

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2024

ΜΕΡΟΣ Α΄

Σχεδιασμός συστήματος διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων: Συλλογή / μεταφορά / μεταφόρτωση / κοστολόγηση

(Προθεσμία Κυριακή 9-6-2024 23:59)

Σε μία περιφερειακή ενότητα (ΠΕ) υπάρχουν δύο μεγάλοι δήμοι που έχουν τους παρακάτω μόνιμους πληθυσμούς:

Δήμος	Μόνιμος Πληθυσμός
A	100.000
B	60.000

Η μοναδιαία παραγωγή απορριμμάτων (ΜΠΑ) και στους δύο δήμους είναι 500 kg/κατ-έτος. Η σύσταση των απορριμμάτων της ΠΕ είναι: Βιοαπόβλητα (30%), Ανακυκλώσιμο χαρτί / χαρτόνι (15%), Ανακυκλώσιμα μέταλλα (5%), Ανακυκλώσιμα μικτά πλαστικά (15%), Γυαλί (5%), Μη ανακυκλώσιμο βρώμικο χαρτί υγιεινής / άλλα (30%). Ο διαχωρισμός των αποβλήτων στην πηγή (χωριστή συλλογή) 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) (δηλ. χαρτί/χαρτόνι+μέταλλα+πλαστικά+γυαλί),
3. Γκρί κάδοι, όπου οι κάτοικοι διαθέτουν εκεί όλα τα υπόλοιπα *σύμμεικτα* (που περιλαμβάνουν και τις ΜΑΣ και τα βιοαπόβλητα που δεν καταλήγουν στους μπλε και καφέ κάδους, αντίστοιχα, καθώς και όλο το μη ανακυκλώσιμο χαρτί/άλλα).

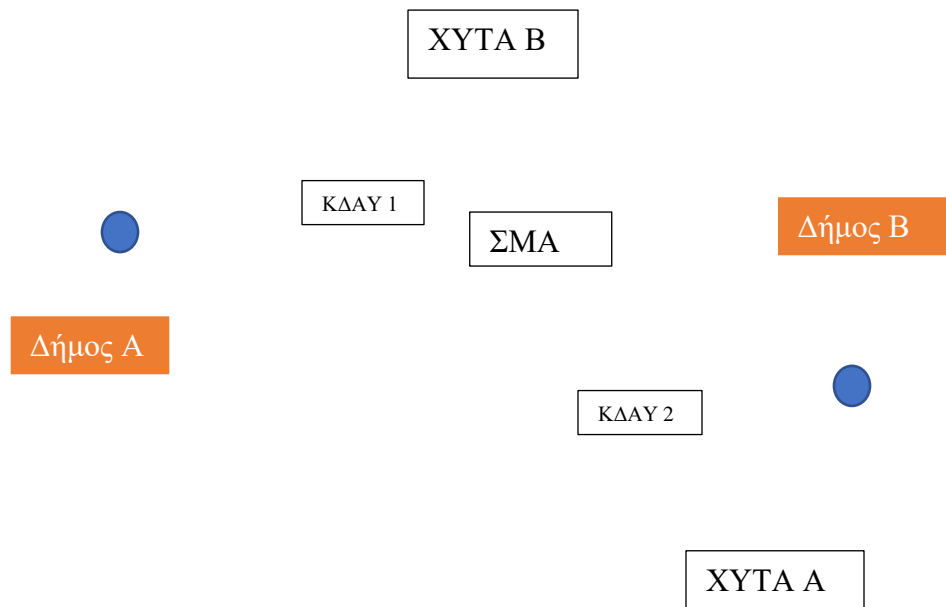
Τα ποσοστά συμμετοχής του κοινού στη χωριστή συλλογή (μπλέ, καφέ κάδοι) στους δύο δήμους είναι:

	Δήμος Α	Δήμος Β
Χαρτί,χαρτόνι / πλαστικά / μέταλλα / γυαλί (μπλέ κάδοι)	30%	50%
Βιοαπόβλητα (καφέ κάδοι)	10%	30%

Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν 2 ΚΔΑΥ, 2 ΧΥΤΑ (χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων) και 1 ΣΜΑ (σταθμός μεταφόρτωσης απορριμμάτων). Ο κάθε δήμος θέλει να γνωρίζει που θα διαθέτει τα απορρίμματά του (δηλαδή σε ποιο ΚΔΑΥ όσον αφορά τους μπλε κάδους και σε ποιο ΧΥΤΑ όσον αφορά τα σύμμεικτα), και αν αυτό θα γίνεται μέσω του μοναδικού ΣΜΑ ή απευθείας. Τελικά, πόσο θα κοστίζει η διαχείριση των απορριμμάτων συνολικά, λαμβάνοντας υπόψη:

- κόστη μεταφοράς απορριμμάτων μεταξύ των κόμβων,
- αποστάσεις μεταξύ κόμβων (πίνακας στο τέλος της εργασίας),
- τέλη εισόδου/πύλης (gate fees) στο ΣΜΑ και ΧΥΤΑ (στο ΚΔΑΥ δεν υπάρχει τέλος εισόδου)
- φόρο ταφής (landfill tax).

Μια 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 δίνονται είναι:

- Ένα μικρό όχημα (Α/Φ) που μεταφέρει 8 t απορριμμάτων (όλες τις κατηγορίες, δηλαδή σύμμεικτα, ξηρά ανακυκλώσιμα) καίει 30 L diesel / 100 km.
- Ένας συρμός (τράκτορας, μεγάλο όχημα) μεταφέρει 22 t απορριμμάτων (όλες τις κατηγορίες, δηλαδή σύμμεικτα και ανακυκλώσιμα) και καίει 50 L diesel / 100 km.

ΔΙΕΥΚΡΙΝΗΣΗ: Οι συρμοί αναχωρούν από τα ΣΜΑ μόνο. Από το δήμο δεν αναχωρούν συρμοί, παρά μόνο τα μικρά οχήματα (Α/Φ).

(ΣΗΜΕΙΩΣΗ: 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 $30L \times 2€ / (100km \times 8t) = 0,075 € / t \cdot km$. 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: $0,075 \times 50 \times 30 \times 2 = 225 € / d$. Το 2 περιλαμβάνεται στο γινόμενο διότι το όχημα πηγαίνει στον κόμβο και μετά 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 μοναδιαίο κόστος μεταφοράς ανά τόνο και χιλιόμετρο για τους συρμούς, που θα είναι πάντα μικρότερο του μοναδιαίου κόστους των μικρών οχημάτων).

- Τέλος εισόδου (gate fee) σε ΧΥΤΑ Α και ΧΥΤΑ Β αντίστοιχα: €55/t, €35/t.
- Τέλος εισόδου (gate fee) σε ΣΜΑ, €5/t.
- Τα υπολείμματα των 2 ΚΔΑΥ, τα οποία τελικά οδηγούνται στον ΧΥΤΑ (με μικρά οχήματα) είναι το 50% των εισερχομένων ΜΑΣ (μπλε κάδοι) που εισέρχονται στα ΚΔΑΥ (συνεπώς τελικά ανακτάται το 50% των εισερχομένων απορριμμάτων που περιέχονται στους μπλε κάδους). **ΠΡΟΣΟΧΗ:** Η μεταφορά των υπολειμμάτων από ΚΔΑΥ σε ΧΥΤΑ επιβαρύνει τους δήμους.
- Η μεταφορά των απορριμμάτων από το ΣΜΑ προς ΚΔΑΥ/ΧΥΤΑ (που γίνεται με συρμούς) επιβαρύνει πάλι τους δήμους.

Ερωτήματα

- **(15%)** 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:
 - 4 φορές την εβδομάδα για τα σύμμεικτα (γκρί κάδοι συμμείκτων),
 - 3 φορές την εβδομάδα για τα βιοαπόβλητα (καφέ κάδοι βιοαποβλήτων),
 - 2 φορές την εβδομάδα για τις ΜΑΣ (μπλέ κάδοι)
- **(20%)** Εξετάστε για τον 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 (όσον αφορά τα σύμμεικτα) ή αν πρέπει τα παραπάνω να

μεταφέρονται μέσω του ΣΜΑ ή απευθείας από τους δήμους στους παραπάνω κόμβους (ΚΔΑΥ, ΧΥΤΑ). Για να το κάνετε αυτό, να συγκρίνετε δύο λογικά σενάρια μεταφοράς των ΑΣΑ ανά δήμο (π.χ. ένα σενάριο μεταφοράς μέσω του ΣΜΑ και ένα σενάριο μεταφοράς απευθείας σε ΚΔΑΥ-ΧΥΤΑ). ΠΡΟΣΟΧΗ: Οι μπλε κάδοι πρέπει να οδηγούνται πάντα σε κάποιο ΚΔΑΥ είτε απευθείας είτε μέσω ΣΜΑ. Τα σύμμεικτα οδηγούνται πάντα σε ΧΥΤΑ.

- (5%) Με βάση τα παραπάνω φτιάξτε ένα ολοκληρωμένο βέλτιστο διάγραμμα ροής μαζών όλων των συστατικών των στερεών αποβλήτων για τους δύο δήμους.
- (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);

Να λάβετε υπόψη ότι υπάρχει και φόρος ταφής ίσος με €20/t, λόγω της 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 από ένα ΚΔΑΥ

(Για Παράδειγμα: αν ένας δήμος παράγει ημερήσια 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 t μεταφέρονται σε ΧΥΤΑ ως υπόλειμμα, τότε ο συνολικός φόρος ταφής για το δήμο αυτό είναι: $(70+15) \times 20 = \text{€}1700/d$).

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

Αποστάσεις μεταξύ κόμβων (km)

	ΔΗΜΟΣ A	ΔΗΜΟΣ B	ΚΔΑΥ 1	ΚΔΑΥ 2	ΣΜΑ	ΧΥΤΑ A	ΧΥΤΑ B
ΔΗΜΟΣ A		200	30	60	30	80	50
ΔΗΜΟΣ B			50	20	30	20	60
ΚΔΑΥ 1					10	70	20
ΚΔΑΥ 2					20	20	60
ΣΜΑ						40	30

ΜΕΡΟΣ Β'

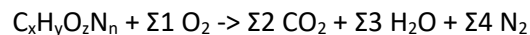
Καύση σύμμεικτων και αναερόβια χώνευση βιοαποβλήτων

Οι δύο πόλεις που αναφέρονται στο ΜΕΡΟΣ Α' της εργασίας αποφάσισαν να κατασκευάσουν μια μονάδα επεξεργασίας των **σύμμεικτων απορριμμάτων** (μετά από τη διαλογή στην πηγή των ανακυκλωσίμων και των βιοαποβλήτων), ώστε να αποτραπεί η απευθείας 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 ενός χώρου υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ). Στην ίδια μονάδα, θα λειτουργεί ξεχωριστή γραμμή που θα δέχεται τα βιοαπόβλητα που διαχωρίζονται στην πηγή τα οποία θα οδηγούνται σε βιολογική αναερόβια επεξεργασία. 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 και στη συνέχεια υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων (τέφρας, σκωρία) της καύσης σε χώρο ταφής υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

1. **(5%)** Εκτιμήστε τις ροές υλικών που οδηγούνται για καύση θεωρώντας ότι έχετε πλήρη απομάκρυνση των ανόργανων (γυαλί, μέταλλα) πριν την καύση.
2. **(7%)** Βρείτε έναν εμπειρικό τύπο της μορφής $C_xH_yO_zN_n$ για τα οργανικά απορρίμματα που θα οδηγηθούν σε καύση (χρησιμοποιώντας την σύσταση και την περιεκτικότητα σε στοιχεία που θα βρείτε στο βιβλίο/διαδίκτυο κάθε κλάσματος των απορριμμάτων) θεωρώντας, όπως προαναφέρθηκε, ότι θα αφαιρεθούν πλήρως όλα τα ανόργανα (γυαλί, μέταλλα) πριν την είσοδο στον καυστήρα.
3. **(10%)** Εκτιμήστε τις ημερήσιες απαιτήσεις σε αέρα (m^3/d) κατά την καύση κάνοντας χρήση μίας κλασσικής στοιχειομετρικής εξίσωσης της μορφής που φαίνεται στη συνέχεια (οι συντελεστές Σ θα πρέπει να υπολογιστούν):



Επίσης, λάβετε υπόψη ότι ο απαιτούμενος αέρας είναι τελικά 1,5 φορές μεγαλύτερος από τον στοιχειομετρικά απαιτούμενο κατά την καύση. Το οξυγόνο αποτελεί το 21% κ.ο. του αέρα. Υπολογίστε την ανακτώμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά την καύση και την τέφρα που θα παράγεται και η οποία θα οδηγείται σε ΧΥΤΥ.

4. (5%) Υπολογίστε τη μάζα του CO₂ (σε τόνους/d) που θα παράγεται κατά την καύση (ανθρακικό αποτύπωμα).

Τεχνικές παραδοχές

	Ηλεκτρισμός	Θερμό νερό
Ενεργειακή απόδοση	35%	Δεν ανακτάται

Αναερόβια χώνευση

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

1. (5%) Δουλέψτε με έναν αναερόβιο χωνευτή υγρής φάσης. Υπολογίστε το νερό που απαιτείται να προστεθεί στα βιοαπόβλητα ώστε να δουλέψει το σύστημα σε υγρή φάση, δηλαδή με υγρασία ίση με 90% υ.β. Πόσος είναι ο συνολικός όγκος του μίγματος (βιοαπόβλητα + επιπλέον νερό) 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 t/d : 0.6 t/m³ = 1666 m³/d).
2. (8%) Επιλέξτε ένα κατάλληλο υδραυλικό χρόνο παραμονής και υπολογίστε τον όγκο του αναερόβιου βιοαντιδραστήρα.
3. (10%) Από τον εμπειρικό τύπο των βιοαποβλήτων που έχετε ήδη εξάγει, υπολογίστε με μία τυπική εξίσωση αναερόβιας χώνευσης, την ποσότητα του βιοαερίου (CH₄+CO₂+NH₃) που θα παραχθεί. Προτείνεται η εξίσωση Buswell. Αγνοήστε το S στον εμπειρικό τύπο.