

## ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ

(Υπεύθυνος διδασκαλίας: Σαββάκης Νίκος)

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ (Α΄ Μέρος)

**Άσκηση 1:** Να υπολογιστεί ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής οικιακών στερεών αποβλήτων σε μια περιοχή, που αποτελείται από 1200 σπίτια. Τα απόβλητα μεταφέρονται με οχήματα απ' ευθείας σε ΧΥΤΑ, χωρίς να προηγηθεί κάποια επεξεργασία. Για περίοδο μιας εβδομάδας έγινε καταμέτρηση του αριθμού και τους είδους των οχημάτων, που έκαναν τη μεταφορά και παρήχθησαν τα εξής στοιχεία:

- Αριθμός απορριμματοφόρων (Α/Φ) με συμπίεση = 9, με μέση χωρητικότητα = 15.3 m<sup>3</sup> ανά Α/Φ
- Αριθμός μικρών φορτηγών χωρίς συμπίεση = 7, με μέση χωρητικότητα = 1.5 m<sup>3</sup> ανά όχημα
- Αριθμός άλλων οχημάτων = 20, με μέση χωρητικότητα = 0.23 m<sup>3</sup> ανά όχημα.

Στα εν λόγω οχήματα, τα απόβλητα βρίσκονται σε πολύ χαλαρή κατάσταση. Να θεωρηθεί ότι κάθε νοικοκυριό αποτελείται από 3.5 άτομα κατά μέσο όρο.

### Λύση:

Είδος και αριθμός οχημάτων	κατάσταση	χωρητικότητα
9 Α/Φ	Με συμπίεση	15,3 m <sup>3</sup> / (Α/Φ)
7 μ/Φ	Χωρίς συμπίεση	1,5 m <sup>3</sup> / (μ/Φ)
20 οχήματα	Χαλαρή κατάσταση	0,23 m <sup>3</sup> / (όχημα)

$$MΠΑ = \frac{W_{ΑΣΑ}}{\text{κλατοικο*ημέρα}} \quad (1)$$

Όπου, ΜΠΑ: Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (kg/κάτοικο/d)

W<sub>ΑΣΑ</sub>: Βάρος των ΑΣΑ (kg)

$$EB_{ΑΣΑ} = \frac{W_{ΑΣΑ}}{V_{ΑΣΑ}} \quad (2)$$

Όπου,

EB<sub>ΑΣΑ</sub>: Ειδικό βάρος των ΑΣΑ (kg/m<sup>3</sup>)

V<sub>ΑΣΑ</sub>: Όγκος ΑΣΑ (m<sup>3</sup>)

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3 (βλ. Παράρτημα) και εφαρμόζοντας κατάλληλα την εξίσωση (2), καταλήγουμε στον ακόλουθο πίνακα:

$$\stackrel{(2)}{\Rightarrow} W_{ΑΣΑ} = EB_{ΑΣΑ} * V_{ΑΣΑ}$$

Αριθμός οχημάτων	Όγκος ΑΣΑ (m <sup>3</sup> )	Ειδικό βάρος (kg/m <sup>3</sup> )	Βάρος (kg)
9 Α/Φ	15,3	300	41.310 (= 9*15,3*300)
7 μ/Φ	1,5	130	1.365

20 οχήματα	0,23	90	414
Σύνολο (ή $W_{ΑΣΑ}$ ):			43.089

**Επομένως η Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων - ΜΠΑ (kg/κάτ./ημέρα) μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής:**

$$\stackrel{(1)}{\Rightarrow} ΜΠΑ = \frac{43.089 \text{ kg}}{1.200 * 3.5 * 7 \text{ (κατ.* d)}} \Rightarrow ΜΠΑ = 1,47 \text{ kg/κάτ./d}$$

**ΆΣΚΗΣΗ 2:** Σε μια πόλη δεν υπάρχει δημοτική υπηρεσία συλλογής και μεταφοράς αστικών απορριμμάτων. Στην περιοχή λειτουργεί μια χωματερή του δήμου, όπου μεταφέρονται τα αστικά απορρίμματα από μια ιδιωτική εταιρία. Συλλογή και μεταφορά γίνεται από Δευτέρα έως Παρασκευή, με διαφορετική συχνότητα στις διάφορες γειτονιές (όχι καθημερινή συλλογή). Επίσης, είναι δυνατόν ο κάθε πολίτης να μεταφέρει ο ίδιος με το αυτοκίνητό του τα απορρίμματά του στη χωματερή, κάθε μέρα πλην της Κυριακής. Τα στοιχεία που προκύπτουν συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Τύπος οχήματος	Μέσο φορτίο (τόνοι)	Μέσος αριθμός οχημάτων που αδειάζουν στη χωματερή					
		Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο
Α/Φ 1	5	4	2	3	2	3	-
Α/Φ 2	1	5	2	1	2	3	-
Επιβατικό	0,2	20	8	12	10	8	15

1) Να υπολογιστεί ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής αστικών απορριμμάτων (kg/κάτοικο ανά ημέρα) για τον πληθυσμό των 15000 κατοίκων.

2) Υποθέτοντας ένα μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης του πληθυσμού (π.χ. 0.5% ή 1%) και έναν ετήσιο ρυθμό αύξησης της κατ' άτομο παραγόμενης ποσότητας, να γίνει εκτίμηση της συνολικής ποσότητας αστικών απορριμμάτων, που θα συσσωρευτεί μέσα στα επόμενα 25 χρόνια.

**Λύση:**

	Αριθμός οχημάτων	Ολικός αριθμός οχημάτων	Μέσο φορτίο (tn)	Ολικό φορτίο (tn)
Α/Φ 1	4+2+3+2+3	14	5	70
Α/Φ 2	5+2+1+2+3	13	1	13
Επιβατικό	20+8+12+10+8+15	73	0,2	14.6
Σύνολο (ή $W_{ΑΣΑ}$ ):				97,6 ή $97,6 * 10^3 \text{ kg}$

$$ΜΠΑ = \frac{W_{ΑΣΑ}}{\text{κλατοικο} * \text{ημέρα}} \quad (1)$$

Όπου, ΜΠΑ: Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων (kg/κάτοικο/d)

$W_{ΑΣΑ}$ : Βάρος των ΑΣΑ (kg)

**Α) Επομένως η Μοναδιαία Παραγωγή Απορριμμάτων - ΜΠΑ (kg/κάτ./ημέρα) μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:**

$$\stackrel{(1)}{\Rightarrow} ΜΠΑ = \frac{97.600 \text{ kg}}{15.000 * 7 \text{ (κατ.* d)}} \Rightarrow ΜΠΑ = 0,93 \text{ kg/κάτ./d}$$

Β) Έστω ότι ο μέσος αριθμός κατοίκων αυξάνει με ρυθμό 1% και ο ρυθμός παραγωγής ΑΣΑ κατά 0,5% ανά έτος.

Θα πρέπει να γίνει εφαρμογή του εκθετικού μοντέλου ώστε να προσδιοριστεί ο μελλοντικός πληθυσμός της πόλης, καθώς επίσης και ποσότητα ΑΣΑ που θα συσσωρευθεί τα επόμενα 25 έτη.

$$X_k = X_0 * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^k \quad (2)$$

Όπου, r: ρυθμός μεταβολής

k: ο αριθμός των ετών

X<sub>k</sub>: η τιμή της εξεταζόμενης παραμέτρου έπειτα από χρονικό διάστημα Δt=k

X<sub>0</sub>: η αρχική τιμή της εξεταζόμενης παραμέτρου ("αρχική ποσότητα")

Επομένως,

Για να εκτιμηθεί ο πληθυσμός εφαρμόζεται η εξίσωση:

$$P_1 = P_0 * \left(1 + \frac{1}{100}\right)^1 = 15.000 * (1 + 0,01)^1 = 15.150 \text{ κάτ.}$$

$$ΜΠΑ_1 = ΜΠΑ_0 * \left(1 + \frac{0,5}{100}\right)^1 = 0,93 * (1 + 0,005)^1 = 0,93465 \text{ kg/κάτ./d}$$

Έτος	Πληθυσμός (κατ.)	Μοναδιαία Παραγωγή ΑΣΑ (kg/κατ./d)	Ημερήσια παραγωγή ΑΣΑ (kg/d)
0	15000	0.9300	13950.0
1	15150	0.9347	14159.9
2	15301.5	0.9393	14373.1
3	15454.5	0.9440	14589.4
4	15609.1	0.9487	14808.9
5	15765.2	0.9535	15031.8
6	15922.8	0.9583	15258.0
7	16082.0	0.9630	15487.7
8	16242.9	0.9679	15720.8
9	16405.3	0.9727	15957.4
10	16569.3	0.9776	16197.5
11	16735.0	0.9824	16441.3
12	16902.4	0.9874	16688.7
13	17071.4	0.9923	16939.9
14	17242.1	0.9973	17194.8
15	17414.5	1.0022	17453.6
16	17588.7	1.0073	17716.3
17	17764.6	1.0123	17982.9
18	17942.2	1.0174	18253.6
19	18121.6	1.0224	18528.3
20	18302.9	1.0276	18807.1
21	18485.9	1.0327	19090.2
22	18670.7	1.0379	19377.5
23	18857.4	1.0430	19669.1
24	19046.0	1.0483	19965.2
25	19236.5	1.0535	20265.6
Συνολική παραγωγή ΑΣΑ (kg/d)			439908.8

**ΑΣΚΗΣΗ 3:** Να υπολογιστεί η θερμογόνος δύναμη των αστικών απορριμμάτων του παρακάτω πίνακα σε υγρή βάση:

(1) χωρίς διαχωρισμό στην πηγή

(2) αν το 60% του χαρτιού και 90% του χαρτονιού διαχωρίζονται στην πηγή και απομακρύνονται από τα αστικά απορρίμματα.

Συστατικό	Υγρή μάζα (kg)	Θερμογόνος δύναμη (kJ/kg)
<b>Οργανικά υλικά</b>		
Τροφικά υπολείμματα	9	4650
Χαρτί	34	16750
Χαρτόνι	6	16280
Πλαστικά	7	32560
Υφάσματα	2	17450
Λάστιχα	0.5	23260
Δέρματα	0.5	17450
Απόβλητα κήπων	18.5	6510
Ξύλα	2	18610
<b>Ανόργανα υλικά</b>		
Γυαλί	8	140
Κασσίτερος	6	700
Αλουμίνιο	0.5	-
Άλλα μέταλλα	3	700
Τέφρα, αδρανή	3	6980
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	

### Λύση:

A) Αν θεωρήσουμε 100 kg ΑΣΑ (π.χ. τροφ. υπολείμματα)

$$E_i = (\text{Παραγόμενη Ποσότητα Υλικού } i) * (\Theta.\Delta. i)$$

Όπου,  $E_i$ : Εκλυόμενη Ενεργεια Υλικού  $i$

$\Theta.\Delta. i$ : Θερμογόνος δύναμη Υλικού  $i$

→ Ενέργεια = 9 kg \* 4.650 (kJ/kg) = **41.850 kJ** (→ Εκλύονται από την καύση τροφ. υπολειμμάτων)

Με όμοιο τρόπο γίνονται οι σχετικοί υπολογισμοί για κάθε στοιχείου του κλάσματος των ΑΣΑ, και προκύπτει ο πίνακας:

	Υγρή μάζα (kg)	Θερμογόνος δύναμη- $\Theta.\Delta.$ (kJ/kg)	Εκλυόμενη Ενεργεια- $E_i$ (kJ)
Τροφ. Υπολείμματα	9	4650	41850
Χαρτί	34	16750	569500
Χαρτόνι	6	16280	97680
Πλαστικά	7	32560	227920
Υφάσματα	2	17450	34900
Λάστιχα	0.5	23260	11630
Δέρματα	0.5	17450	8725
Απόβλητα κήπων	18.5	6510	120435
Ξύλα	2	18610	37220
Γυαλί	8	140	1120
Κασσίτερος	6	700	4200

Αλουμίνιο	0.5	-	
Άλλα μέταλλα	3	700	2100
Τέφρα, αδρανή	3	6980	20940
Σύνολο	100		1178220

Συνεπώς η ολική θερμογόνος δύναμη των ΑΣΑ (Ο.Θ.Δ.<sub>ΑΣΑ</sub>) μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$O. \Theta. \Delta_{ΑΣΑ} = \frac{\sum E_i}{W_{ΑΣΑ}} \Rightarrow O. \Theta. \Delta_{ΑΣΑ} = \frac{1.178.220 \text{ kJ}}{100 \text{ kg}} \Rightarrow$$

$$O. \Theta. \Delta_{ΑΣΑ} = 11.782,2 \text{ kJ/kg}$$

Β) Αν έχουμε διαχωρισμό στην πηγή, θα πρέπει αρχικά να γίνει επανυπολογισμός της εκλυόμενης ενέργειας προκειμένου να μην ληφθεί υπόψη η ποσότητα των υλικών που ανακυκλώνεται.

Επομένως,

- Ανακύκλωση 60% χαρτιού → Η ποσότητα χαρτιού που θα περιέχεται στο κλάσμα προς καύση ισούται με:  $0,4 * 34 \text{ kg} = 13,6 \text{ kg}$

$$\text{Επομένως η } E_{\text{χαρτιού}} = 13,6 \text{ kg} * 16750 \text{ kJ/kg} = 227.800 \text{ kJ}$$

- Ανακύκλωση 90% χαρτονιού → Η ποσότητα χαρτονιού που θα περιέχεται στο κλάσμα προς καύση ισούται με:  $0,1 * 6 \text{ kg} = 0,6 \text{ kg}$

$$\text{Επομένως η } E_{\text{χαρτιού}} = 0,6 \text{ kg} * 16280 \text{ kJ/kg} = 9.768 \text{ kJ}$$

Αξιοποιώντας τον πίνακα από το ερώτημα Α, προκύπτει ότι:

$$\sum E_i = 1.178.220 \text{ kJ} - (569.500 + 97.680) \text{ kJ} + (227.800 + 9.768) \text{ kJ} \Rightarrow \sum E_i = 748.608 \text{ kJ}$$

Ως εκ τούτου,

$$O. \Theta. \Delta_{ΑΣΑ} = \frac{748.608 \text{ kJ}}{100 - 20,4 - 5,4 \text{ kg}} \Rightarrow O. \Theta. \Delta_{ΑΣΑ} = 10.089,1 \text{ kJ/kg}$$

**ΆΣΚΗΣΗ 4:** Μια πόλη σχεδιάζει να εφαρμόσει ένα πρόγραμμα διαχωρισμού αστικών απορριμμάτων στην πηγή και καλείστε να αξιολογήσετε τα εξής δυο συστήματα:

- Το σύστημα 1 χρησιμοποιεί τρία είδη κάδων. Ο πρώτος χρησιμοποιείται για εφημερίδες, ο δεύτερος για αλουμίνιο, γυαλί και πλαστικά και ο τρίτος για όλα τα υπόλοιπα.
- Το σύστημα 2 χρησιμοποιεί 4 είδη κάδων. Ο πρώτος χρησιμοποιείται για χαρτί και χαρτόνι, γενικά. Ο δεύτερος χρησιμοποιείται για πλαστικά, γυαλί, αλουμίνιο, κασίτερο και άλλα μέταλλα. Απόβλητα κήπων αποθηκεύονται στον τρίτο κάδο και όλα τα υπόλοιπα στον τέταρτο κάδο.

Οι εφημερίδες αποτελούν το 25% του χαρτιού. Μόνο το 80% του διαθέσιμου υλικού διαχωρίζεται. Να συγκριθούν τα 2 συστήματα για 100% και 50% συμμετοχής των κατοίκων. Για τη σύσταση των απορριμμάτων να χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας 1.

**Λύση:**

- Σύστημα 1

	% (w/w)	κάδος	Διαχωρισμός % w/w
Τροφ. Υπολείμματα	9	3	
Χαρτί	34	1	6.8 (:34*0.8*0.25)
Χαρτόνι	6	3	
Πλαστικά	7	2	5.6
Υφάσματα	2	3	
Λάστιχα	0.5	3	
Δέρματα	0.5	3	
Απόβλητα κήπων	18.5	3	
Ξύλα	2	3	
Γυαλί	8	2	6.4
Κασσίτερος	6	3	
Αλουμίνιο	0.5	2	0.4
Άλλα μέταλλα	3	3	
Τέφρα, αδρανή	3	3	
		Σύνολο	19.2

Επομένως το σύστημα 1 επιτυγχάνει την ανάκτηση κατά 19,2 % των ΑΣΑ με καθολική συμμετοχή των κατοίκων (100%).Ενώ στην περίπτωση συμμετοχής του 50% των κατοίκων της πόλης, το ποσοστό ανάκτησης ΑΣΑ είναι 9,6%

- Σύστημα 2

	% (w/w)	κλάδος	Διαχωρισμός % w/w
Τροφ. Υπολείμματα	9	4	
Χαρτί	34	1	27.2
Χαρτόνι	6	1	4.8
Πλαστικά	7	2	5.6
Υφάσματα	2	4	
Λάστιχα	0.5	4	
Δέρματα	0.5	4	
Απόβλητα κήπων	18.5	3	14.8
Ξύλα	2	4	
Γυαλί	8	2	6.4
Κασσίτερος	6	2	4.8
Αλουμίνιο	0.5	2	0.4
Άλλα μέταλλα	3	2	2.4
Τέφρα, αδρανή	3	4	
		Σύνολο	66.4

Επομένως το σύστημα 2 επιτυγχάνει την ανάκτηση σε ποσοστό 66,4 % της παραγόμενης ποσότητας ΑΣΑ με καθολική συμμετοχή των κατοίκων (100%). Ενώ στην περίπτωση συμμετοχής του 50% των κατοίκων της πόλης, το ποσοστό ανάκτησης ΑΣΑ είναι 33,2 %.

Κατά συνέπεια το Σύστημα 2 μπορεί να θεωρηθεί σαφώς πιο αποδοτικό

### Πίνακας 1

Τυπική επί τοις εκατό σύσταση αστικών απορριμμάτων επί υγρού βάρους

Συστατικό	% σύσταση (επί υγρού βάρους)
<b>Οργανικά υλικά</b>	
Τροφικά υπολείμματα	9
Χαρτί	34
Χαρτόνι	6
Πλαστικά	7
Υφάσματα	2
Λάστιχα	0,5
Δέρματα	0,5
Απόβλητα κήπων	18,5
Ξύλα	2
<b>Ανόργανα υλικά</b>	
Γυαλί	8
Κασσίτερος	6
Αλουμίνιο	0,5
Άλλα μέταλλα	3
Τέφρα, αδρανή	3
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>

## Πίνακας 2

Ειδικό βάρος αστικών απορριμμάτων εντός των κάδων & μέγιστος βαθμός συμπίεσης.

Συστατικό	Ειδικό βάρος στον κάδο (Kg/m <sup>3</sup> )		Μέγιστος βαθμός συμπίεσης
	Διακύμανση	Τυπική τιμή	
<b>Οργανικά υλικά</b>			
Τροφικά υπολείμματα	130 – 490	250	3
Χαρτί	35 – 140	90	6,5
Χαρτόνι	40 – 80	50	6,5
Πλαστικά	40 – 130	60	10
Υφάσματα	35 – 100	60	7
Λάστιχα	80 – 200	130	3,5
Δέρματα	100 – 260	150	3,5
Άλλα οργανικά	100 – 350	150	3
<b>Ανόργανα υλικά</b>			
Γυαλί	150 – 500	200	2,4
Μη σιδηρούχα μέταλλα	50 – 240	160	6,7
Σιδηρούχα μέταλλα	150 – 1200	350	3,3
Άλλα αδρανή (τέφρα, χώμα, κτλ)	320 – 960	480	1,3