:1 μεταξύ αυγών, ζάχαρης και αλευριού (σε βάρος). Είτε η παρασκευή αφορά μία μικρή φόρμα των 500g είτε μία βιομηχανική παρτίδα 5kg, η σύσταση του προϊόντος παραμένει

αμετάβλητη ως προς τις ποσοτικές σχέσεις των πρώτων υλών. Η προσαρμογή της ποσότητας γίνεται μέσω αναλογικής αύξησης ή μείωσης κάθε συστατικού, με τρόπο που να διατηρείται η ισορροπία της αρχικής συνταγής, γεγονός που διασφαλίζει την επαναληψιμότητα και την ομοιογένεια του τελικού αποτελέσματος.

Με μια σύντομη αναδρομή στον Πίνακα 2 και σύγκριση των στοιχείων του με τις τιμές των προηγούμενων διαγραμμάτων γίνεται εμφανέστατη η δυσαναλογία των αρχικών όγκων των υλικών με τη συμβολή τους στη συνολική εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων. Η φύση κάθε υλικού παίζει σημαντικό ρόλο στις μειώσεις εκπομπών που μπορεί να προσφέρει η εναλλακτική μέθοδος διαχείρισής του. Το 2023, αν και οι ποσότητες στις κατηγορίες “Αλουμίνιο” και “Άλλα μέταλλα” που παράχθηκαν είναι αρκετά κοντά η μία στην άλλη (108 και 116 τόνοι αντίστοιχα), φαίνεται πως η συνεισφορά του αλουμινίου ήταν η διπλάσια στη συνολική πιθανή μείωση παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα.

Βάσει όσων αναφέρθηκαν, εγείρεται το ερώτημα τι θα συνέβαινε στην περίπτωση διαφορετικής σύστασης των αποβλήτων. Για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα, αρκεί να μελετηθεί η εξοικονόμηση που αποδίδεται σε κάθε υλικό σε μια κλίμακα ανά τόνο υλικού και όχι ανά ποσότητας αυτού, όπως έγινε έως τώρα.

Πίνακας 6. Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε MTCO_2E

Εξοικονόμηση MTCO_2E ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	3,14
Πλαστικό	1,04
Αλουμίνιο	9,13
Άλλα μέταλλα	4,39
Γυαλί	0,28
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	0,13
Λοιπά	2,80

Τα στοιχεία του Πίνακα 6 αποτελούν συντελεστές εξοικονόμησης MTCO_2E ανά τόνο υλικού. Τα στοιχεία αυτά έχουν υπολογιστεί από την USEPA και παρέχονται στο φύλλο “Analysis Results (MTCO_2E)” του WARM στο Excel. Πηγαίνοντας ένα βήμα παρακάτω, διαιρώντας τις τιμές που έχουμε για το υποθετικό σενάριο 100% με τα αρχικά δεδομένα των παραγόμενων απορριμμάτων υπολογίζονται οι ισοδύναμοι συντελεστές, όπως φαίνεται στους Πίνακες 7-9.

Πίνακας 7. Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε οχήματα

Εξοικονόμηση οχημάτων ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	0,7
Πλαστικό	0,23
Αλουμίνιο	1,94
Άλλα μέταλλα	0,93
Γυαλί	0,06
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	0,06
Λοιπά	0,6

Πίνακας 8. Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε γαλόνια βενζίνης

Εξοικονόμηση γαλονιών βενζίνης ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	373,24
Πλαστικό	118,82
Αλουμίνιο	1029,32
Άλλα μέταλλα	496,39
Γυαλί	33,35
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	32,46
Λοιπά	319,02

Πίνακας 9. Εξοικονόμηση εκπομπών ρύπων ανά τόνο υλικού σε φιάλες προπανίου

Εξοικονόμηση φιαλών προπανίου ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	138,21
Πλαστικό	43,99
Αλουμίνιο	381,15
Άλλα μέταλλα	183,81
Γυαλί	12,35
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	12,02
Λοιπά	112,66

Το πόρισμα που προέκυψε προηγουμένως για τη δυσαναλογία των δυνατοτήτων κάθε υλικού, επαληθεύεται από τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων. Η ανακύκλωση του αλουμινίου είναι περίπου 9 φορές πιο αποδοτική από του πλαστικού ή 70 φορές από την κομποστοποίηση των βιολογικών αποβλήτων. Ωστόσο, όπως φαίνεται καλύτερα στις τιμές του 2023, υπάρχει περίπτωση η παραγόμενη ποσότητα αλουμινίου να μην είναι επαρκής για να μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό την συνολική μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι, αν και ενδιαφέροντα στοιχεία, από μόνα τους δεν έχουν κάποια πρακτική εφαρμογή. Για τον σκοπό αυτό, καταρτίστηκε ο ακόλουθος βοηθητικός πίνακας, ο οποίος ταξινομεί τα διάφορα είδη αποβλήτων σύμφωνα με την αναλογία του συντελεστή εξοικονόμησης προς την μέση τιμή της παραγόμενης ποσότητάς τους.

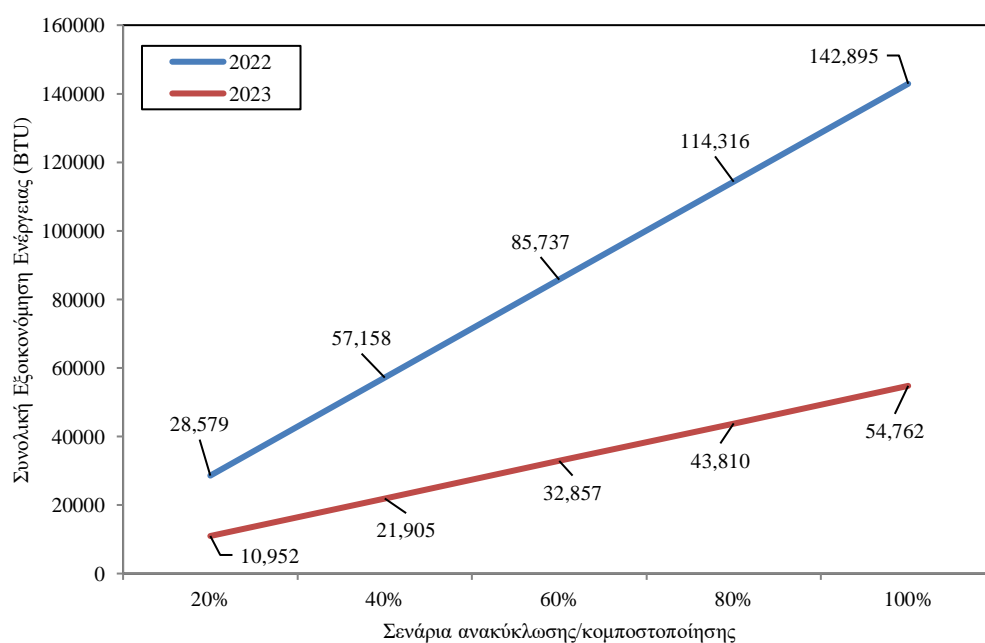
Πίνακας 10. Κατάταξη υλικών βάση της αποδοτικότητας τους (περιβάλλον)

Θέση	Υλικά	(Συντελεστής εξοικονόμησης MTCO₂E)*(παραγόμενη ποσότητα)
1	Αλουμίνιο	5.923
2	Λοιπά	3.166
3	Χαρτί	1.309
4	Άλλα μέταλλα	646
5	Πλαστικό	365
6	Γυαλί	216
7	Βιολογικά απόβλητα	141

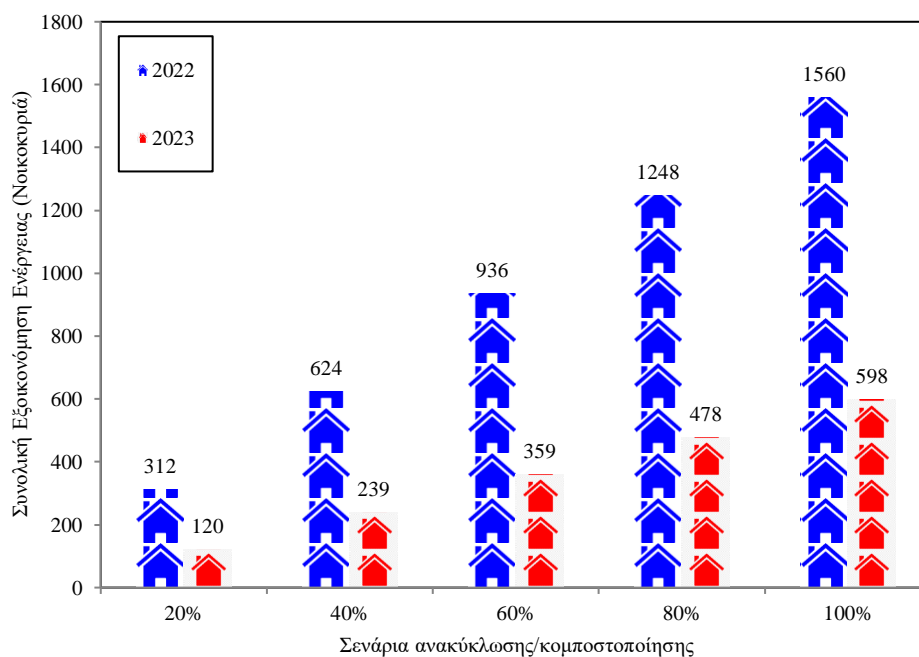
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 10, η κατάταξη των υλικών βάσει της αποδοτικότητάς τους επιβεβαιώνει τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις προηγούμενες αναλύσεις. Συγκεκριμένα, το αλουμίνιο ξεχωρίζει με σημαντική διαφορά ως το υλικό με τον υψηλότερο δείκτη περιβαλλοντικής απόδοσης, γεγονός που αποδίδεται τόσο στον ιδιαίτερα υψηλό συντελεστή εξοικονόμησης όσο και στην παραγόμενη ποσότητά του. Ακολουθούν τα λοιπά μέταλλα και το χαρτί, τα οποία επίσης παρουσιάζουν ικανοποιητικά επίπεδα συμβολής στη μείωση εκπομπών. Αν και η κατάταξη αυτή δεν προσφέρει νέο ποιοτικό συμπέρασμα σε σχέση με τα ήδη παρουσιασμένα δεδομένα, εντούτοις λειτουργεί υποστηρικτικά, παρέχοντας μια εναλλακτική ποσοτική αποτύπωση της σχετικής απόδοσης κάθε υλικού και καθιστώντας πιο άμεση τη συγκριτική αξιολόγησή τους.

4.3. Εκτίμηση των ενεργειακών ωφελειών

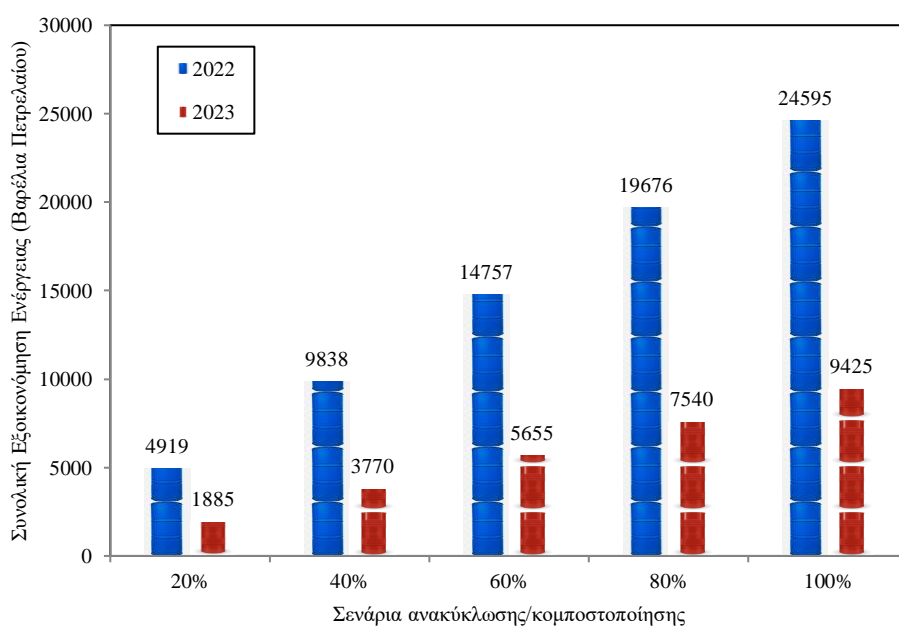
Παρόμοια με την ανάλυση που έγινε στο Κεφάλαιο 4.2, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των υπολογισμών του υπολογιστικού φύλλου του WARM στο Excel, δημιουργήθηκαν παρόμοια διαγράμματα για τα εκάστοτε σενάρια. Τα διαγράμματα 22-25 παρουσιάζουν τα ενεργειακά οφέλη που αντιστοιχούν στην συνολική ποσότητα αποβλήτων.



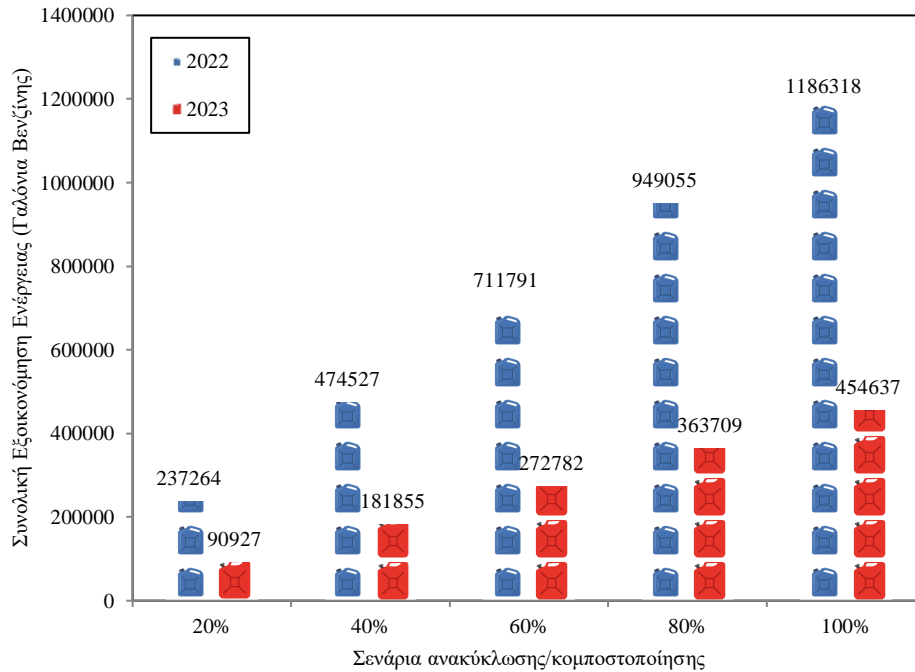
Διάγραμμα 22. Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU.



Διάγραμμα 23. Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε νοικοκυριά.

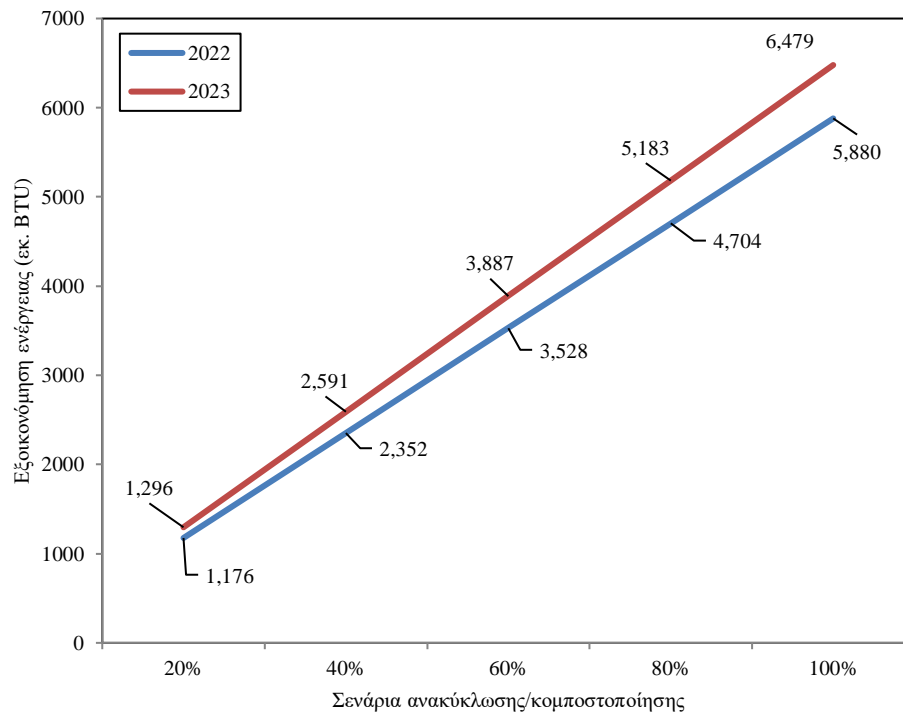


Διάγραμμα 24. Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε βαρέλια πετρελαίου.



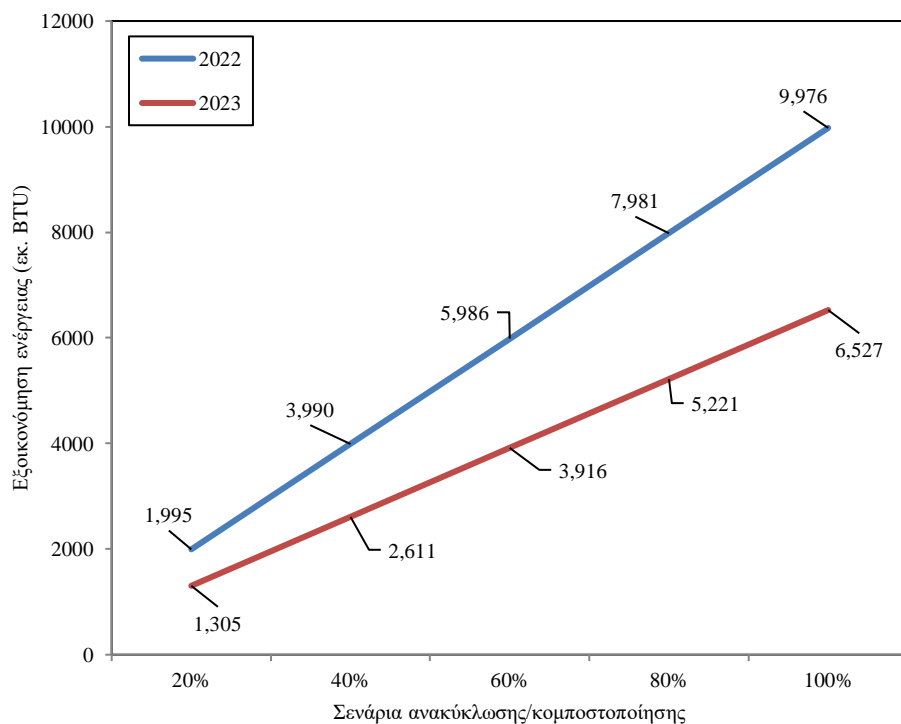
Διάγραμμα 25. Συνδυαστική εξοικονόμηση ενέργειας σε γαλόνια βενζίνης.

Το Διάγραμμα 22 δείχνει καθαρά ότι η εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU αυξάνεται όσο μεγαλώνει το ποσοστό ανακύκλωσης και κομποστοποίησης, με τις τιμές του 2022 να υπερέχουν σε κάθε σενάριο σε σχέση με το 2023. Η ίδια τάση αποτυπώνεται και στα Διάγραμμα 23-25, όπου η εξοικονόμηση εκφράζεται σε νοικοκυριά, βαρέλια πετρελαίου και γαλόνια βενζίνης αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις, η αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης οδηγεί σε σημαντικά ενεργειακά οφέλη, ενώ η διαφοροποίηση μεταξύ των ετών παραμένει σταθερή. Η σύγκλιση των αποτελεσμάτων σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης επιβεβαιώνει την αξιοπιστία των ευρημάτων, υπογραμμίζοντας τόσο τη θετική συμβολή της ανακύκλωσης και κομποστοποίησης στην ενεργειακή αποδοτικότητα όσο και τη διαχρονική μείωση που παρατηρείται το 2023 σε σχέση με το 2022.



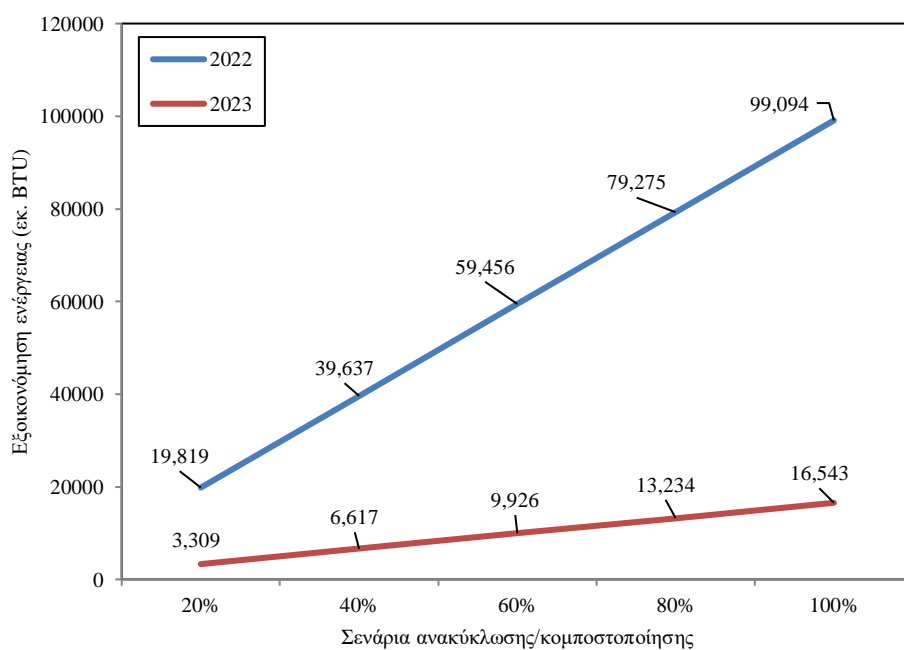
Διάγραμμα 26. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση χαρτιού.

Εστιάζοντας στο χαρτί, ένα από τα δύο υλικά που παρουσιάζουν αύξηση από το ένα έτος στο άλλο, φαίνεται η θετική επίδραση στο σύνολο. Για τα πραγματικά σενάρια, οι εξοικονομήσεις ενέργειας κυμαίνονται από περίπου 1.176 εκ. έως και 3.528 εκ. BTU για το 1^ο έτος και από 1.296 εκ. έως και 3.887 εκ. το 2^ο έτος.



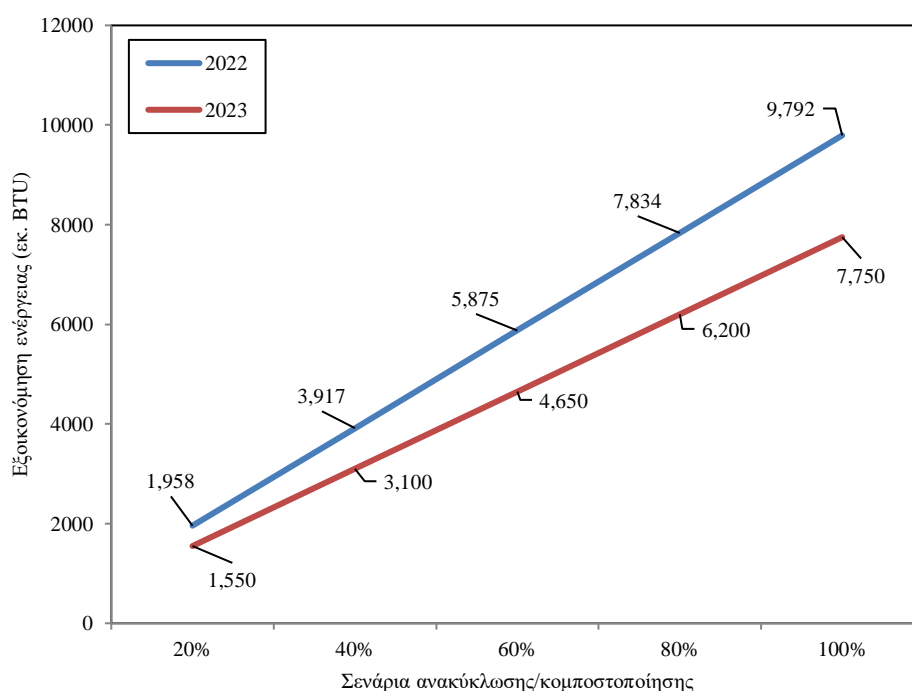
Διάγραμμα 27. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση πλαστικού.

Αντίθετα με το χαρτί, η ποσότητα πλαστικού μειώνεται το 2023. Παρόλα αυτά φαίνεται, συγκρίνοντας τις τιμές του 2022, ότι το πλαστικό έχει σχεδόν τις διπλάσιες αποταμιεύσεις από αυτές του χαρτιού αν και μικρότερο σε ποσότητα. Έτσι προκύπτει πως το πλαστικό είναι ενεργειακά, πιο αποδοτικό υλικό από το χαρτί.



Διάγραμμα 28. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση αλουμινίου.

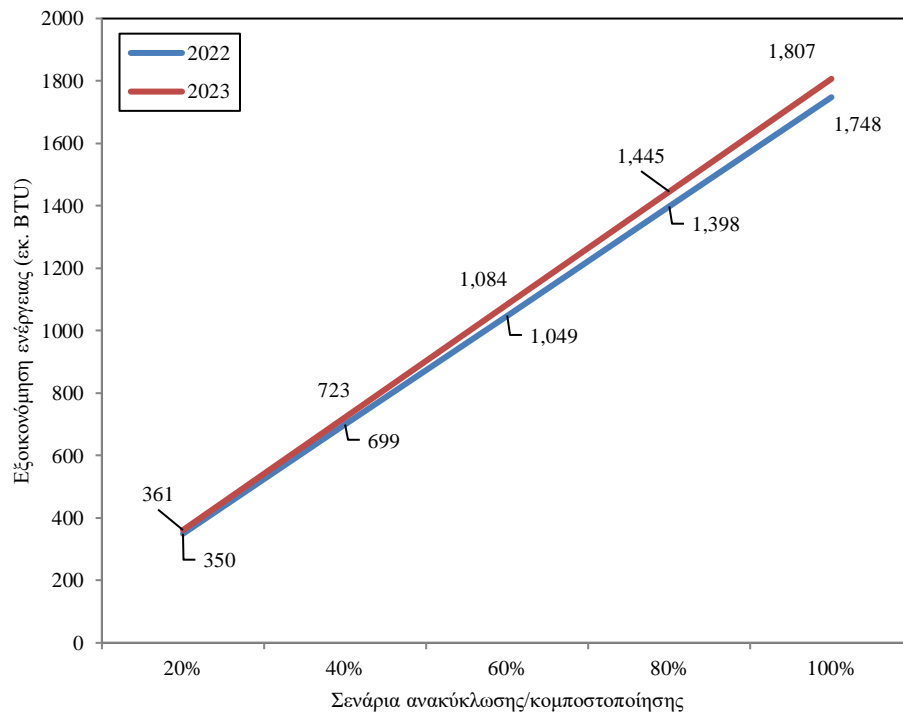
Η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από την ανακύκλωση αλουμινίου εμφανίζει σημαντική διαφορά μεταξύ των ετών 2022 και 2023. Το 2022 η εξοικονόμηση ενέργειας κινείται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα, φτάνοντας σε σενάριο πλήρους ανακύκλωσης, τα 99.093 εκατ. BTU, έναντι μόλις 16.542,84 εκατ. BTU το 2023. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε όλα τα σενάρια, η απόκλιση μεταξύ των δύο ετών παραμένει ιδιαίτερα μεγάλη, με το 2022 να παρουσιάζει περίπου εξαπλάσια έως επταπλάσια εξοικονόμηση σε σχέση με το 2023. Αυτό καταδεικνύει ότι, παρά τη μείωση που παρατηρείται το 2023, το αλουμίνιο παραμένει υλικό με πολύ μεγάλη ενεργειακή σημασία σε επίπεδο ανακύκλωσης.



Διάγραμμα 29. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση άλλων μετάλλων.

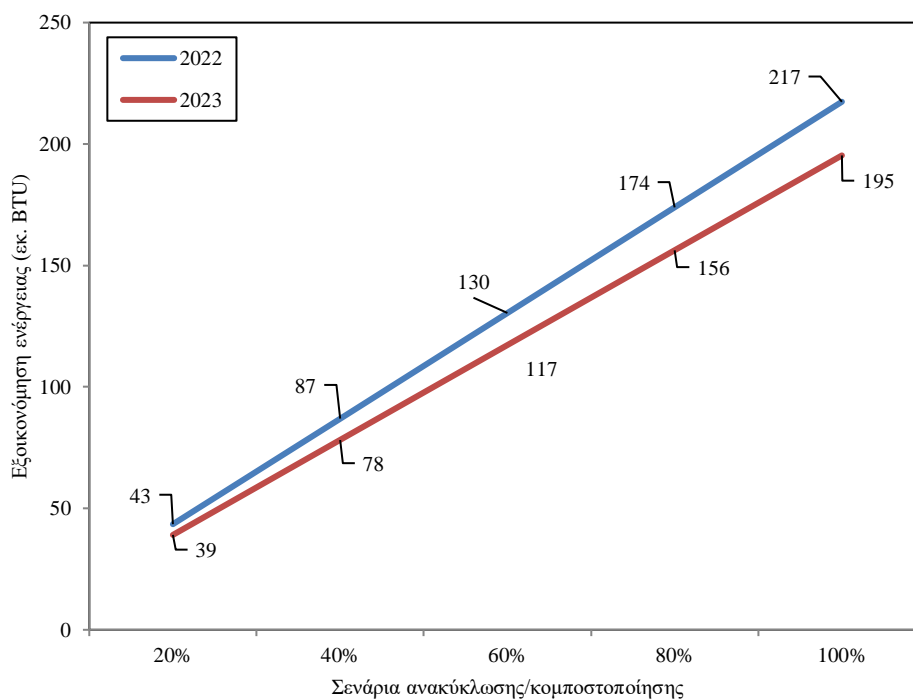
Η εξοικονόμηση ενέργειας από την ανακύκλωση άλλων μετάλλων εμφανίζει αυξητική πορεία και για τα δύο έτη, με το 2022 να παρουσιάζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές σε σχέση με το 2023. Η διαφορά μεταξύ των δύο ετών δεν είναι τόσο έντονη όσο στο αλουμίνιο, γεγονός που δείχνει ότι τα υπόλοιπα μέταλλα παρουσιάζουν πιο σταθερή ενεργειακή συμπεριφορά ως προς την ανακύκλωση. Σε όλα τα ενδιαμέσα σενάρια το 2022 διατηρεί ένα μικρό προβάδισμα, όμως το 2023 παραμένει σε αρκετά κοντινά επίπεδα, επιβεβαιώνοντας τη διαχρονικά σημαντική συμβολή των μετάλλων στη συνολική εξοικονόμηση ενέργειας.

Συνολικά, η ανακύκλωση μετάλλων πέρα από το αλουμίνιο αποδεικνύεται σταθερά αποδοτική, με σχετικά μικρότερες διακυμάνσεις ανά έτος, προσφέροντας μια συνεπή συνεισφορά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.



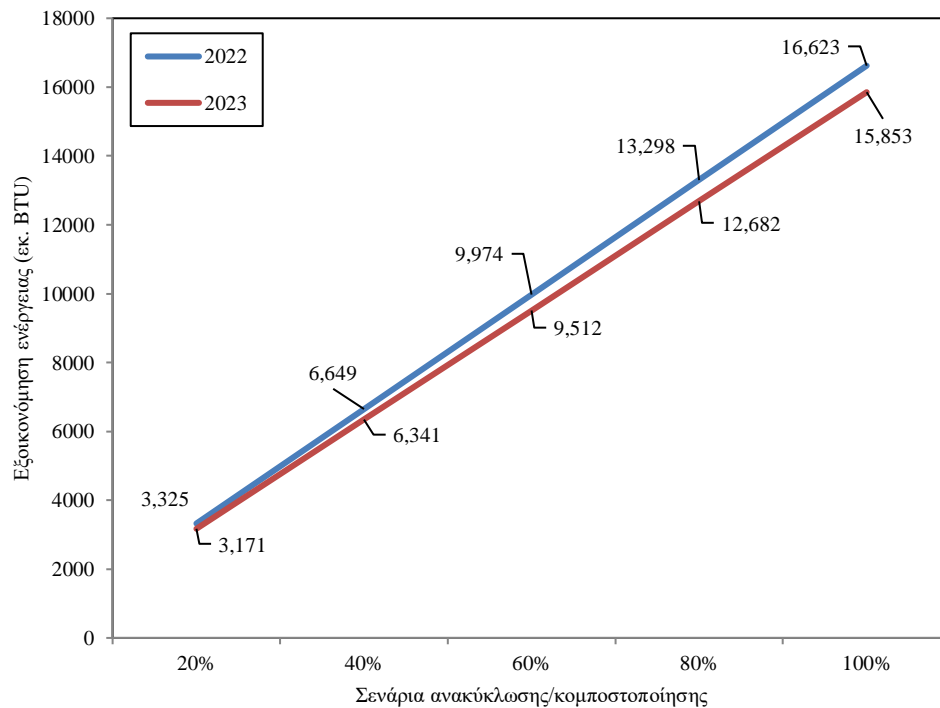
Διάγραμμα 30. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση γυαλιού.

Το γυαλί ανήκει στην ομάδα των υλικών που η ποσότητες αυξάνονται ανάμεσα στα δύο έτη. Η ανακύκλωση του παρουσιάζει σταθερή και σχεδόν ταυτόσημη εξοικονόμηση ενέργειας μεταξύ 2022 και 2023. Οι τιμές αυξάνονται γραμμικά από το 20% έως το 100% ανακύκλωσης, με το 2023 να υπερβαίνει οριακά το 2022. Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ότι η ενεργειακή συμβολή του γυαλιού παραμένει σταθερή διαχρονικά, με μικρές μόνο διακυμάνσεις.



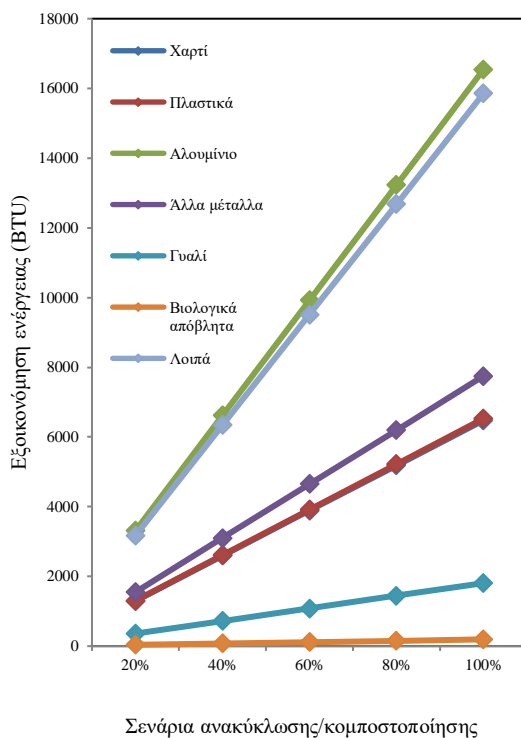
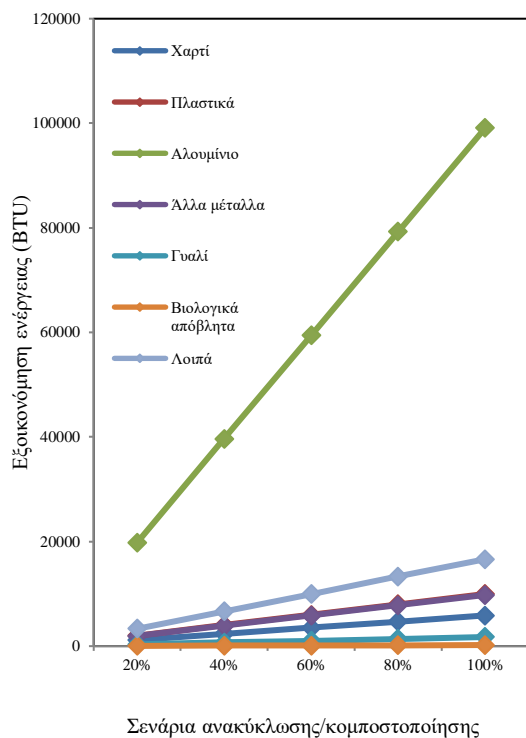
Διάγραμμα 31. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων.

Η κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων εμφανίζει αυξανόμενη εξοικονόμηση ενέργειας σε όλα τα σενάρια, με το 2022 να καταγράφει συστηματικά υψηλότερες τιμές από το 2023. Παρά τη μικρή αυτή διαφορά, η συμβολή παραμένει σχετικά περιορισμένη συγκριτικά με άλλα υλικά, καταδεικνύοντας δευτερεύοντα αλλά σταθερό ρόλο στη συνολική ενεργειακή εξοικονόμηση.



Διάγραμμα 32. Εξοικονόμηση ενέργειας σε BTU για ανακύκλωση λοιπών.

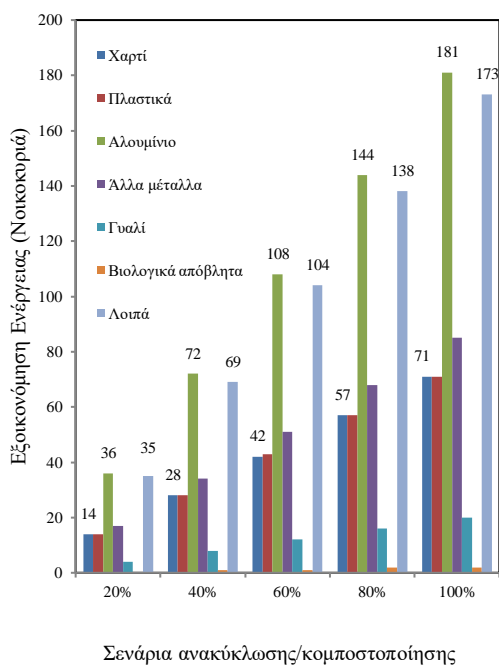
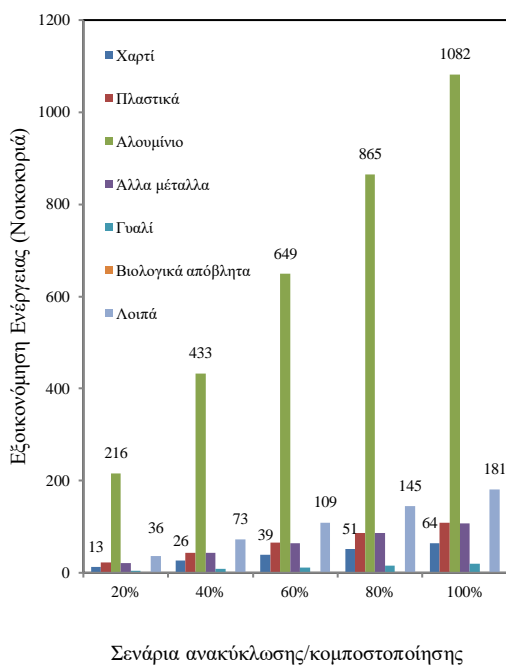
Η εξοικονόμηση ενέργειας από την ανακύκλωση λοιπών υλικών εμφανίζει σταθερά αυξητική τάση και για τα δύο έτη, με το 2022 να παρουσιάζει ελαφρώς υψηλότερες τιμές σε όλα τα σενάρια. Στο 100% ανακύκλωσης, η διαφορά παραμένει περιορισμένη (16.622,6 έναντι 15.852,89 εκατ. BTU), γεγονός που δείχνει ότι η ενεργειακή συμβολή της κατηγορίας αυτής είναι συνεπής και σημαντική, με μικρές ετήσιες αποκλίσεις.



(α)

(β)

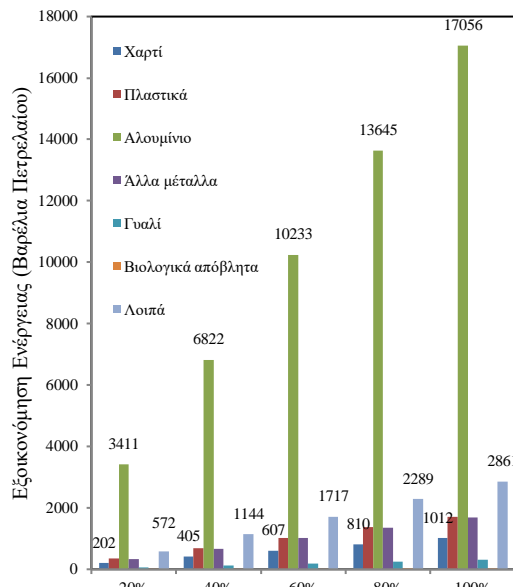
Διάγραμμα 33. Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε BTU: α. 2022, β. 2023



(α)

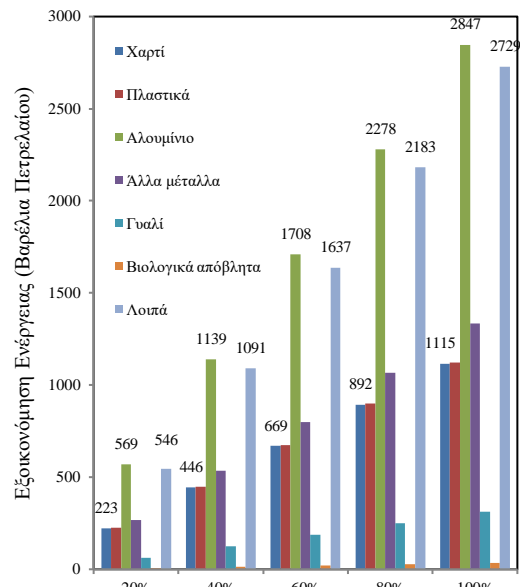
(β)

Διάγραμμα 34. Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε νοικοκυριά: α. 2022, β. 2023



Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

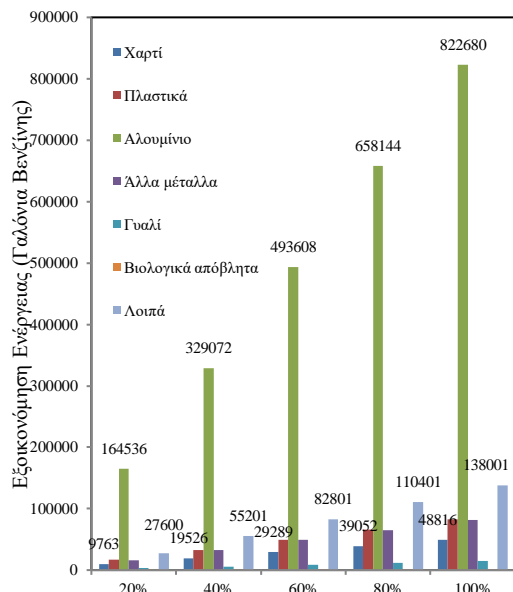
(α)



Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

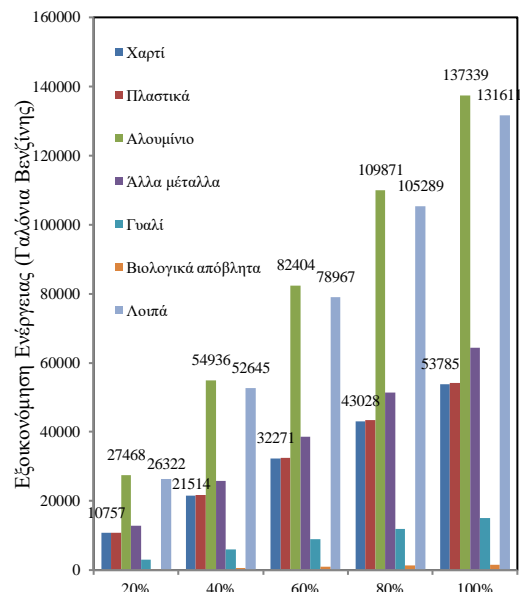
(β)

Διάγραμμα 35. Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε βαρέλια πετρελαίου: α. 2022, β. 2023



Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

(α)



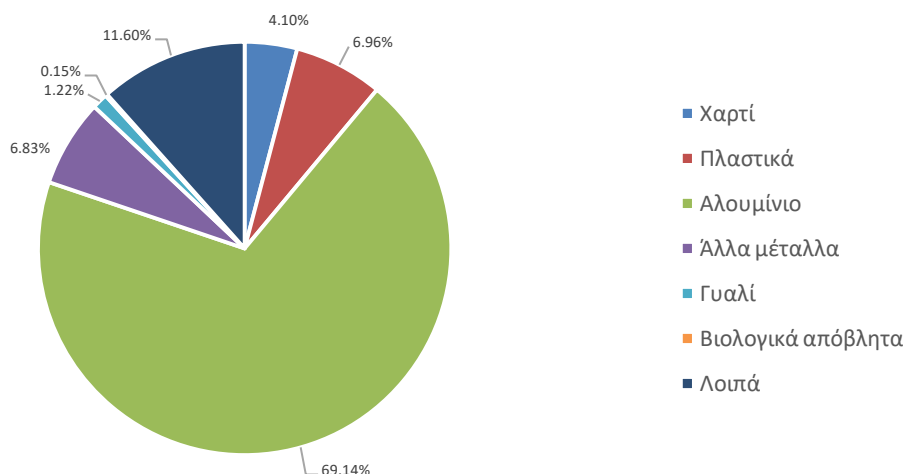
Σενάρια ανακύκλωσης/κομποστοποίησης

(β)

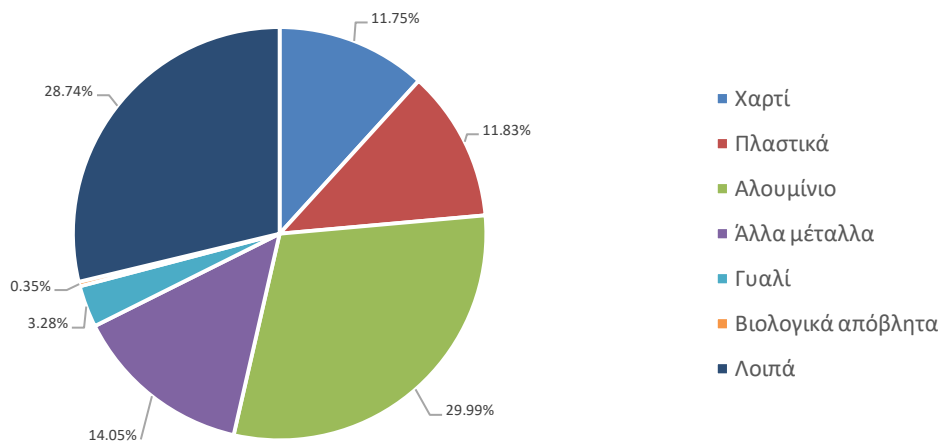
Διάγραμμα 36. Σύγκριση μεταβολών ενέργειας σε γαλόνια βενζίνης: α. 2022, β. 2023

Από τα Διαγράμματα 33-36 προκύπτει ότι η εφαρμογή σεναρίων ανακύκλωσης και κομποστοποίησης οδηγεί σε ιδιαίτερα σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, η οποία αυξάνεται γραμμικά με το ποσοστό εφαρμογής τους. Τα μέταλλα, και ειδικότερα το αλουμίνιο, εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συμβολή στη μείωση

ενεργειακών απαιτήσεων, ενώ ακολουθούν τα πλαστικά και τα υπόλοιπα μέταλλα. Υλικά όπως το χαρτί και τα βιοαπόβλητα έχουν χαμηλότερες αποδόσεις, ωστόσο ενισχύουν την ολοκληρωμένη στρατηγική εξοικονόμησης. Η σύγκριση των ετών 2022 και 2023 δείχνει σαφή βελτίωση σε όλες τις ενεργειακές μονάδες μέτρησης, γεγονός που υποδηλώνει την αυξανόμενη αποτελεσματικότητα της εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ. Συνολικά, η συστηματική ενίσχυση της ανακύκλωσης και της κομποστοποίησης μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων και να συμβάλει ουσιαστικά στη βιώσιμη ενεργειακή διαχείριση.



Διάγραμμα 37. Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση ενέργειας το 2022



Διάγραμμα 38. Ποσοστιαία συμβολή υλικών στην εξοικονόμηση ενέργειας το 2023

Από τα κυκλικά διαγράμματα προκύπτει μια σημαντική διαφοροποίηση στη συμβολή των υλικών στην εξοικονόμηση ενέργειας μεταξύ 2022 και 2023. Το 2022, το αλουμίνιο κυριαρχεί με ποσοστό άνω του 69%, αποτελώντας τον κύριο παράγοντα ενεργειακού οφέλους, ενώ τα υπόλοιπα υλικά έχουν σαφώς μικρότερη συμβολή. Το 2023 όμως, η εικόνα διαφοροποιείται, καθώς μειώνεται η μονοπώληση του αλουμινίου (περίπου 30%) και αυξάνεται σημαντικά η συμμετοχή άλλων μετάλλων (28,7%), χαρτιού (11,7%) και πλαστικών (11,8%). Αυτό δείχνει ότι η ενεργειακή

εξοικονόμηση κατανέμεται πλέον πιο ισορροπημένα μεταξύ διαφορετικών ρευμάτων υλικών, γεγονός που ενισχύει τη σημασία της πολυδιάστατης ανακύκλωσης και όχι μόνο της ανάκτησης ενός μεμονωμένου υλικού.

Πίνακας 11. Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε εκατομμύρια BTU

Εξοικονόμηση BTU ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	15,1
Πλαστικό	28,59
Αλουμίνιο	152,76
Άλλα μέταλλα	66,55
Γυαλί	2,13
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	0,51
Λοιπά	14,94

Πίνακας 12. Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε νοικοκυριά

Εξοικονόμηση νοικοκυριών ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	0,16
Πλαστικό	0,32
Αλουμίνιο	1,67
Άλλα μέταλλα	0,73
Γυαλί	0,03
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	0,01
Λοιπά	0,16

Πίνακας 13. Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε βαρέλια πετρελαίου

Εξοικονόμηση βαρέλια πετρελαίου ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	2,57
Πλαστικό	4,97
Αλουμίνιο	26,34
Άλλα μέταλλα	11,50
Γυαλί	0,41
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	0,07
Λοιπά	2,56

Πίνακας 14. Εξοικονομούμενη ενέργεια ανά τόνο υλικού σε γαλόνια βενζίνης

Εξοικονόμηση φιαλών προπανίου ανά τόνο υλικού	
Χαρτί	123,66
Πλαστικό	239,55
Αλουμίνιο	1270,48
Άλλα μέταλλα	554,73
Γυαλί	19,88
Βιολογικά απόβλητα (κομποστ.)	3,69
Λοιπά	123,59

Πίνακας 15. Κατάταξη υλικών βάση της αποδοτικότητας τους (ενέργεια)

Θέση	Υλικά	(Συντελεστής εξοικονόμησης BTU)*(παραγόμενη ποσότητα)
1	Αλουμίνιο	99.094
2	Λοιπά	16.623
3	Πλαστικό	9.976
4	Άλλα μέταλλα	9.792
5	Χαρτί	5.880
6	Βιολογικά απόβλητα	2.178
7	Γυαλί	1.748

Οι Πίνακες 11-14 παρουσιάζουν τους συντελεστές μετατροπής ενός τόνου υλικού σε BTU, με σκοπό να γίνει πιο κατανοητή η σχετική αποδοτικότητα του κάθε υλικού σε σύγκριση με τα υπόλοιπα, όπως παρομοίως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2.

Επιπλέον, ο Πίνακας 15 κατατάσσει τα υλικά λαμβάνοντας υπόψιν και την μέση παραγόμενη ποσότητα του εκάστοτε υλικού. Ο πίνακας καταδεικνύει ότι το αλουμίνιο υπερέχει συντριπτικά ως προς την αποδοτικότητα εξοικονόμησης ενέργειας, με συντελεστή που υπερβαίνει κατά πολύ όλα τα υπόλοιπα υλικά. Ακολουθούν τα λοιπά υλικά και το πλαστικό, ενώ τα μέταλλα και το χαρτί παρουσιάζουν μεσαία απόδοση. Στον αντίποδα, το γυαλί και τα βιολογικά απόβλητα εμφανίζουν τη χαμηλότερη ενεργειακή συμβολή. Η κατάταξη αυτή επιβεβαιώνει την καίρια σημασία της ανακύκλωσης μετάλλων, και ιδίως του αλουμινίου, ως βασικό άξονα στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1. Βασικά ευρήματα της μελέτης

Στην παρούσα μελέτη, η εφαρμογή του υπολογιστικού μοντέλου WARM συνέβαλε στην αποτύπωση των πιθανών ενεργειακών και περιβαλλοντικών οφελών που δύνανται να προκύψουν από εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης στερεών αποβλήτων, πρακτικές που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν τόσο από ιδιωτικούς όσο και δημόσιους φορείς. Για την επίτευξη των στόχων, εξετάστηκαν συνολικά 5 σενάρια, στα οποία διαφοροποιούνται τα ποσοστά απορριμμάτων που οδηγούνται προς ανακύκλωση ή κομποστοποίηση, με το υπόλοιπο ποσοστό να καταλήγει σε υγειονομική ταφή. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόστηκε τόσο στο συνολικό μείγμα αποβλήτων, όσο και ξεχωριστά ανά υλικό, αποδίδοντας τα αποτελέσματα που φάνηκαν στο Κεφάλαιο 4.

Παρατηρήθηκε ότι με κάθε αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης/κομποστοποίησης, η πρόσθετη μείωση εκπομπών εμφανίζει φθίνουσα πορεία, με τις μεταβολές να ακολουθούν γραμμική τάση. Ιδιαίτερα σημαντική αποδείχθηκε η συμβολή της ανακύκλωσης του αλουμινίου, ενώ μικρότερη συνεισφορά καταγράφηκε για τα βιολογικά απόβλητα. Επιπρόσθετα, υλικά όπως το χαρτί και τα λοιπά υλικά φάνηκαν να έχουν αξιόλογη συμμετοχή στη συνολική εξοικονόμηση.

Παράλληλα, σε ενεργειακό επίπεδο, η ανάλυση της σχετικής συμβολής κάθε υλικού έδειξε ότι το αλουμίνιο εμφανίζει τον υψηλότερο συντελεστή εξοικονόμησης (153), ακολουθούμενο από το άλλα μέταλλα (67). Ωστόσο, το 2023, η παραγόμενη ποσότητα άλλων μετάλλων δεν ήταν αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα άλλα είδη υλικών να τα ξεπερνάνε.

Τέλος, συνδυάζοντας τον συντελεστή εξοικονόμησης με τις παραγόμενες ποσότητες, τα υλικά που προκύπτουν ως σημαντικότερα για την επίτευξη υψηλών οφελών είναι, κατά φθίνουσα σειρά, το αλουμίνιο, τα λοιπά υλικά, το πλαστικό και το χαρτί, επιβεβαιώνοντας την αξία τους στη διαδικασία ανακύκλωσης.

Με βάση τα ανωτέρω, κρίνεται αναγκαίο να υπογραμμιστεί ότι το WARM συνιστά, όπως έχει επανειλημμένα τονιστεί, ένα μοντέλο. Αυτό σημαίνει ότι οι υπολογισμοί του δεν μπορούν να αποδώσουν με απόλυτη ακρίβεια την πραγματικότητα, αλλά την προσεγγίζουν. Επομένως, τα αποτελέσματα που παράγονται έχουν κατ' ουσίαν θεωρητικό χαρακτήρα, καθώς εδράζονται σε ποικίλα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από τους δημιουργούς του σε βάθος χρόνου. Παρά το γεγονός ότι τα ευρήματα αυτά δύνανται να προσφέρουν μια συνεκτική και αξιόπιστη εικόνα αναφορικά με τις ποσοτικές εκτιμήσεις που εξετάστηκαν, το ζήτημα της ακρίβειας παραμένει ανοικτό σε αμφισβήτηση, δεδομένων των συνθηκών που χαρακτηρίζουν τη μελέτη τέτοιου είδους ζητημάτων.

5.2. Προτάσεις για βελτίωση της διαχείρισης αποβλήτων

Συνοψίζοντας, η ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων συνιστά καθοριστικό παράγοντα για την προστασία του περιβάλλοντος, τη δημόσια υγεία και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Έρευνες και αναλύσεις όπως αυτή που προηγήθηκε αναδεικνύουν τις αδυναμίες αλλά και τις προοπτικές βελτίωσης του υφιστάμενου συστήματος, γεγονός που καθιστά αναγκαία την υιοθέτηση στοχευμένων πολιτικών και πρακτικών.

Ενδεικτικά, απαιτείται η ενίσχυση της ανακύκλωσης μέσω βελτιωμένων υποδομών και κινήτρων προς τους πολίτες, η προώθηση της κομποστοποίησης σε οικιακό και δημοτικό επίπεδο, η υιοθέτηση πρακτικών κυκλικής οικονομίας ώστε τα απόβλητα να μετατρέπονται σε πόρους, καθώς και η ενίσχυση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης. Παράλληλα, η βελτίωση του θεσμικού πλαισίου και της εποπτείας, η αξιοποίηση τεχνολογικών λύσεων για την παρακολούθηση των ροών αποβλήτων και η ανάπτυξη συνεργασιών μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα μπορούν να συμβάλουν αποφασιστικά στη μετάβαση σε ένα πιο ολοκληρωμένο, αποδοτικό και περιβαλλοντικά υπεύθυνο σύστημα διαχείρισης.

5.3. Μελλοντικές προοπτικές και επεκτάσεις της έρευνας

Μια σημαντική παράμετρος που δεν εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη είναι η οικονομική διάσταση της διαχείρισης αποβλήτων. Τα χρηματικά κόστη που συνδέονται με την επεξεργασία των υλικών, τόσο από την πλευρά της εξεταζόμενης εγκατάστασης όσο και από τρίτους φορείς, παραμένουν εκτός της ανάλυσης. Η ενσωμάτωση του κόστους στη συζήτηση θα μπορούσε να οδηγήσει σε νέες και πιο ολοκληρωμένες εκτιμήσεις, οι οποίες πιθανόν να ενισχύουν ή να αναθεωρούν τα παρόντα συμπεράσματα. Ως εκ τούτου, προτείνεται για μελλοντική διερεύνηση η χρηματοοικονομική ανάλυση εναλλακτικών μορφών διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων σε εγκαταστάσεις αντίστοιχης κλίμακας.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1

Στο Παράρτημα 1 δίνονται οι τελικοί πίνακες εξοικονόμησης εκπομπών ρύπων και ενέργειας που το εκάστοτε υλικό έχει την δυνατότητα να προσφέρει για κάθε έτος.

Περιβαλλοντικές ωφέλειες

Πίνακας Π1. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε MTCO_2E το 2022

MTCO_2E	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	261,89	523,77	785,66	1.047,55	1.309,44
Πλαστικό	73,02	146,03	219,05	292,06	365,08
Αλουμίνιο	1.184,68	2.369,36	3.554,04	4.738,72	5.923,39
Άλλα μέταλλα	129,3	258,6	387,9	517,19	646,49
Γυαλί	43,28	86,55	129,83	173,1	216,38
Βιολογικά Απόβλητα	28,19	56,39	84,58	112,78	140,97
Λοιπά	633,14	1.266,28	1.899,42	2.532,56	3.165,7

Πίνακας Π2. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε MTCO_2E το 2023

MTCO_2E	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	288,55	577,1	865,65	1.154,2	1.442,75
Πλαστικό	47,77	95,54	143,31	191,08	238,85
Αλουμίνιο	197,77	395,54	593,32	791,09	988,86
Άλλα μέταλλα	102,33	204,65	306,98	409,31	511,64
Γυαλί	44,74	89,47	134,21	178,94	223,68
Βιολογικά Απόβλητα	25,33	50,65	75,98	101,31	126,63
Λοιπά	633,14	1.266,28	1.899,42	2.532,56	3.165,7

Πίνακας Π3. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε επιβατικά οχήματα το 2022

Οχήματα	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	56	111	167	222	278
Πλαστικό	16	31	47	62	78
Αλουμίνιο	252	503	755	1006	1258
Άλλα μέταλλα	27	55	82	110	137
Γυαλί	9	18	28	37	46
Βιολογικά Απόβλητα	6	12	18	24	30
Λοιπά	134	269	403	538	672

Πίνακας Π4. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε επιβατικά οχήματα το 2023

Οχήματα	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	61	123	184	245	306
Πλαστικό	10	20	30	41	51
Αλουμίνιο	42	84	126	168	210
Άλλα μέταλλα	22	43	65	87	109
Γυαλί	9	19	28	38	47
Βιολογικά Απόβλητα	5	11	16	22	27
Λοιπά	128	256	385	513	641

Πίνακας Π5. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2022

Γαλόνια Βενζίνης	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	29.469	58.937	88.406	117.874	147.343
Πλαστικό	8.216	16.432	24.648	32.864	41.080
Αλουμίνιο	133.305	266.609	399.914	533.219	666.523
Άλλα μέταλλα	14.549	29.098	43.648	58.197	72.746
Γυαλί	4.869	9.739	14.608	19.478	24.347
Βιολογικά Απόβλητα	3.172	6.345	9.517	12.690	15.862
Λοιπά	71.243	142.487	213.730	284.973	356.217

Πίνακας Π6. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2023

Γαλόνια Βενζίνης	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	32.469	64.937	97.406	129.875	162.344
Πλαστικό	5.375	10.751	16.126	21.501	26.876
Αλουμίνιο	22.254	44.508	66.762	89.016	111.270
Άλλα μέταλλα	11.514	23.029	34.543	46.057	57.571
Γυαλί	5.034	10.068	15.102	20.136	25.169
Βιολογικά Απόβλητα	2.850	5.700	8.550	11.400	14.249
Λοιπά	67.944	135.889	203.833	271.778	339.722

Πίνακας Π7. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε φιάλες προπανίου το 2022

Φιάλες Προπανίου	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	10.912	21.824	32.736	43.648	54.560
Πλαστικό	3.042	6.085	9.127	12.169	15.212
Αλουμίνιο	49.362	98.723	148.085	197.446	246.808
Άλλα μέταλλα	5.387	10.775	16.162	21.550	26.937
Γυαλί	1.803	3.606	5.409	7.213	9.016
Βιολογικά Απόβλητα	1.175	2.349	3.524	4.699	5.874
Λοιπά	26.381	52.762	79.142	105.523	131.904

Πίνακας Π8. Εξοικονομήσεις ρύπων για κάθε υλικό σε φιάλες προπανίου το 2023

Φιάλες Προπανίου	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	12.023	24.046	36.069	48.092	60.114
Πλαστικό	1.990	3.981	5.971	7.962	9.952
Αλουμίνιο	8.240	16.481	24.721	32.962	41.202
Άλλα μέταλλα	4.264	8.527	12.791	17.055	21.318
Γυαλί	1.864	3.728	5.592	7.456	9.320
Βιολογικά Απόβλητα	1.055	2.111	3.166	4.221	5.276
Λοιπά	25.159	50.318	75.478	100.637	125.796

Ενεργειακές ωφέλειες

Πίνακας Π9. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε BTU το 2022

BTU (εκατομμύρια)	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	1.175,99	2.351,98	3.527,97	4.703,96	5.879,94
Πλαστικό	1.995,21	3.990,43	5.985,64	7.980,85	9.976,07
Αλουμίνιο	19.818,75	39.637,49	59.456,24	79.274,98	99.093,73
Άλλα μέταλλα	1.958,44	3.916,88	5.875,32	7.833,76	9.792,2
Γυαλί	349,55	699,1	1.048,65	1.398,2	1.747,75
Βιολογικά Απόβλητα	43,48	86,96	130,44	173,92	217,4
Λοιπά	3.324,52	6.649,04	9.973,56	13.298,08	16.622,6

Πίνακας Π10. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε BTU το 2023

BTU (εκατομμύρια)	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	1.295,72	2.591,43	3.887,15	5.182,86	6.478,58
Πλαστικό	1.305,35	2.610,7	3.916,04	5.221,39	6.526,74
Αλουμίνιο	3.308,57	6.617,13	9.925,7	13.234,27	16.542,84
Άλλα μέταλλα	1.549,91	3.099,83	4.649,74	6.199,65	7.749,57
Γυαλί	361,35	722,7	1.084,05	1.445,4	1.806,75
Βιολογικά Απόβλητα	39,06	78,12	117,18	156,24	195,3
Λοιπά	3.170,58	6.341,16	9.511,73	12.682,31	15.852,89

Πίνακας Π11. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε νοικοκυριά το 2022

Νοικοκυριά	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	13	26	39	51	64
Πλαστικό	22	44	65	87	109
Αλουμίνιο	216	433	649	865	1.082
Άλλα μέταλλα	21	43	64	86	107
Γυαλί	4	8	11	15	19
Βιολογικά Απόβλητα	0	1	1	2	2
Λοιπά	36	73	109	145	181

Πίνακας Π12. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε νοικοκυριά το 2023

Οχήματα	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	14	28	42	57	71
Πλαστικό	14	28	43	57	71
Αλουμίνιο	36	72	108	144	181
Άλλα μέταλλα	17	34	51	68	85
Γυαλί	4	8	12	16	20
Βιολογικά Απόβλητα	0	1	1	2	2
Λοιπά	35	69	104	138	173

Πίνακας Π13. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε βαρέλια πετρελαίου το 2022

Βαρέλια Πετρελαίου	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	202	405	607	810	1.012
Πλαστικό	343	687	1.030	1.374	1.717
Αλουμίνιο	3.411	6.822	10.233	13.645	17.056
Άλλα μέταλλα	337	674	1011	1.348	1.685
Γυαλί	60	120	180	241	301
Βιολογικά Απόβλητα	7	15	22	30	37
Λοιπά	572	1.144	1.717	2.289	2.861

Πίνακας Π14. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε βαρέλια πετρελαίου το 2023

Βαρέλια Πετρελαίου	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	223	446	669	892	1.115
Πλαστικό	225	449	674	899	1.123
Αλουμίνιο	569	1.139	1.708	2.278	2.847
Άλλα μέταλλα	267	534	800	1.067	1.334
Γυαλί	62	124	187	249	311
Βιολογικά Απόβλητα	7	13	20	27	34
Λοιπά	546	1.091	1.637	2.183	2.729

Πίνακας Π15. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2022

Γαλόνια Βενζίνης	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	9.763	19.526	29.289	39.052	48.816
Πλαστικό	16.564	33.129	49.693	66.257	82.822
Αλουμίνιο	164.536	329.072	493.608	658.144	822.680
Άλλα μέταλλα	16.259	32.518	48.777	65.036	81.295
Γυαλί	2.902	5.804	8.706	11.608	14.510
Βιολογικά Απόβλητα	361	722	1.083	1.444	1.805
Λοιπά	27.600	55.201	82.801	110.401	138.001

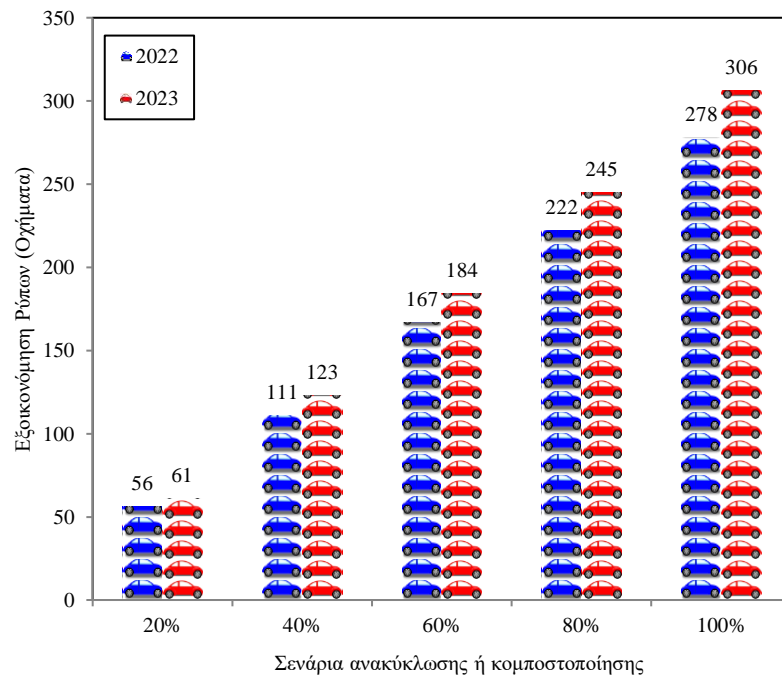
Πίνακας Π16. Εξοικονομήσεις ενέργειας για κάθε υλικό σε γαλόνια βενζίνης το 2023

Γαλόνια Βενζίνης	20%	40%	60%	80%	100%
Χαρτί	10.757	21.514	32.271	43.028	53.785
Πλαστικό	10.837	21.674	32.511	43.348	54.185
Αλουμίνιο	27.468	54.936	82.404	109.871	137.339
Άλλα μέταλλα	12.867	25.735	38.602	51.470	64.337
Γυαλί	3.000	6.000	9.000	12.000	15.000
Βιολογικά Απόβλητα	324	649	973	1.297	1.621
Λοιπά	26.322	52.645	78.967	105.289	131.611

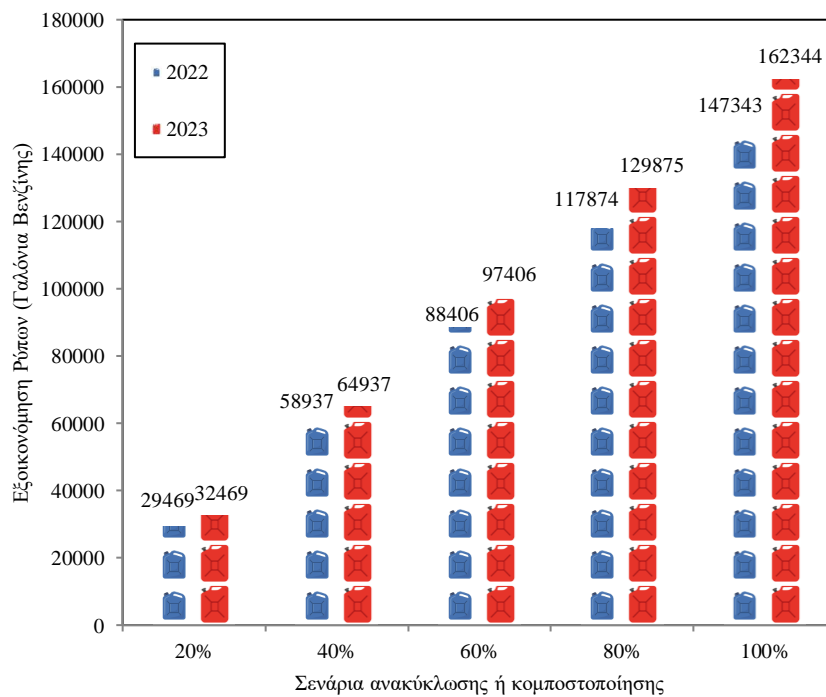
Παράρτημα 2

Περιβαλλοντικές ωφέλειες

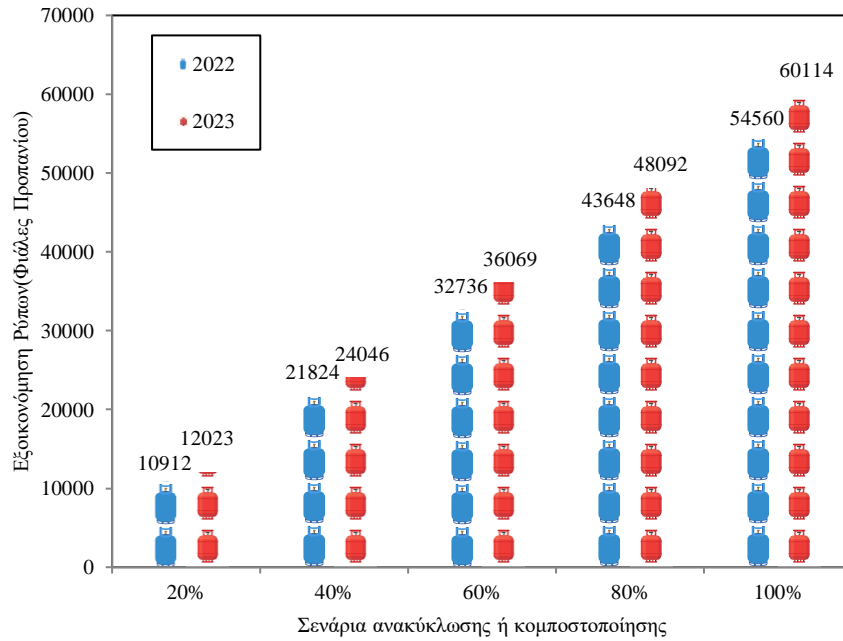
Χαρτί



Διάγραμμα Π1. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση χαρτιού σε επιβατικά οχήματα.

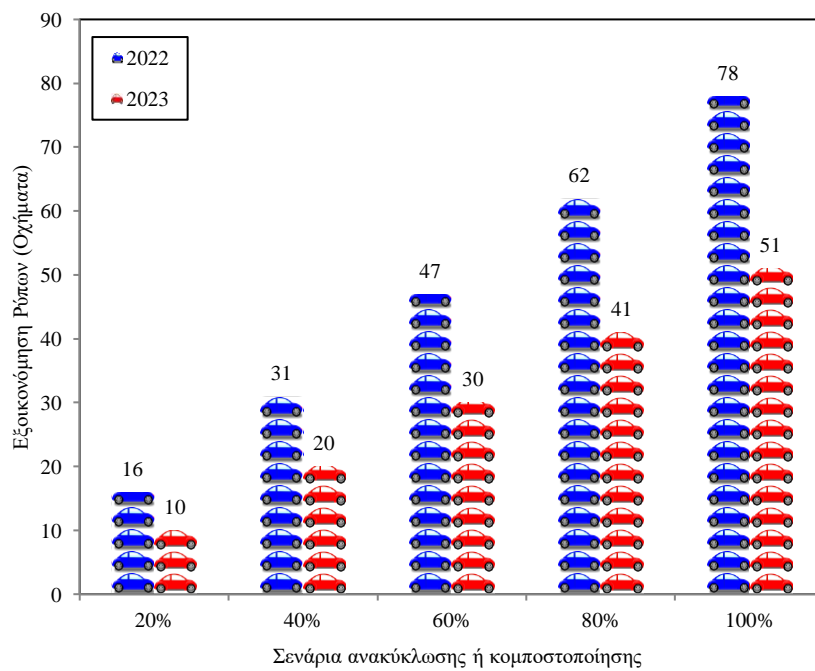


Διάγραμμα Π2. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση χαρτιού σε γαλόνια βενζίνης.

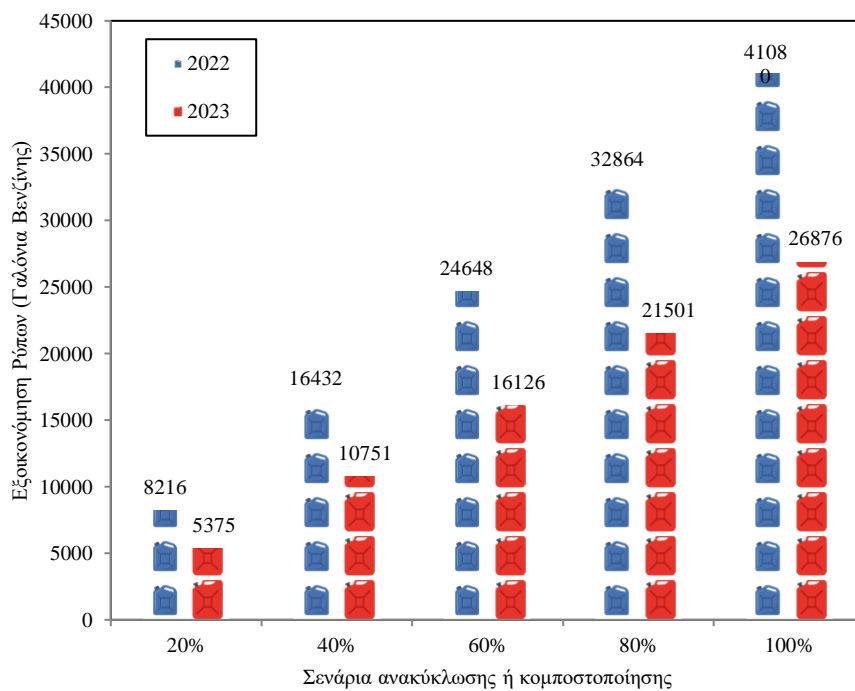


Διάγραμμα Π3. Μεταβολές εκπομπών MTCE για ανακύκλωση χαρτιού σε φιάλες προπανίου.

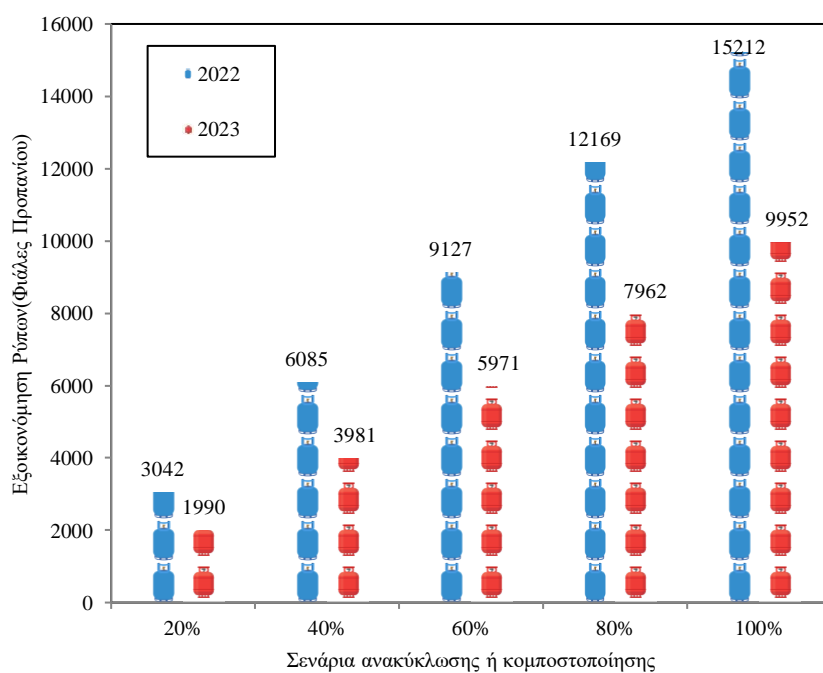
Πλαστικό



Διάγραμμα Π4. Μεταβολές εκπομπών MTCE για ανακύκλωση πλαστικού σε επιβατικά οχήματα.

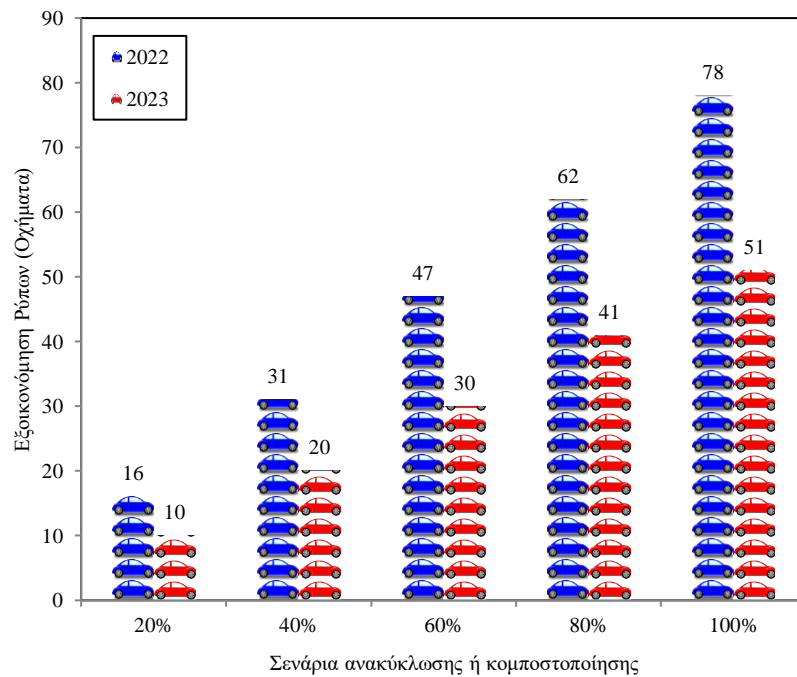


Διάγραμμα Π5. Μεταβολές εκπομπών $MTCE$ για ανακύκλωση πλαστικού σε γαλόνια βενζίνης.

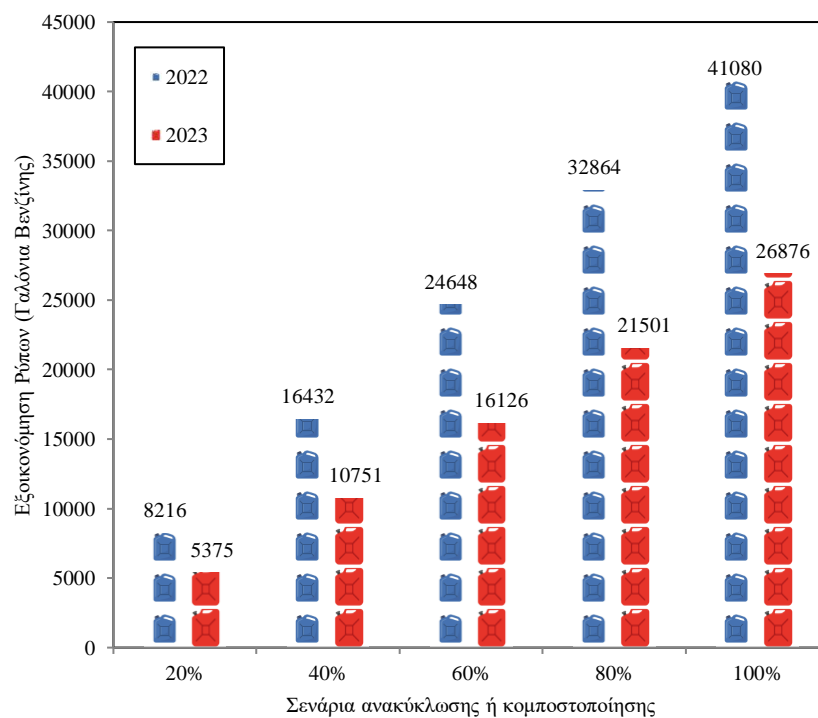


Διάγραμμα Π6. Μεταβολές εκπομπών $MTCE$ για ανακύκλωση πλαστικού σε φιάλες προπανίου.

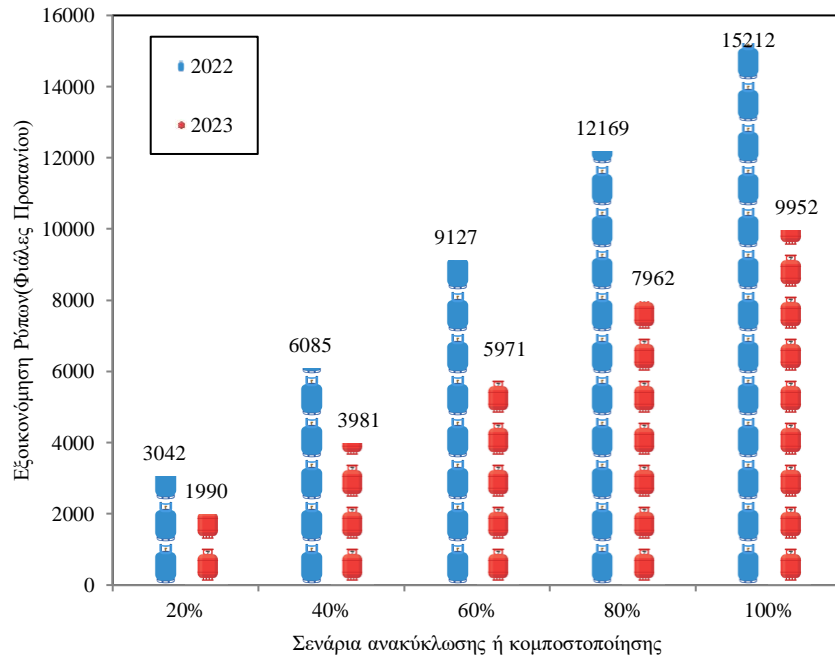
Αλουμίνιο



Διάγραμμα Π7. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση αλουμινίου σε επιβατικά οχήματα.

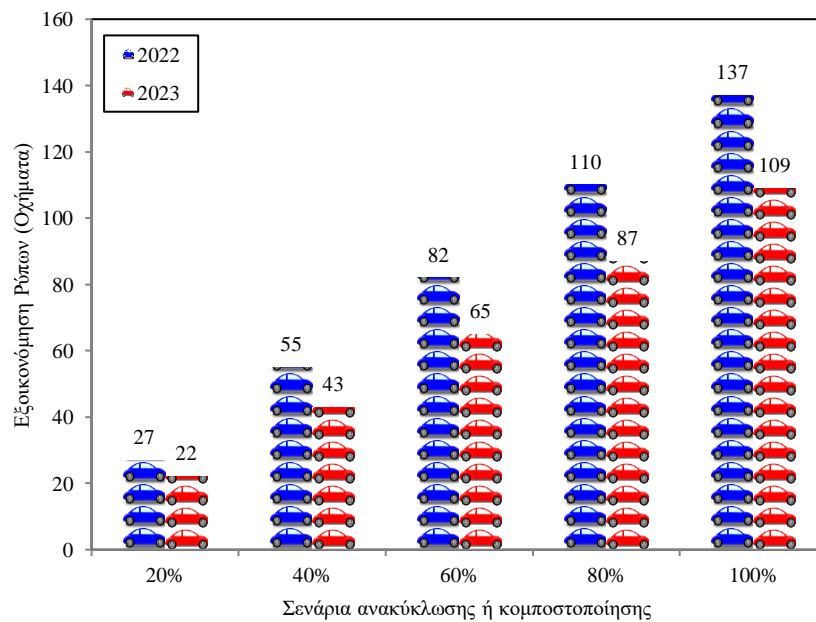


Διάγραμμα Π8. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση αλουμινίου σε γαλόνια βενζίνης.

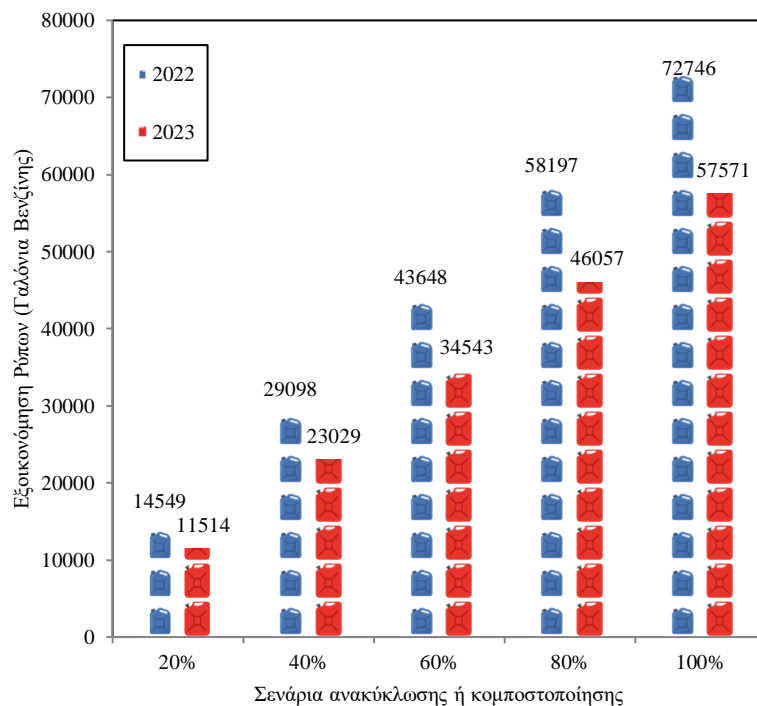


Διάγραμμα Π9. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση αλουμινίου σε φιάλες προπανίου.

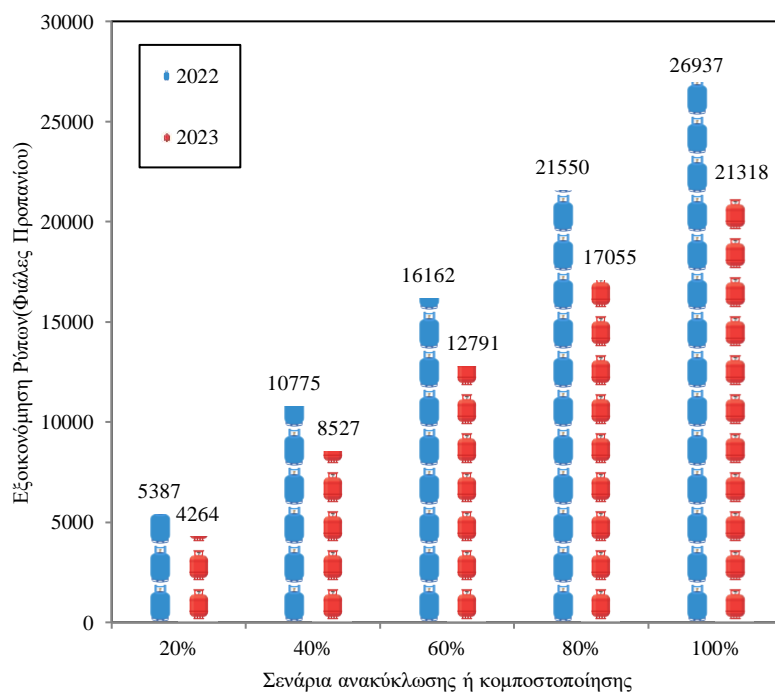
Άλλα μέταλλα



Διάγραμμα Π10. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε επιβατικά οχήματα.

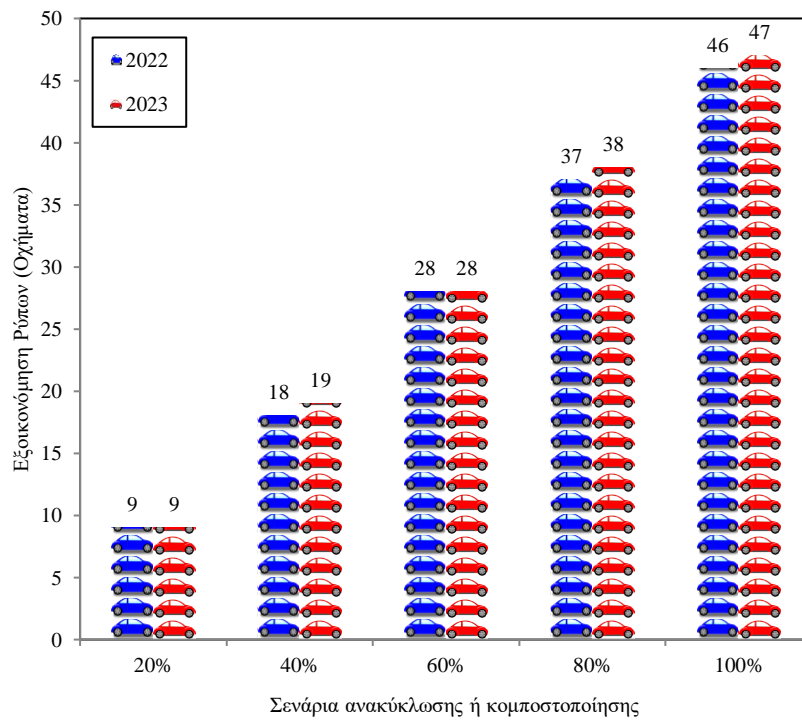


Διάγραμμα Π11. Μεταβολές εκπομπών MTCE για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε γαλόνια βενζίνης.

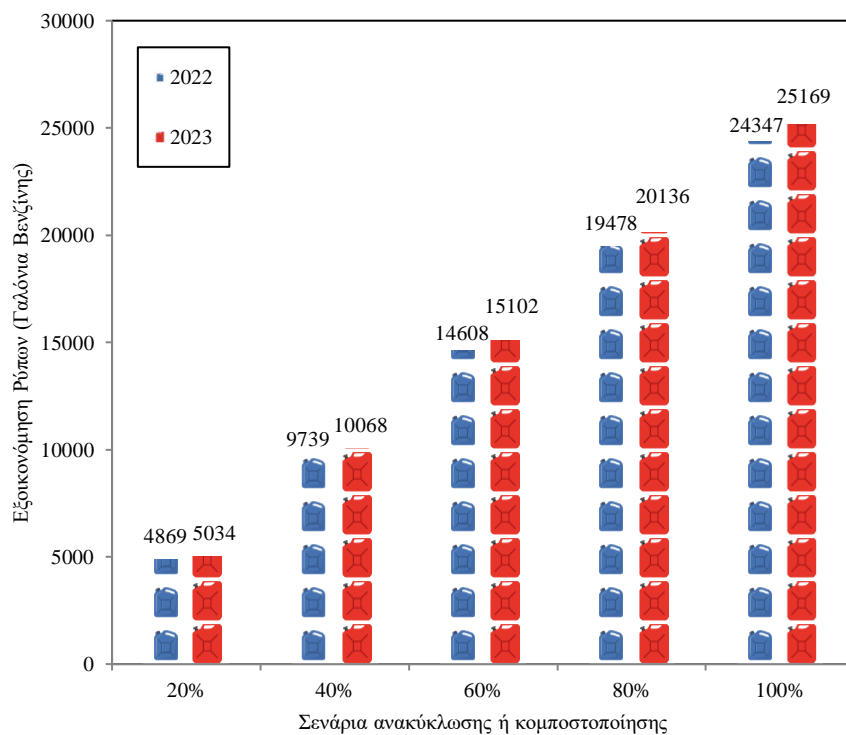


Διάγραμμα Π12. Μεταβολές εκπομπών MTCE για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε φιάλες προπανίου.

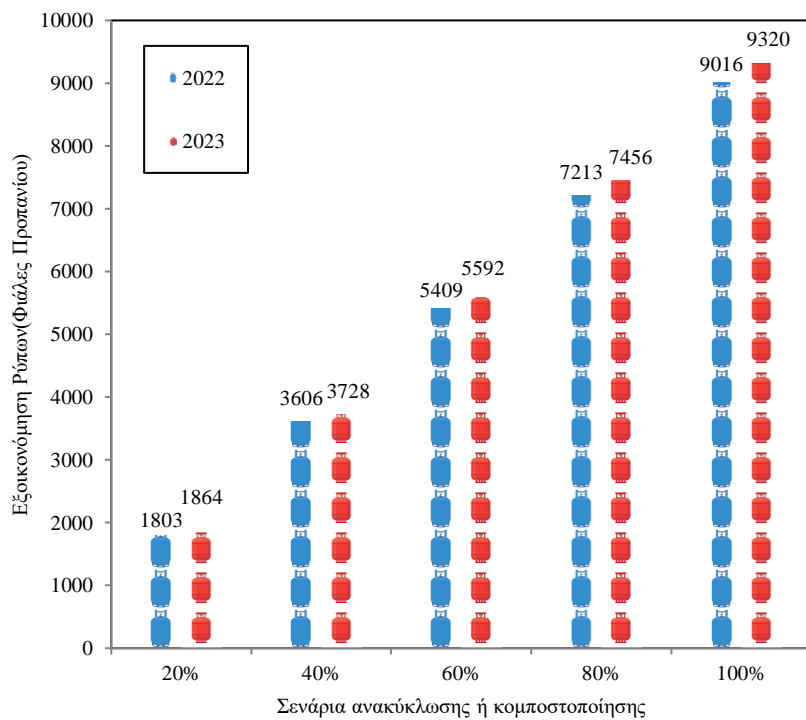
Γυαλί



Διάγραμμα Π13. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση γυαλιού σε επιβατικά οχήματα.

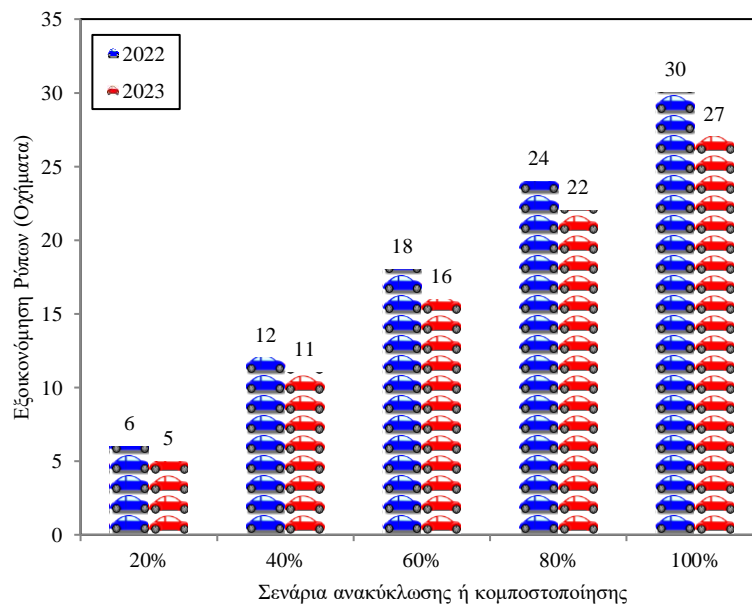


Διάγραμμα Π14. Μεταβολές εκπομπών $MTCO_2E$ για ανακύκλωση γυαλιού σε γαλόνια βενζίνης.

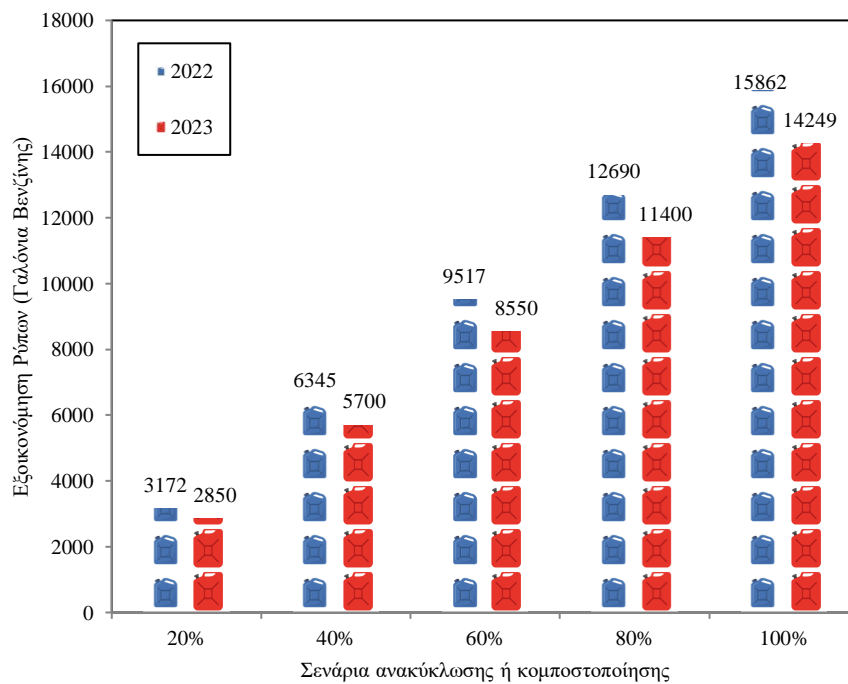


Διάγραμμα Π15. Μεταβολές εκπομπών $MTCE$ για ανακύκλωση γυαλιού σε φιάλες προπανίου.

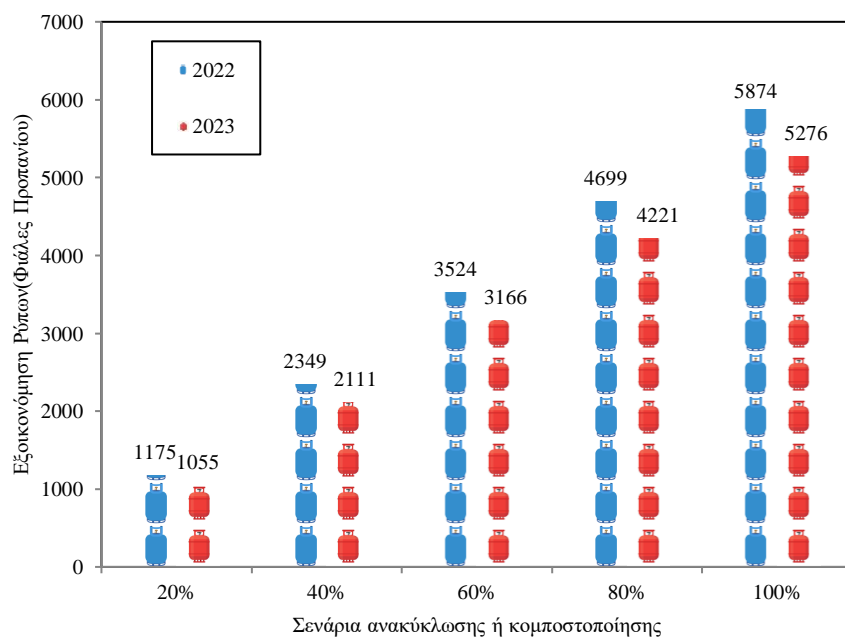
Βιολογικά απόβλητα



Διάγραμμα Π16. Μεταβολές εκπομπών $MTCE$ για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε επιβατικά οχήματα.

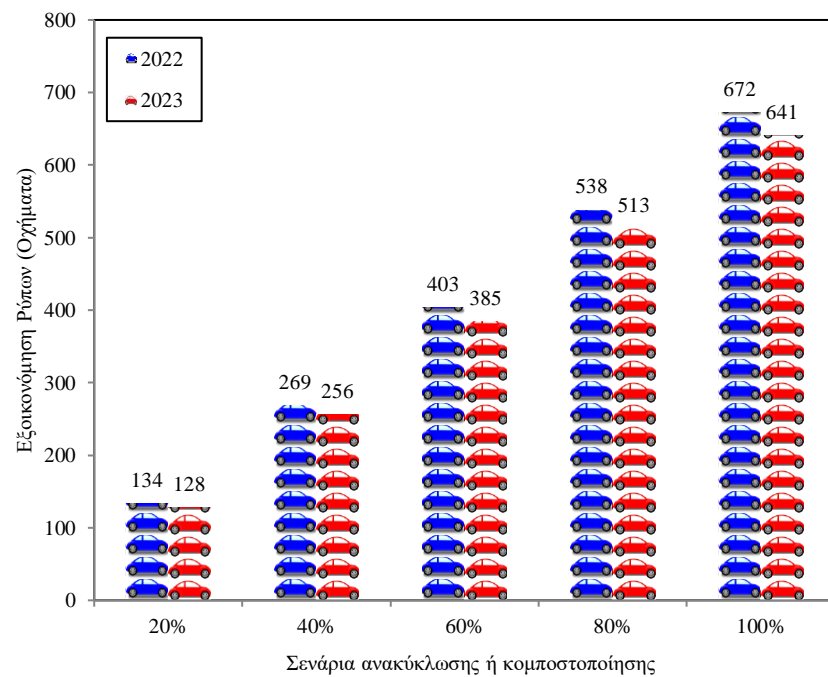


Διάγραμμα Π17. Μεταβολές εκπομπών MTCO₂E για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε γαλόνια βενζίνης.

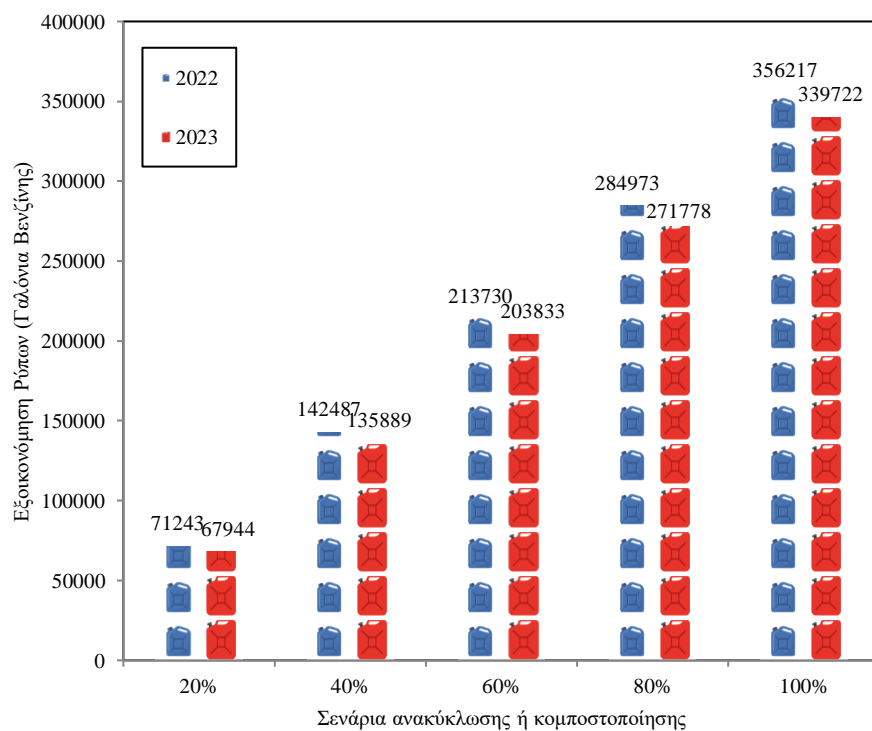


Διάγραμμα Π18. Μεταβολές εκπομπών MTCO₂E για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε φιάλες προπανίου.

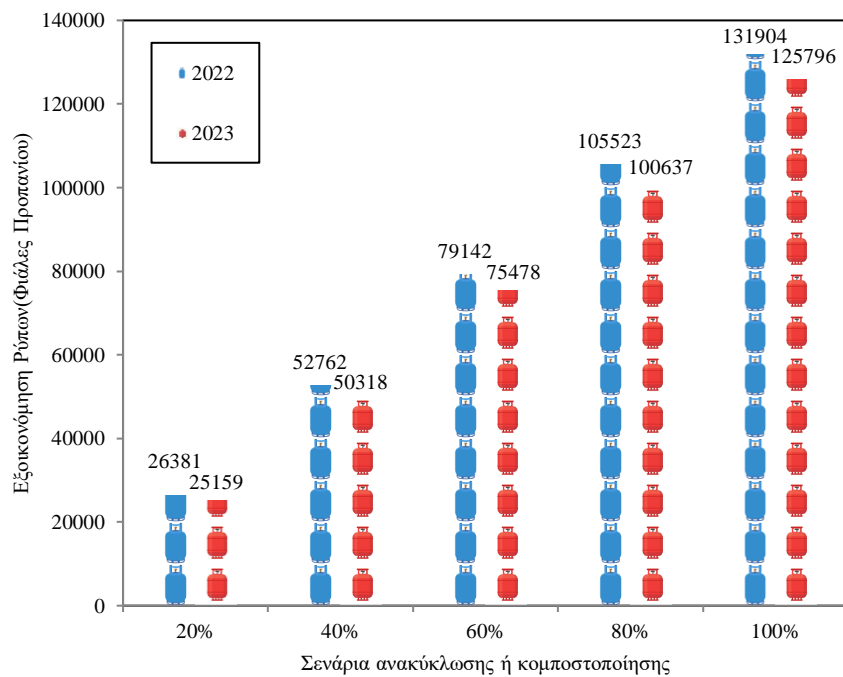
Λοιπά



Διάγραμμα Π19. Μεταβολές εκπομπών MTCO₂E για ανακύκλωση λοιπών σε επιβατικά οχήματα.



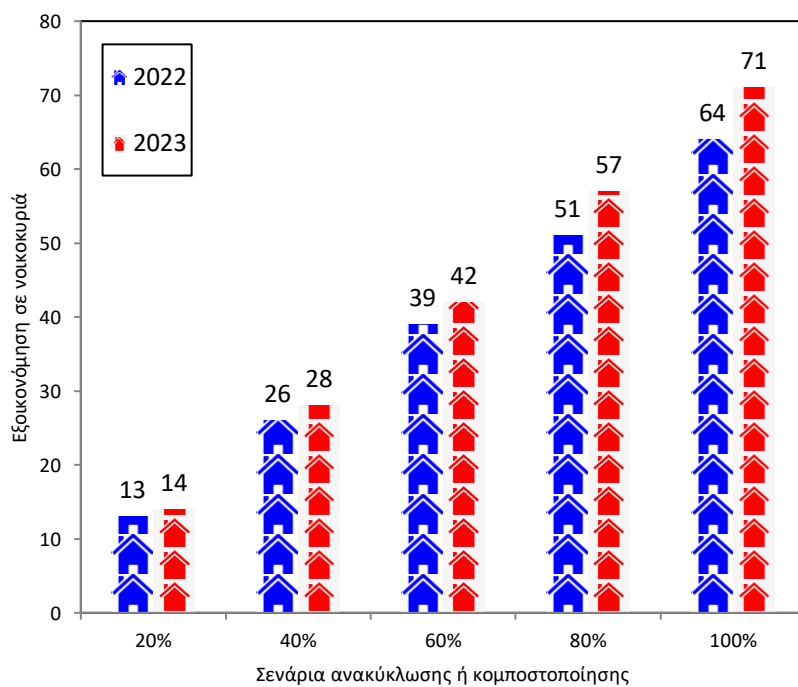
Διάγραμμα Π20. Μεταβολές εκπομπών MTCO₂E για ανακύκλωση λοιπών σε γαλόνια βενζίνης.



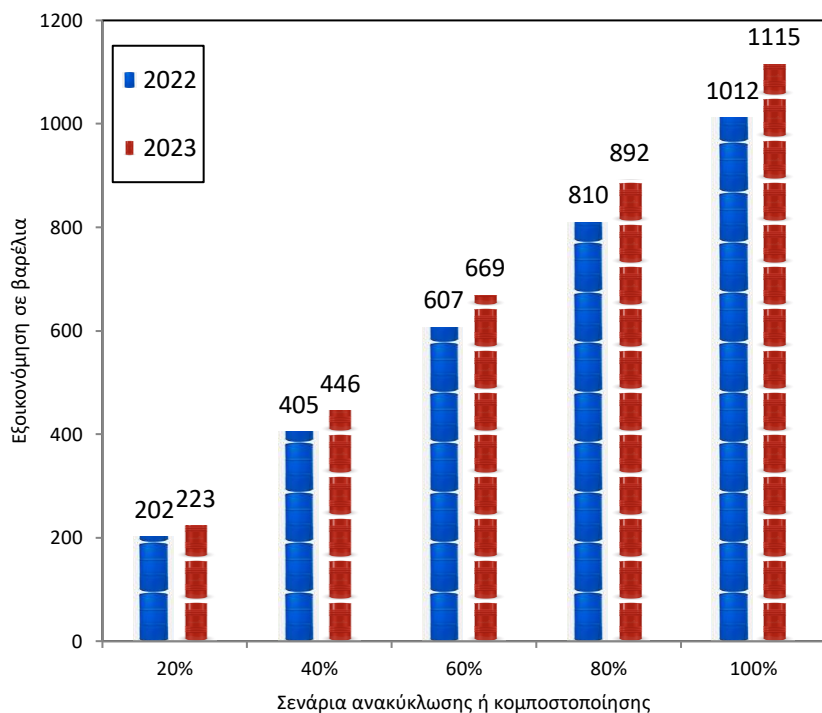
Διάγραμμα Π21. Μεταβολές εκπομπών MTCO_2E για ανακύκλωση λοιπών σε φιάλες προπανίου.

Ενεργειακές ωφέλειες

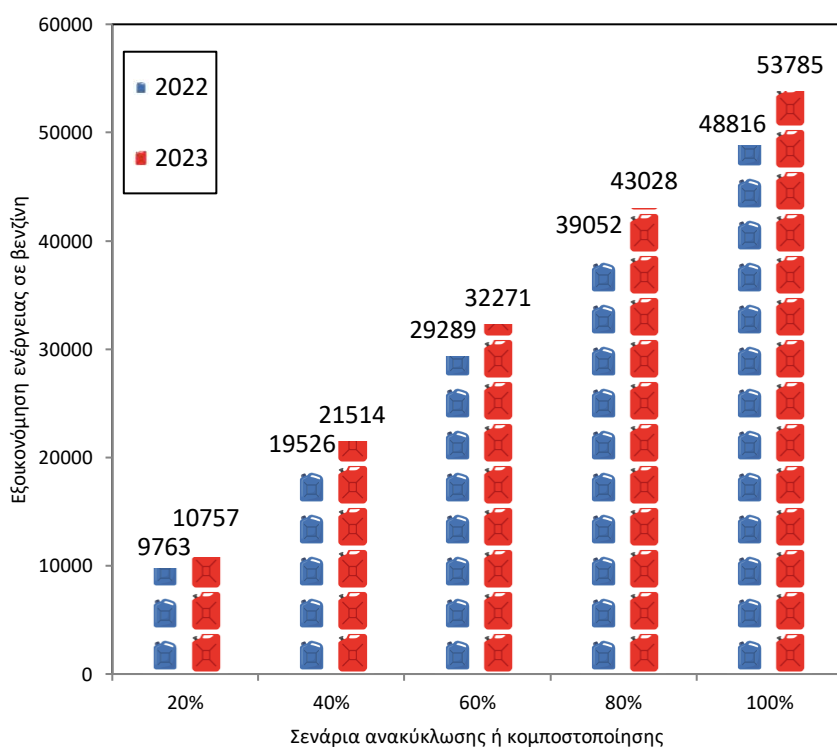
Χαρτί



Διάγραμμα Π22. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση χαρτιού σε νοικοκυριά.

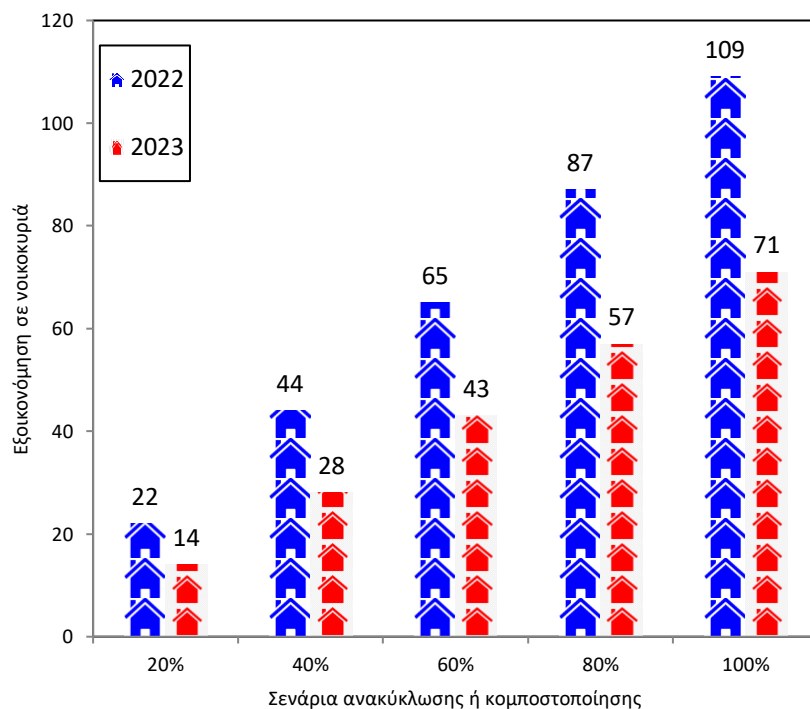


Διάγραμμα Π23. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση χαρτιού σε βαρέλια πετρελαίου.

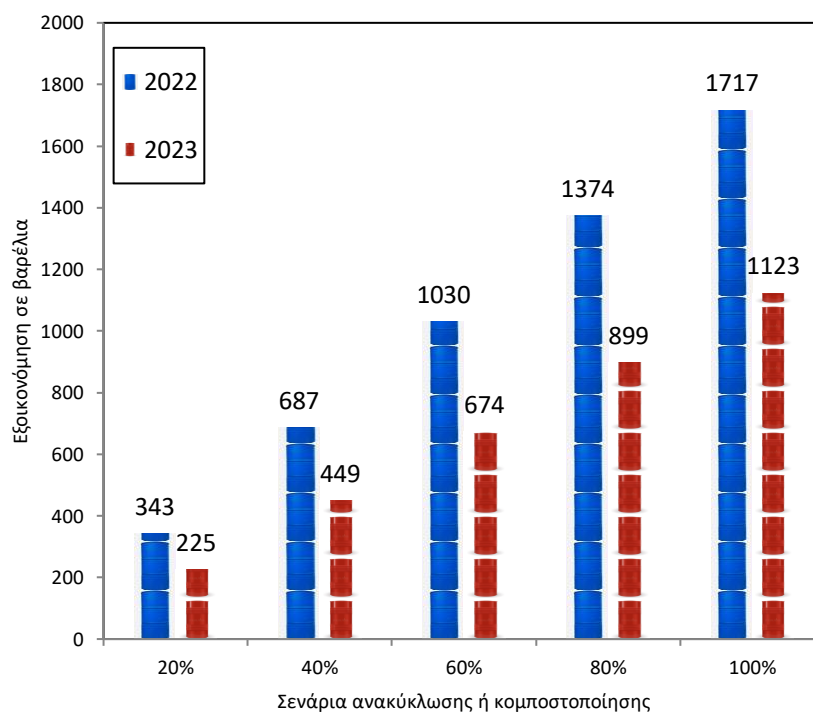


Διάγραμμα Π24. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση χαρτιού σε γαλόνια βενζίνης.

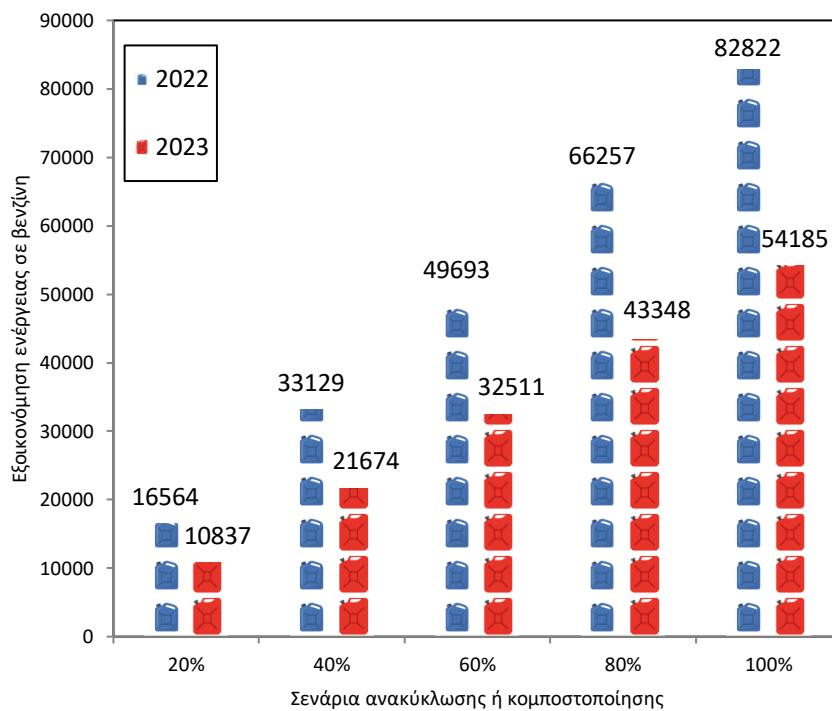
Πλαστικό



Διάγραμμα Π25. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση πλαστικού σε νοικοκυριά.

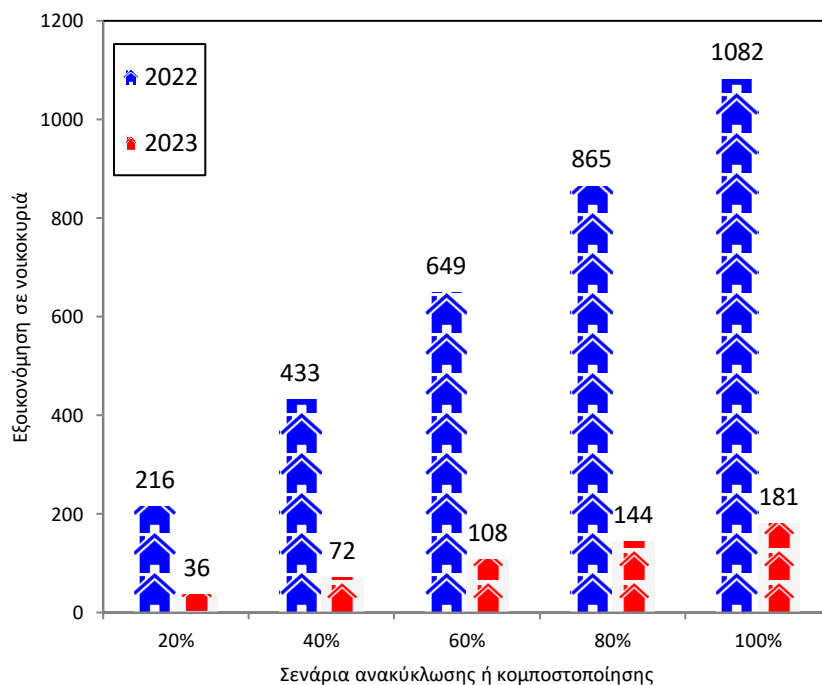


Διάγραμμα Π26. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση πλαστικού σε βαρέλια πετρελαίου.

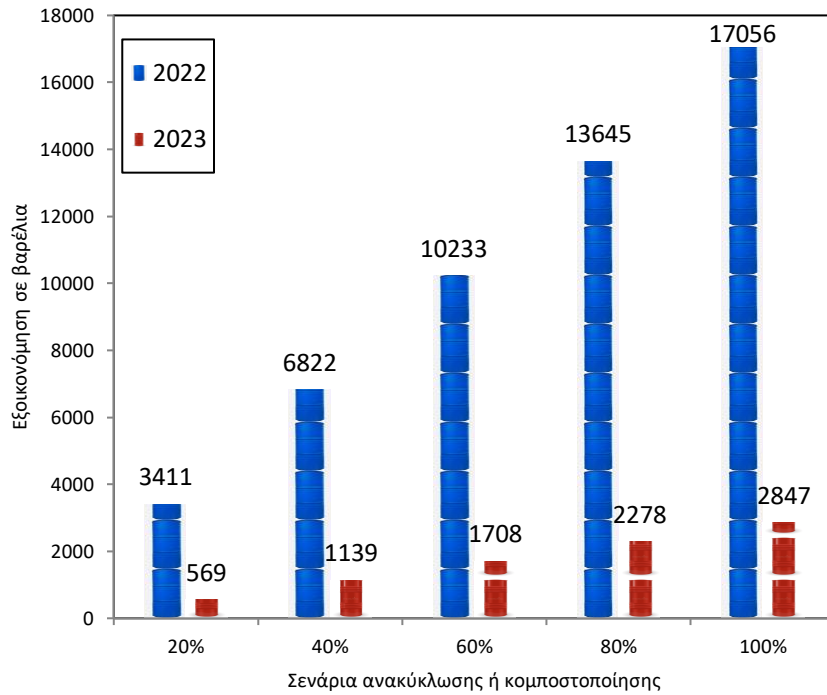


Διάγραμμα Π27. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση πλαστικού σε γαλόνια βενζίνης.

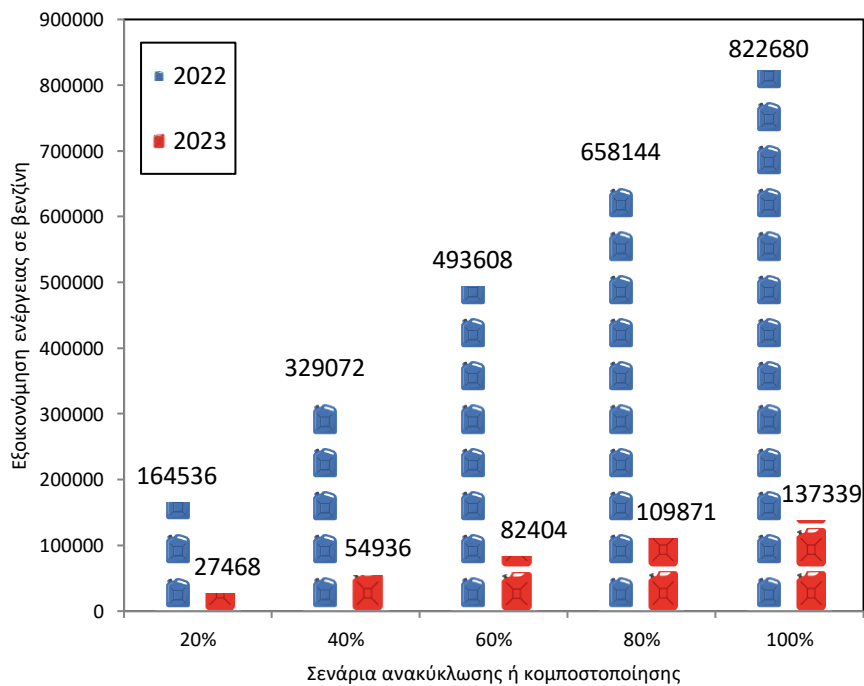
Αλουμίνιο



Διάγραμμα Π28. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση αλουμινίου σε νοικοκυριά.

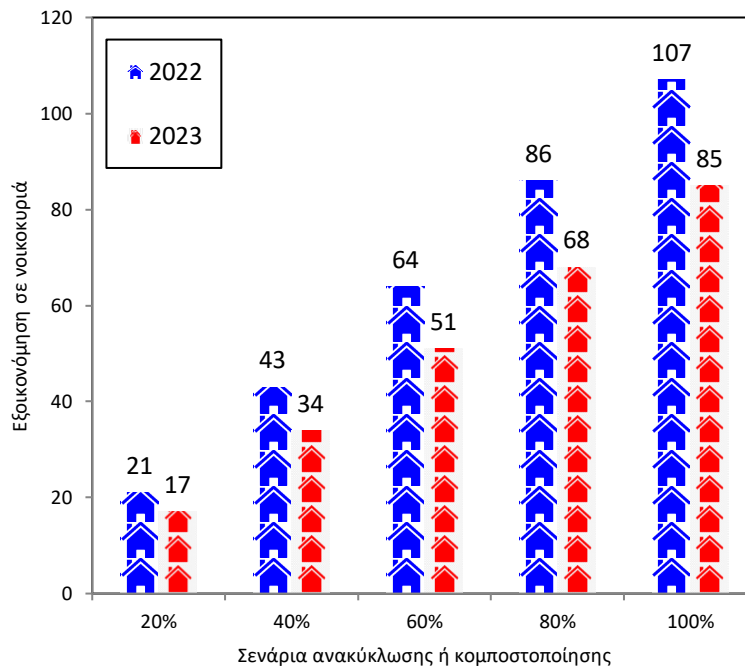


Διάγραμμα Π29. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση αλουμινίου σε βαρέλια πετρελαίου.

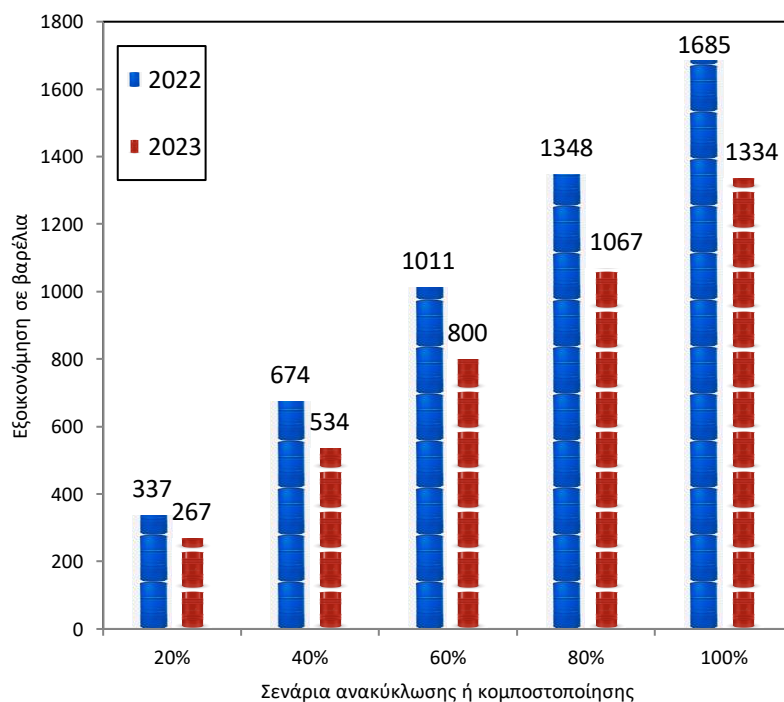


Διάγραμμα Π30. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση αλουμινίου σε γαλόνια βενζίνης.

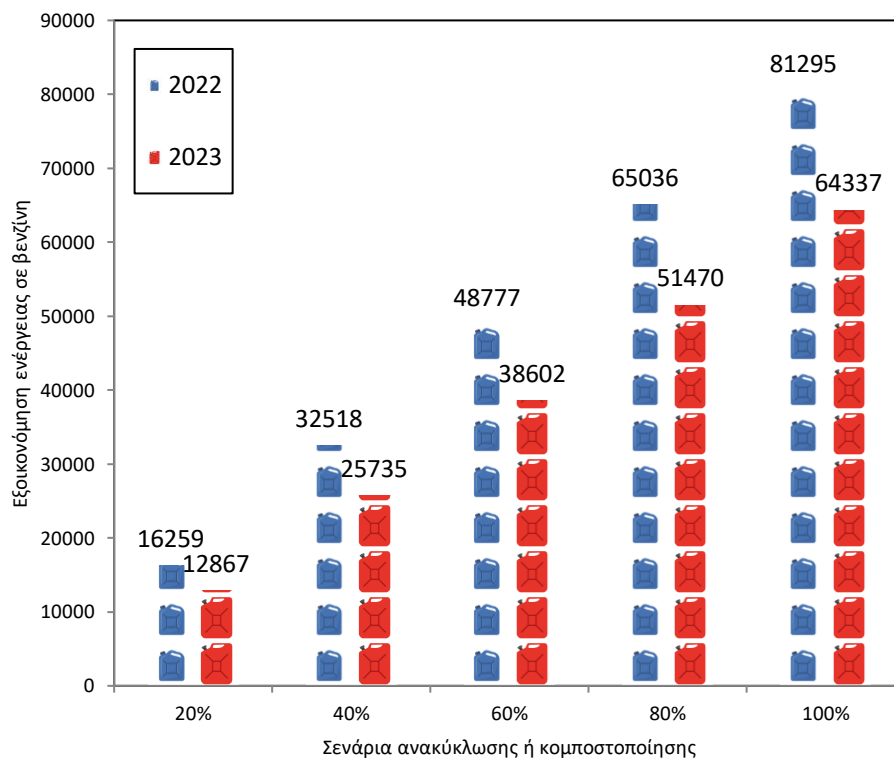
Άλλα μέταλλα



Διάγραμμα Π31. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε νοικοκυριά.

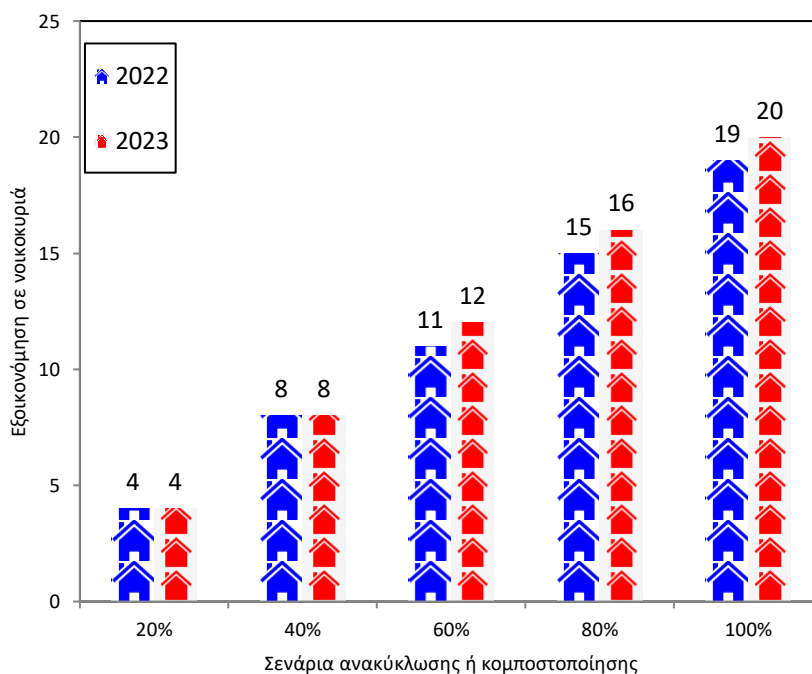


Διάγραμμα Π32. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε βαρέλια πετρελαίου.

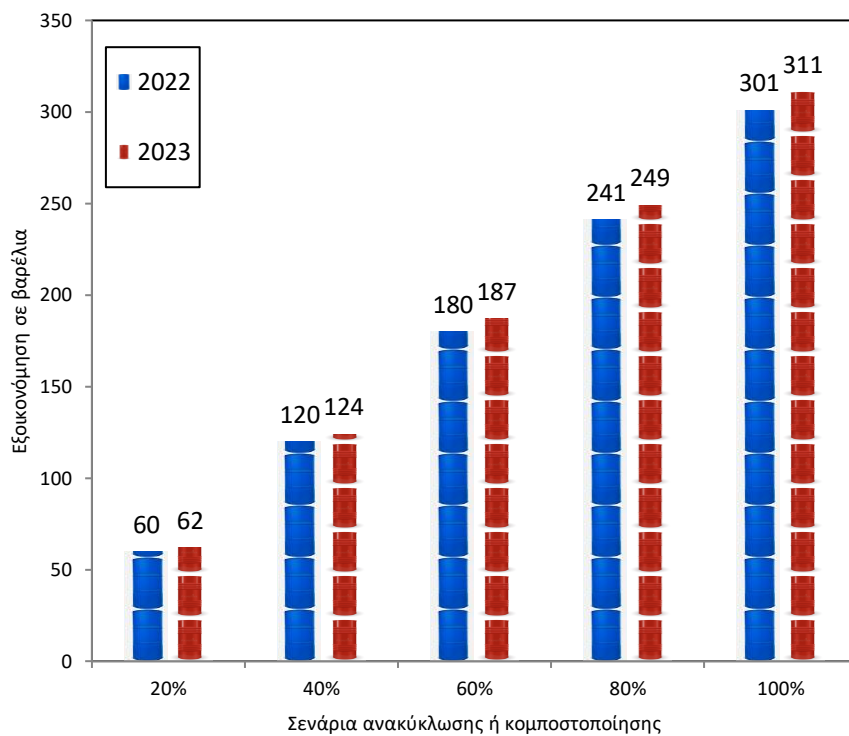


Διάγραμμα Π33. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση άλλων μετάλλων σε γαλόνια βενζίνης.

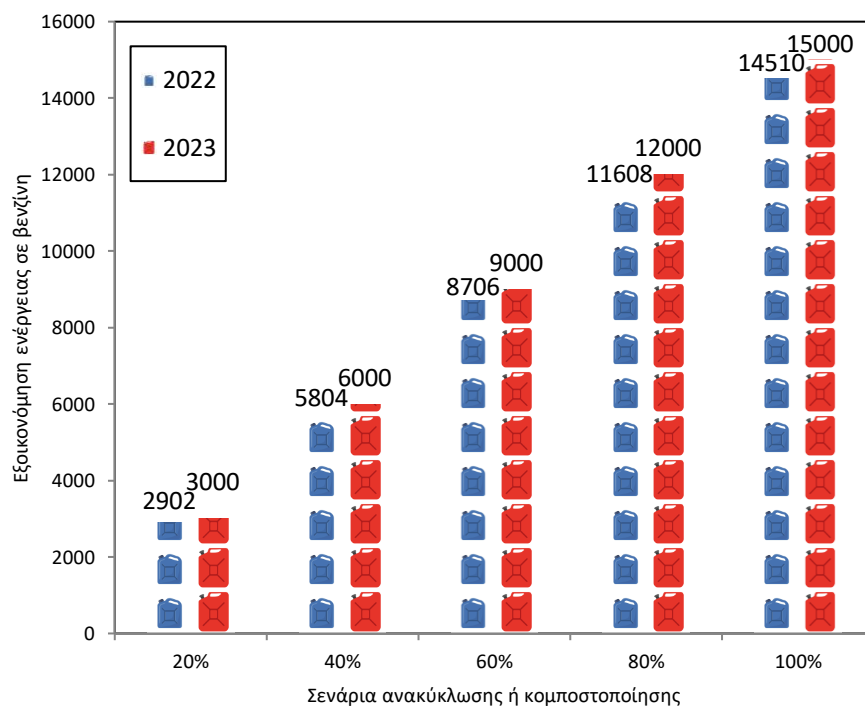
Γυαλί



Διάγραμμα Π34. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση γυαλιού σε νοικοκυριά.

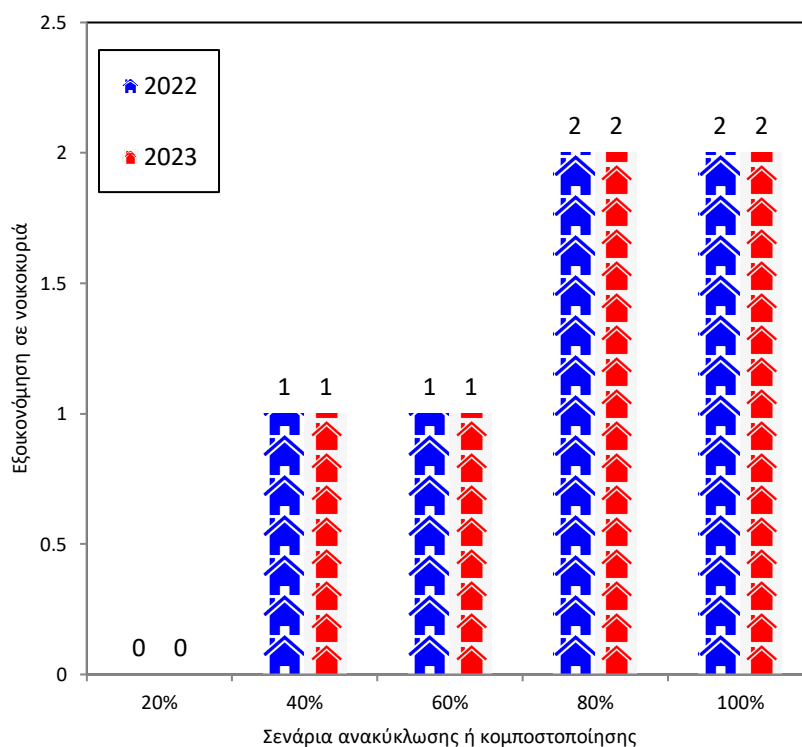


Διάγραμμα Π35. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση γυαλιού σε βαρέλια πετρελαίου.

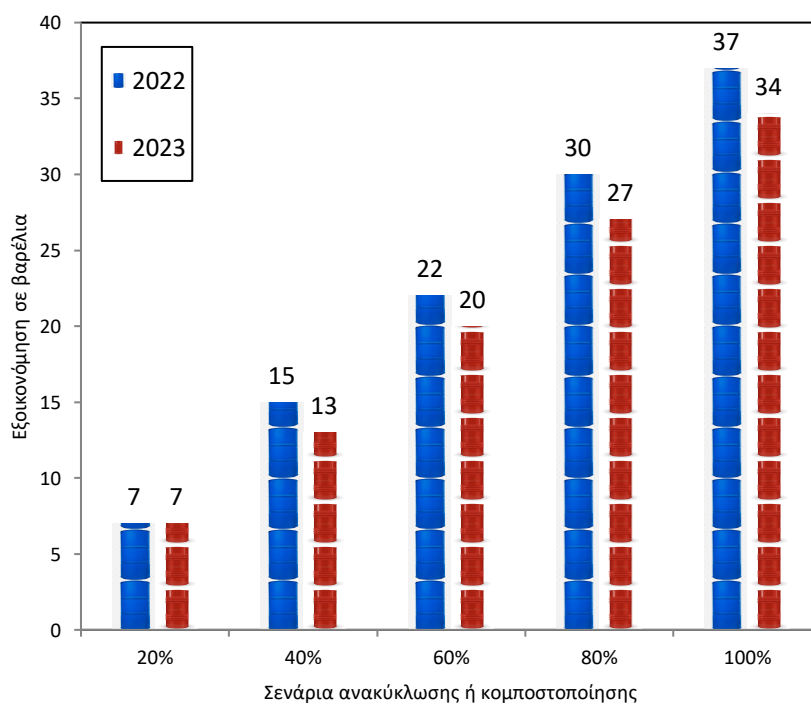


Διάγραμμα Π36. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση γυαλιού σε γαλόνια βενζίνης.

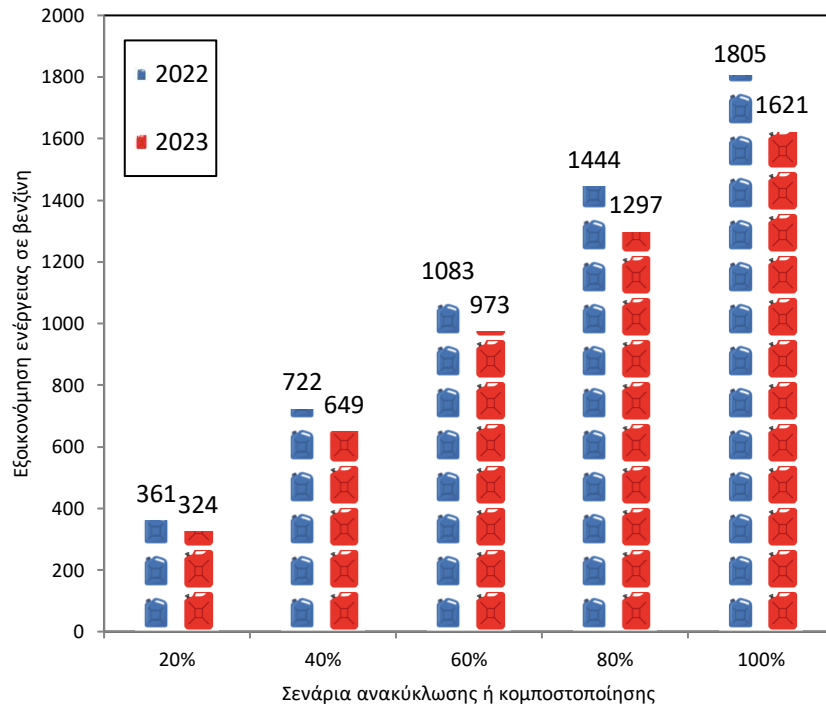
Βιολογικά απόβλητα



Διάγραμμα Π37. Εξοικονόμηση ενέργειας για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε νοικοκυριά.

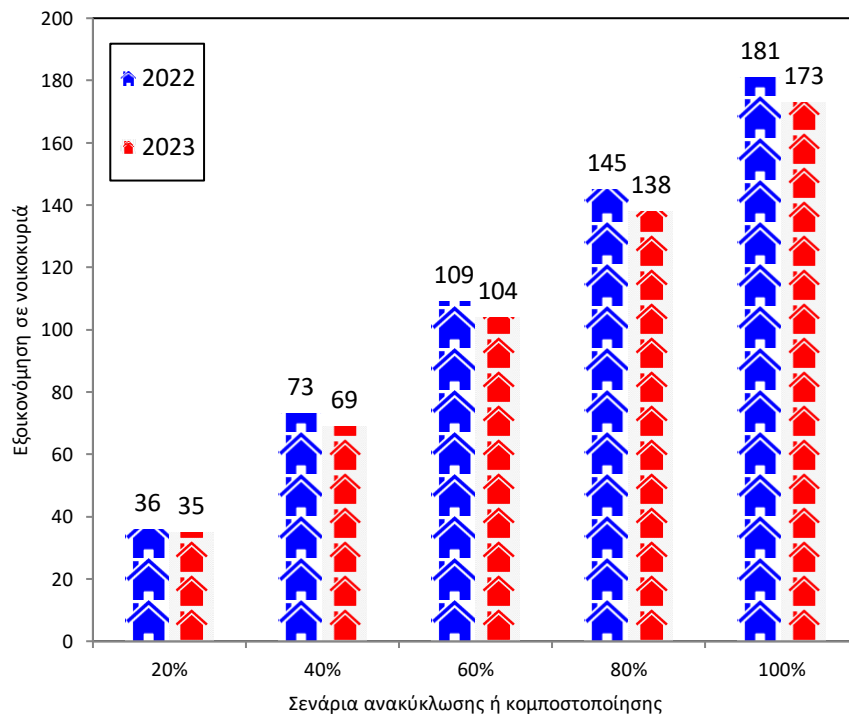


Διάγραμμα Π38. Εξοικονόμηση ενέργειας για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε βαρέλια πετρελαίου.

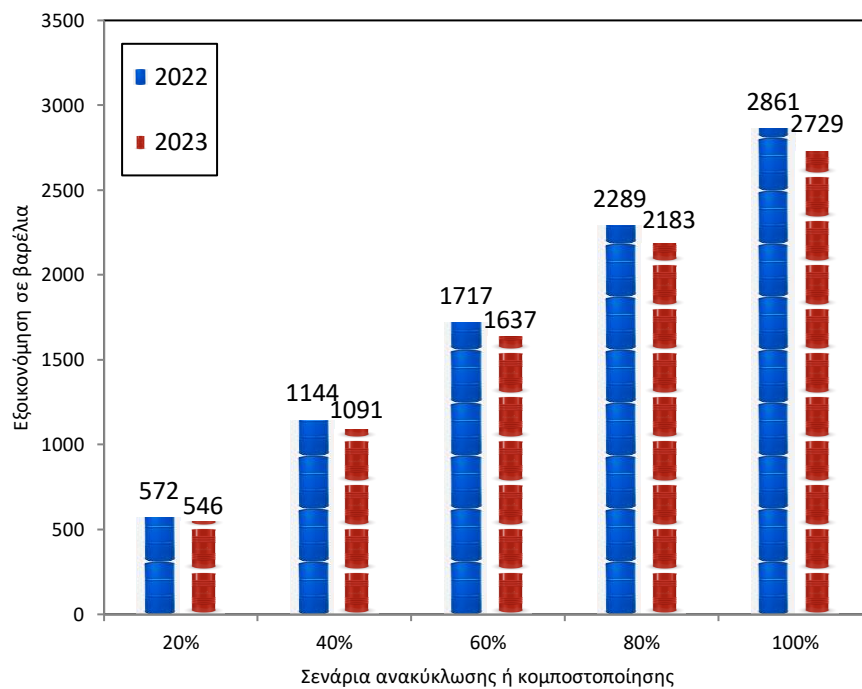


Διάγραμμα Π39. Εξοικονόμηση ενέργειας για κομποστοποίηση βιοαποβλήτων σε γαλόνια βενζίνης.

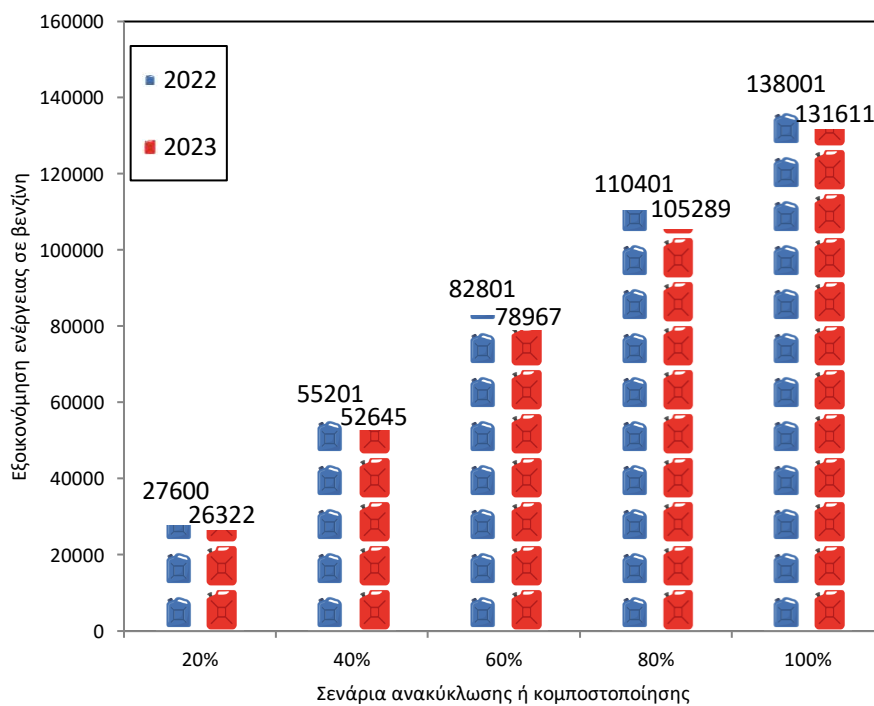
Λοιπά



Διάγραμμα Π40. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση λοιπών σε νοικοκυριά.



Διάγραμμα Π41. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση λοιπών σε βαρέλια πετρελαίου.



Διάγραμμα Π42. Εξοικονόμηση ενέργειας για ανακύκλωση λοιπών σε γαλόνια βενζίνης.

Παράρτημα 3

Σε αυτό το παράρτημα παρουσιάζεται το μοντέλο WARM στο Excel που αξιοποιήθηκε στους υπολογισμούς. Στην συνέχεια, φαίνεται ο τρόπος χρήσης και οι επιλογές των σχετικών ρυθμίσεων παραμετροποίησης του μοντέλου.

Εικόνα Π1. Το μοντέλο WARM ως φύλλο Excel.

Στην Εικόνα Π1 απεικονίζεται η κύρια καρτέλα “Analysis Inputs” του WARM, μέσω της οποίας καθορίζονται και τροποποιούνται οι μεταβλητές των υπό διερεύνηση σεναρίων, σύμφωνα με τους προκαθορισμένους περιορισμούς. Η διαδικασία περιλαμβάνει δύο βήματα: στο πρώτο (αριστερή πλευρά) ορίζεται το αρχικό σενάριο, ενώ στο δεύτερο (δεξιά πλευρά) προσδιορίζεται το εναλλακτικό σενάριο προς μελέτη.

Κρίσιμο σημείο αποτελεί η απαίτηση οι συνολικές ποσότητες τόνων ανά υλικό να είναι ίσες και στα δύο σενάρια.

Εικόνα Π2. Δήλωση εκπομπών ηλεκτρισμού.

Επιλέγουμε “National Average”.

Εικόνα Π3. Μορφή υλικών για μείωση στη πηγή.

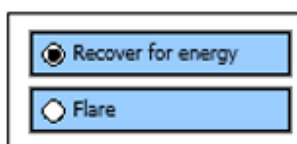
Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η συγκεκριμένη διάσταση της διαχείρισης δεν αποτέλεσε αντικείμενο ανάλυσης ή περαιτέρω διερεύνησης. Για

τον λόγο αυτό, οι σχετικές ρυθμίσεις και οι τεχνικές παράμετροι που σχετίζονται με τη μείωση πηγής δεν αναλύονται περαιτέρω στο κείμενο, καθώς κρίθηκαν εκτός του πεδίου της παρούσας μελέτης.



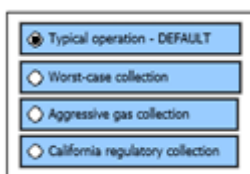
Εικόνα Π4. Δήλωση μεταβλητής για το σύστημα ελέγχου αερίων XYTA (Landfill Gas – LFG).

Για το σύστημα ελέγχου των αερίων που παράγονται στους χώρους υγειονομικής ταφής (Landfill Gas – LFG) επιλέχθηκε η παράμετρος “National Average”.



Εικόνα Π5. Δήλωση μεταβλητής για την ανάκτηση αερίων από χώρους υγειονομικής ταφής.

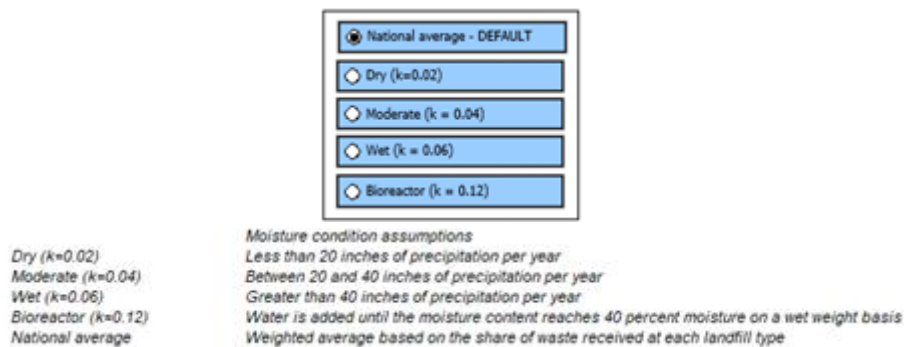
Σχετικά με την ανάκτηση των αερίων, υπάρχει η δυνατότητα είτε να αξιοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας (επιλογή “Recover for energy”) είτε να καούν (επιλογή “flare”). Με βάση τα δεδομένα που εξετάστηκαν για το πλαίσιο της παρούσας εργασίας και κάνοντας μια υπόθεση, επιλέχθηκε η χρήση τους για παραγωγή ενέργειας.



	Landfill gas collection efficiency (%) assumptions
Typical	Years 0-1: 0%; Years 2-4: 50%; Years 5-14: 75%; Years 15 to 1 year before final cover: 82.5%; Final cover: 90%
Worst-case	Years 0-4: 0%; Years 5-9: 50%; Years 10-14: 75%; Years 15 to 1 year before final cover: 82.5%; Final cover: 90%
Aggressive	Year 0: 0%; Years 0.5-2: 50%; Years 3-14: 75%; Years 15 to 1 year before final cover: 82.5%; Final cover: 90%
California	Year 0: 0%; Year 1: 50%; Years 2-7: 80%; Years 8 to 1 year before final cover: 85%; Final cover: 90%

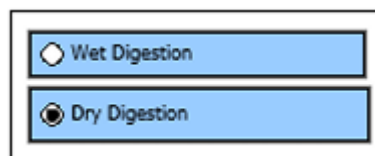
Εικόνα Π6. Επιλογές αποδοτικότητας για τη συλλογή αερίων.

Στη συνέχεια, ορίζεται η απόδοση της διαδικασίας συλλογής αερίων. Δεδομένου ότι υποθέσαμε πως η απόδοση της διαδικασίας αντιστοιχεί στον μέσο όρο, επιλέχθηκε η επιλογή “Typical Operation – DEFAULT”.

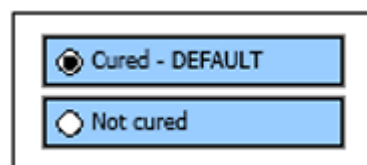


Εικόνα Π7. Κατάσταση υγρασίας στον χώρο υγειονομικής ταφής.

Όπως και στο προηγούμενο βήμα, επιλέγεται το στοιχείο “National Average - DEFAULT” βάσει της υπόθεσης, σχετικά με την υγρασία στον χώρο υγειονομικής ταφής.

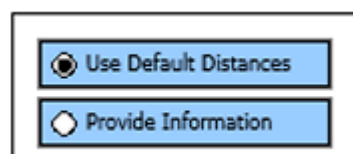


Εικόνα Π8. Επιλογές για την αναερόβια χώνευση.



Εικόνα Π9. Επιλογές προϊόντος αναερόβιας χώνευσης.

Οι Εικόνες Π8 και Π9 παρουσιάζουν επιλογές για την αναερόβια χώνευση, η οποία δεν εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη. Οι ρυθμίσεις για αυτή τη διαδικασία διατηρήθηκαν αμετάβλητες, σύμφωνα με τις προκαθορισμένες επιλογές.



Εικόνα Π10. Αποστάσεις μετακίνησης απορριμμάτων.

Έχει γίνει αναφορά στη δήλωση αποστάσεων στο Κεφάλαιο 3.

Total Change in GHG Emissions (MTCO₂E): **(1.047,55)**

This is equivalent to...		
Removing annual emissions from	222	Passenger Vehicles
Conserving	117.874	Gallons of Gasoline
Conserving	43.648	Cylinders of Propane Used for Home Barbeques
0,00006% Annual CO₂ emissions from the U.S. transportation sector		
0,00006% Annual CO₂ emissions from the U.S. electricity sector		

Total Change in Energy Use (million BTU): **(4.703,96)**

This is equivalent to...		
Conserving	51	Households' Annual Energy Consumption
Conserving	810	Barrels of Oil
Conserving	39.052	Gallons of Gasoline

Εικόνα Π11. Αποτελέσματα υπολογισμών και ισοδύναμων εξοικονόμησης.

Στην Εικόνα Π11 απεικονίζεται ο πίνακας αποτελεσμάτων του WARM (παραδειγματικά φαίνεται το σενάριο 80% μόνο για την ανακύκλωση χαρτιού), ο οποίος βρίσκεται στην καρτέλα “Summary Report”. Από αυτόν τον πίνακα συλλέχθηκαν όλα τα αριθμητικά στοιχεία της εργασίας που αφορούν τη μείωση των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εκφρασμένη σε ισοδύναμα εξοικονόμησης, όπως αναλύθηκε προηγουμένως.

Βιβλιογραφία

Σε αλφαβητική σειρά:

Βογιατζή, Β.Δ. & Μούχλια, Μ.Τ. (2021). Στερεά απόβλητα και κυκλική οικονομία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2024). Στερεά απόβλητα: 2022, ΕΛΣΤΑΤ. Ανάκτηση από: https://www.statistics.gr/documents/20181/18492981/DT_APOBLHTA_2022_gr.pdf/7891e630-9a63-6d90-542b-d6eff77bb915 , πρόσβαση 18/03/2025.

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2024). Βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων: τι κάνει η ΕΕ. Ανάκτηση από: <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20180328STO00751/viosimi-diacheirisi-apovliton-ti-kanei-i-ee>, πρόσβαση 18/03/25.

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2008). Ιεράρχηση των αποβλήτων. Ανάκτηση από: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM:waste_hierarchy, πρόσβαση από 20/03/25.

Ευρωπαϊκή Στατιστική Αρχή. (2025). Municipal waste statistics. Eurostat. Ανάκτηση από: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics , πρόσβαση 18/03/25.

Κατσαρά, Γ. (2021). Διαχείριση επικίνδυνων αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Στεργιάδης, Γ.(2025). Εκτίμηση περιβαλλοντικών και ενεργειακών ωφελειών από την εναλλακτική διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων με τη χρήση του μοντέλου WARM. Πολυτεχνείο Κρήτης.

Υπουργικό Συμβούλιο. (2020). Έγκριση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (Ε.Σ.Δ.Α.). Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, ΦΕΚΑ' 185/29.09.2020.

COCA-COLA 3E ΕΛΛΑΔΟΣ ABEE. (2022). Ετήσια έκθεση παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων (εκπομπών και αποβλήτων). Σχηματάρι, Βοιωτία.

COCA-COLA 3E ΕΛΛΑΔΟΣ ABEE. (2023). Ετήσια έκθεση παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων (εκπομπών και αποβλήτων). Σχηματάρι, Βοιωτία.

Environmental Protection Agency. (2023). Waste Reduction Model (WARM), EPA. Ανάκτηση από: <https://www.epa.gov/warm/versions-waste-reduction-model>, πρόσβαση 18/03/2025.

U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery.(2023). Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM).Ανάκτηση από: [Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model \(WARM\) - Management Practices Chapters](#) , πρόσβαση 18/03/2025.