

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2025

Γραπτή εργασία – ΜΕΡΟΣ Α': Σχεδιασμός συστήματος διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων: Συλλογή / μεταφορά / μεταφόρτωση / κοστολόγηση

Σε μία περιφερειακή ενότητα (ΠΕ) υπάρχουν τρεις δήμοι που έχουν μόνιμο πληθυσμό ως εξής:

Δήμος	Μόνιμος Πληθυσμός
1	80.000
2	60.000
3	70.000

Η μοναδιαία παραγωγή απορριμμάτων και στους 3 δήμους είναι 550 kg/κατ-έτος. Η σύσταση των απορριμμάτων της ΠΕ είναι: Βιοαπόβλητα (40%), Ανακυκλώσιμο χαρτί / χαρτόνι (10%), Ανακυκλώσιμα μέταλλα (5%), Ανακυκλώσιμα μικτά πλαστικά (10%), Γυαλί (5%), ΑΗΗΕ (10%), Μη ανακυκλώσιμο βρώμικο χαρτί υγιεινής / άλλα (20%), Ο διαχωρισμός των αποβλήτων στην πηγή (χωριστή συλλογή) και στους 3 δήμους γίνεται με τον εξής ίδιο τρόπο:

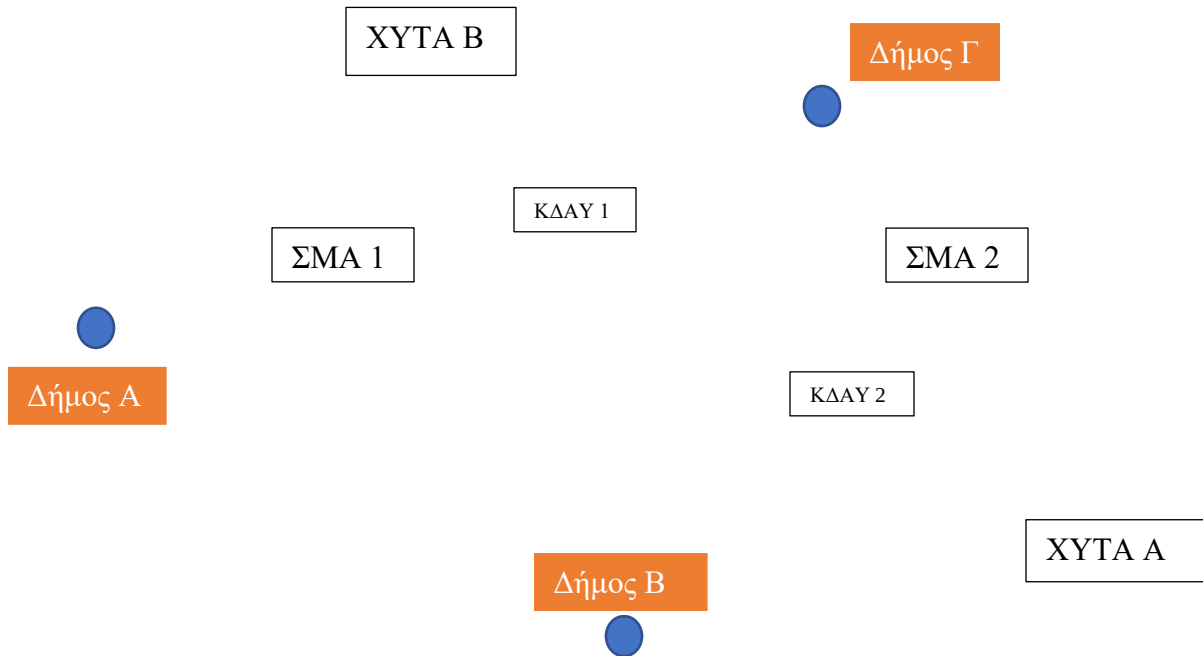
1. Καφέ κάδοι, όπου οι κάτοικοι διαχωρίζουν μόνο τα βιοαπόβλητα (υπολ. φαγητών, υπολ. κήπου).
2. Μπλε κάδοι, όπου οι κάτοικοι διαθέτουν τα ξηρά ανακυκλώσιμα ή τις μικτές απορριμματικές συσκευασίες (ΜΑΣ) συνδυαστικά (δηλ. χαρτί/χαρτόνι+μέταλλα+πλαστικά+γυαλί),
3. Γκρί κάδοι, όπου οι κάτοικοι διαθέτουν εκεί όλα τα υπόλοιπα σύμμεικτα (που περιλαμβάνουν και τα ξηρά ανακυκλώσιμα και τα βιοαπόβλητα που δεν καταλήγουν στους μπλε και καφέ κάδους, αντίστοιχα, καθώς και όλο το μη ανακυκλώσιμο χαρτί/άλλα).
4. Τα ΑΗΗΕ μεταφέρονται όλα από τους ίδιους τους κατοίκους σε πράσινα σημεία που διαθέτουν οι δήμοι.

Τα ποσοστά συμμετοχής του κοινού στη χωριστή συλλογή (μπλέ, καφέ κάδοι) και στους τρεις δήμους είναι:

- 30% για χαρτί,χαρτόνι / πλαστικά / μέταλλα / γυαλί (μπλέ κάδοι)
- 20% για βιοαπόβλητα (καφέ κάδοι)
- 100% για ΑΗΗΕ

Στη γύρω περιοχή υπάρχουν 2 ΚΔΑΥ, 2 ΧΥΤΑ (χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων) και 2 ΣΜΑ (σταθμοί μεταφόρτωσης απορριμμάτων). Ο κάθε δήμος θέλει να γνωρίζει που θα διαθέτει τα απορρίμματά του και πόσο θα κοστίζει η διαχείριση των απορριμμάτων του, λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω κόστη μεταφορών, τις παρακάτω αποστάσεις μεταξύ των κόμβων (πίνακας στο τέλος της εργασίας), τα παρακάτω τέλη εισόδου (gate fees) στους ΣΜΑ και ΧΥΤΑ (στο ΚΔΑΥ δεν υπάρχει τέλος εισόδου) και τους παρακάτω φόρους ταφής (landfill tax).

Μία γραφική απεικόνιση των κόμβων (όχι σε κλίμακα) είναι η παρακάτω.



Οι πραγματικές αποστάσεις (δες πίνακα) μεταξύ των κόμβων δεν βασίζονται σε ευθείες γραμμές μεταξύ των σημείων (το σχήμα δεν είναι σε κλίμακα).

Οι πληροφορίες που έχουμε είναι ότι

- Ένα όχημα μικρό που μεταφέρει 8 t απορριμμάτων (όλες τις κατηγορίες, δηλαδή σύμμεικτα, ξηρά ανακυκλώσιμα) καίει περίπου 30 L diesel / 100 km.
- Ένα όχημα μεγάλο (συρμός με τράκτορα, container with tractor) μεταφέρει 22 t απορριμμάτων (όλες τις κατηγορίες, δηλαδή σύμμεικτα, ξηρά ανακυκλώσιμα) και καίει περίπου 50 L diesel / 100 km.

(από τα παραπάνω μπορείτε να υπολογίσετε το κόστος μεταφοράς ενός τόνου απορριμμάτων ανά χιλιόμετρο με κόστος πετρελαίου κίνησης (diesel) ίσο με €2/L. Παραδειγματικά, ο συντελεστής για το μικρό όχημα θα ήταν $30L \times 2\text{€} / (100km \times 8t) = 0,075 \text{ €/t-km}$. Άρα, αν οχήματα αυτής της κατηγορίας μεταφέρουν τα απορρίμματα μιας πόλης που παράγει π.χ. 50 t/d διανύοντας μία απόσταση 30 km για να φτάσουν σε ένα ΧΥΤΑ ή ΣΜΑ, και επιστρέψουν πίσω στην πόλη, τότε το ολικό κόστος μεταφοράς τους ανά ημέρα θα ήταν: $0,075 \times 50 \times 30 \times 2 = 225 \text{ €/d}$. Το 2 περιλαμβάνεται στο γινόμενο διότι το όχημα πηγαίνει και επιστρέφει πίσω στον κόμβο (αν και άδειο τη 2^η φορά). Η κατανάλωση καυσίμου θεωρούμε ότι δεν θα διαφέρει πολύ μεταξύ άδειου και γεμάτου οχήματος. Με τον ίδιο τρόπο θα υπολογίσετε και το κόστος μεταφοράς ανά τόνο και χιλιόμετρο για τους συρμούς, που θα δείτε ότι βγαίνει μικρότερο του κόστους των μικρών οχημάτων).

- Τέλος εισόδου (gate fee) σε ΧΥΤΑ Α και ΧΥΤΑ Β αντίστοιχα: €30/t, €35/t.
- Τέλος εισόδου (gate fee) σε ΣΜΑ 1 και ΣΜΑ 2, αντίστοιχα, €1/t, €1/t.
- Τα υπολείμματα των ΚΔΑΥ, τα οποία τελικά οδηγούνται σε ΧΥΤΑ (με μικρά οχήματα) είναι το 50% των εισερχομένων ΜΑΣ (μπλε κάδοι) που εισέρχονται στο ΚΔΑΥ (συνεπώς

- τελικά ανακτάται το 50% των εισερχομένων απορριμμάτων που περιέχονται στους μπλε κάδους). **ΠΡΟΣΟΧΗ:** Η μεταφορά των υπολειμμάτων στο ΧΥΤΑ επιβαρύνει τους δήμους.
- Η μεταφορά των απορριμμάτων από τα ΣΜΑ προς ΚΔΑΥ/ΧΥΤΑ μέσω συρμών (containers, tractors) επιβαρύνει τους δήμους.

Αγνοήστε τη μεταφορά των βιοαποβλήτων των καφέ κάδων στο μέρος της εργασίας αυτής. Ασχοληθείτε μόνο με τη μεταφορά συμμείκτων απορριμμάτων (γκρί κάδοι) και μικτών απορριμματικών συσκευασιών (μπλε κάδοι). Θεωρήστε ότι οι καφέ κάδοι θα οδηγηθούν σε μονάδα βιολογικής επεξεργασίας και όχι προς ταφή (θα ασχοληθούμε με αυτό στο ΜΕΡΟΣ Β' της εργασίας).

Ερωτήματα

- Υπολογίστε τον αριθμό των κάδων (μπλέ, καφέ, γκρίζων) ανά δήμο. Θεωρήστε όγκο κάδου ίσο με $1,1 \text{ m}^3$. Αναζητήστε στη βιβλιογραφία λογικές φαινομενικές πυκνότητες (bulk densities) των απορριμμάτων στο κάδο ανάλογα με τη σύσταση του μίγματος σε αυτόν. Θεωρήστε συχνότητες συλλογής:
 - ο 4 φορές την εβδομάδα για τα σύμμεικτα (γκρί κάδοι συμμείκτων),
 - ο 3 φορές την εβδομάδα για τα βιοαπόβλητα (καφέ κάδοι βιοαποβλήτων),
 - ο 4 φορές την εβδομάδα για τα ξηρά ανακυκλώσιμα (μπλέ κάδοι ΜΑΣ)

15%

- Εξετάστε για κάθε δήμο, το που συμφέρει να μεταφέρει τα απορρίμματά του και αν χρειάζεται να τα πηγαίνει απευθείας σε ΚΔΑΥ (όσον αφορά τις ΜΑΣ) ή ΧΥΤΑ (σύμμεικτα) ή αν πρέπει να τα μεταφέρει μέσω ΣΜΑ στους παραπάνω κόμβους. Για να το κάνετε αυτό, να συγκρίνετε (τουλάχιστον) 2 λογικά σενάρια μεταφοράς των ΑΣΑ ανά δήμο (π.χ. ένα σενάριο μεταφοράς μέσω του εγγύτερου ΣΜΑ και ένα σενάριο μεταφοράς απευθείας σε ΚΔΑΥ-ΧΥΤΑ).

20%

- Με βάση τα παραπάνω φτιάξτε ένα ολοκληρωμένο βέλτιστο διάγραμμα ροής μαζών όλων των συστατικών των στερεών αποβλήτων για το σύνολο της ΠΕ.

5%

- Ποιο είναι το κόστος μεταφοράς και διαχείρισης των απορριμμάτων για τον κάθε δήμο ξεχωριστά (με βάση τα οικονομικά στοιχεία που δίνονται στην άσκηση);

5%

- Πόση συνολική ροή αποβλήτων θα δέχεται ο κάθε κόμβος (ΣΜΑ, ΚΔΑΥ και ΧΥΤΑ);

5%

Να λάβετε υπόψη ότι υπάρχει και φόρος ταφής (πλέον ονομάζεται τέλος κυκλικής οικονομίας) ίσος με $\text{€}15/\text{t}$, λόγω της απευθείας διάθεσης σύμμεικτων απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ (δηλαδή των απορριμμάτων που δεν έχουν υποστεί κάποια προεπεξεργασία, όπως ανακύκλωση σε ΚΔΑΥ ή κομποστοποίηση κ.λ.π.). Το τέλος αυτό εφαρμόζεται και στα υπολείμματα που προέρχονται μετά από ένα ΚΔΑΥ. **(παραδειγματικά, αν ένας δήμος παράγει ημερησίως 100 t απορριμμάτων, από τα οποία οι 30 t είναι ΜΑΣ που μεταφέρονται στο ΚΔΑΥ, και οι 70 t μεταφέρονται απευθείας προς ταφή στο ΧΥΤΑ, ενώ από τους 30 t των ΜΑΣ, ανακτώνται τελικά εντός του ΚΔΑΥ οι 15 t και οι υπόλοιποι 15 μεταφέρονται σε ΧΥΤΑ ως υπόλειμμα, τότε ο συνολικός φόρος ταφής για το δήμο θα ήταν: $(70+15) \times 15 = \text{€}1.275/\text{d}$).** Το τέλος κυκλικής οικονομίας εισπράττεται από τα κρατικά ταμεία και επιβαρύνει φυσικά τους δήμους.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων του παραπάνω συστήματος.

Αποστάσεις μεταξύ κόμβων (km)

	ΔΗΜΟΣ								
	ΔΗΜΟΣ Α	Β	ΔΗΜΟΣ Γ	ΚΔΑΥ 1	ΚΔΑΥ 2	ΣΜΑ 1	ΣΜΑ 2	ΧΥΤΑ Α	ΧΥΤΑ Β
ΔΗΜΟΣ Α		100	200	30	40	20	50	120	70
ΔΗΜΟΣ Β			100	50	30	30	40	30	90
ΔΗΜΟΣ Γ				20	30	40	10	70	30
ΚΔΑΥ 1						50	30	80	20
ΚΔΑΥ 2						60	20	20	80
ΣΜΑ 1								120	110
ΣΜΑ 2								30	40

Γραπτή εργασία – ΜΕΡΟΣ Β': Επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων – Καύση σύμμεικτων και αναερόβια χώνευση βιοαποβλήτων (συστήματα ανάκτησης ενέργειας)

Οι πόλεις που αναφέρονται στο ΜΕΡΟΣ Α' της εργασίας σας, αποφάσισαν να κατασκευάσουν μια μονάδα επεξεργασίας των **σύμμεικτων απορριμμάτων** (μετά από τη διαλογή στην πηγή των ανακυκλωσίμων και των βιοαποβλήτων), αντί για απλή διάθεση σε ΧΥΤΑ, με σκοπό να εξασφαλίσουν (α) συμμόρφωση με τις παρούσες Κοινοτικές Οδηγίες, (β) παραγωγή ενέργειας και χρήσιμων υλικών και (γ) επιμήκυνση του χρόνου ζωής του χώρου υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Επίσης, αποφάσισαν να κατασκευάσουν και μία άλλη μονάδα για τη βιολογική αναερόβια επεξεργασία των προδιαλεγμένων στην πηγή **βιοαποβλήτων**. Θεωρήστε ότι τα απορρίμματα έχουν την ίδια σύσταση με αυτή που δόθηκε στο ΜΕΡΟΣ Α' της εργασίας και ότι υπάρχουν τα ίδια ποσοστά διαλογής στην πηγή ξηρών ανακυκλώσιμων (δηλαδή απορριμματικών συσκευασιών όπως χαρτί/χαρτόνι, πλαστικά, μέταλλα, γυαλί) και βιοαποβλήτων (ίδια συμμετοχή του κοινού σε %).

Καύση για ανάκτηση ενέργειας

Για τα **σύμμεικτα απορρίμματα**, επιλέγεται μηχανική διαλογή συνοδευόμενη από καύση με ανάκτηση ενέργειας με τη μορφή ηλεκτρισμού (100% της ενέργειας) και στη συνέχεια υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων (τέφρας, σκωρία) της καύσης σε χώρο ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ). Η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια είναι 35%.

1. Εκτιμήστε τις ροές υλικών που οδηγούνται για καύση. **4%**
2. Εκτιμήστε τις ποσότητες που θα πρέπει να διαχωρίζονται πριν την καύση (π.χ. γυαλί, μέταλλα) και τις ποσότητες που θα οδηγούνται προς καύση. **3%**
3. Βρείτε έναν εμπειρικό τύπο της μορφής $C_xH_yO_zN$ για τα οργανικά απορρίμματα που θα οδηγηθούν σε καύση (χρησιμοποιώντας την σύσταση και την περιεκτικότητα σε στοιχεία που θα βρείτε στο διαδίκτυο κάθε κλάσματος των απορριμμάτων) θεωρώντας ότι θα αφαιρεθούν πλήρως όλα τα ανόργανα (γυαλί, μέταλλα) πριν την είσοδο στον καυστήρα. **7%**
4. Εκτιμήστε τις απαιτήσεις σε αέρα (m^3/h) κατά την καύση κάνοντας χρήση μίας κλασσικής στοιχειομετρικής εξίσωσης (μην ξεχνάτε ότι στην πράξη, ο απαιτούμενος αέρας είναι ο διπλάσιος από τον στοιχειομετρικό σε μία μονάδα καύσης ΑΣΑ). Υπολογίστε την ανακτώμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την καύση και τις ποσότητες των υπολειμμάτων της διεργασίας που θα οδηγούνται σε χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ). **8%**
5. Πόσο χρόνια περισσότερο θα διαρκέσει ο ΧΥΤΥ που θα δέχεται τις τέφρες (υπολείμματα) μετά την καύση σε σύγκριση με το χρόνο ζωής ενός ΧΥΤΑ που θα δεχόταν απευθείας τα ίδια σύμμεικτα απορρίμματα (χωρίς καύση, αλλά μετά την υπάρχουσα ανακύκλωση). Τελικά, ποια είναι η επέκταση του χρόνου ζωής του χώρου ταφής σε έτη; **3%**

Αναερόβια χώνευση

Επιπρόσθετα, τα προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα που συλλέγονται με τη χρήση του **καφέ κάδου** και από τις τρεις πόλεις επιλέγεται να οδηγηθούν σε μια κοινή μονάδα αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας (αναερόβιας χώνευσης) για παραγωγή βιοαερίου και χωνεύματος υψηλής ποιότητας.

1. Δουλέψτε με έναν αναερόβιο χωνευτή υγρής φάσης. Υπολογίστε το νερό που απαιτείται να προστεθεί στα βιοαπόβλητα ώστε να δουλέψει το σύστημα σε υγρή φάση. **3%**
2. Πόσος είναι ο συνολικός όγκος του μίγματος που εισέρχεται στον αντιδραστήρα μετά την προσθήκη νερού (ΠΡΟΣΟΧΗ: απαιτείται μετατροπή της αρχικής εισερχομένης μάζας σε όγκο με χρήση κατάλληλης φαινομενικής πυκνότητας. π.χ. $1000 \text{ t/d} : 0.6 \text{ t/m}^3 = 1666 \text{ m}^3/\text{d}$). **3%**
3. Επιλέξτε ένα κατάλληλο υδραυλικό χρόνο παραμονής και υπολογίστε τον όγκο του αναερόβιου βιοαντιδραστήρα. **5%**
4. Από τον εμπειρικό τύπο των βιοαποβλήτων που έχετε ήδη εξάγει, υπολογίστε με μία τυπική εξίσωση αναερόβιας χώνευσης, την ποσότητα του βιοαερίου ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3$) που θα παραχθεί. Προτείνεται η εξίσωση Buswell. Αγνοήστε το S στον εμπειρικό τύπο. **5%**
5. Πόση ενέργεια (π.χ. σε kWh/y) ανακτάται μέσω της καύσης του μεθανίου που υπολογίζεται θεωρητικά από τη χημική αντίδραση Buswell (υπάρχει και στο διαδίκτυο η πληροφορία σε μονάδες ενέργειας ανά Nm^3); Από αυτήν την ενέργεια, πόση παράγεται σαν ηλεκτρισμός (δηλαδή τι απόδοση έχουμε); **5%**
6. Εκτιμήστε την ποσότητα του υγρού υπολείμματος (χώνευμα) που παράγεται μετά την χώνευση. **4%**