

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ**

6^η & 7^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Σκοπός της άσκησης

Σκοπός αυτής της άσκησης είναι η μελέτη και η καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μια περιοχή, με τη χρήση δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται δεδομένα που αφορούν ωριαίες τιμές συγκέντρωσης για τους ρύπους CO, NO₂, O₃, SO₂ και PM₁₀, για ένα έτος, σε μία περιοχή-σταθμό της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών.

Ζητείται από τους σπουδαστές ο υπολογισμός των ημερήσιων τιμών δύο δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για την εξεταζόμενη περιοχή. Επίσης εξάγονται συμπεράσματα για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην υπό εξέταση περιοχή.

1^ο Μέρος-Εισαγωγή

Με τον όρο Δείκτες Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΔΑΡ) εννοούμε αριθμητικές τιμές που προκύπτουν με κάποιους αλγόριθμους, με βάση τους οποίους παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία του πληθυσμού. Χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα γιατί μπορούν να αποδώσουν πιο πρακτικά και πιο ολοκληρωμένα την καθημερινή εικόνα της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή, σε αντίθεση με ενδεχόμενη χρησιμοποίηση των τιμών συγκέντρωσης αέριων ρύπων για τον προσδιορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Το πρόβλημα που παρατηρείται με τη χρήση των ΔΑΡ είναι η υποκειμενικότητά τους. Δηλαδή το γεγονός ότι σε κάθε χώρα ή περιοχή έχουν δημιουργηθεί κατά καιρούς, διαφορετικοί ΔΑΡ που έχουν προσαρμοστεί στις εκάστοτε ανάγκες της περιοχής. Συγκεκριμένα, υπάρχουν χώρες που έχουν δημιουργήσει δικούς τους ΔΑΡ με βάση τα εθνικά τους όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι δείκτες αυτοί έχουν παραπλήσιους ή και διαφορετικούς αλγόριθμους υπολογισμού των τιμών τους. Έτσι, δημιουργείται ένα πρόβλημα όταν κάποιος θελήσει να συγκρίνει τις τιμές διαφορετικών ΔΑΡ για τη διαπίστωση των επιπέδων ποιότητας του αέρα που καθορίζονται, με βάση τις τιμές τους.

Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση θα εξαχθούν και θα συγκριθούν οι ημερήσιες τιμές δύο δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συγκεκριμένα, του δείκτη ποιότητας του αέρα (Air Quality Index-**AQI**) που χρησιμοποιείται ευρέως στις ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής (USA) και του Ευρωπαϊκού Τοπικού Δείκτη Ρύπανσης (**European Regional Pollution Index-ERPI**) που υπολογίζεται με βάση τα Ευρωπαϊκά όρια για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Έτσι, θα γίνει μια προσπάθεια σύγκρισης μεταξύ των δύο δεικτών και κατά συνέπεια μεταξύ των ορίων που έχουν θεσπιστεί για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την προστασία της δημόσιας υγείας στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (USA).

Δείκτης Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI)

Ο δείκτης ποιότητας της ατμόσφαιρας AQI είναι μια αναθεωρημένη έκδοση ενός παλαιότερου δείκτη που αναθεωρήθηκε και μετασηματίστηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) το 1999. Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$I_i = \frac{I_{\text{άνω}} - I_{\text{κάτω}}}{C_{\text{άνω}} - C_{\text{κάτω}}} * (C_{\text{στιγ.}} - C_{\text{κάτω}}) + I_{\text{κάτω}}$$

όπου:

$I_{\text{άνω}}$: η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{\text{άνω}}$ (Πίνακας 1)

$I_{\text{κάτω}}$: η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης $C_{\text{κάτω}}$ (Πίνακας 1)

$C_{\text{στιγ.}}$: η τιμή συγκέντρωσης του ρύπου τη στιγμή που υπολογίζεται ο δείκτης και με βάση τα εθνικά όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πίνακας 1)

$C_{\text{άνω}}$: η ανώτερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 1)

$C_{\text{κάτω}}$: η μικρότερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 1)

Στον Πίνακα 1 δίνονται οι τιμές συγκέντρωσης με τα άνω και κάτω όριά τους, για κάθε ρύπο χωριστά καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ανώτερες και κατώτερες τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI. Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους δείκτες, για κάθε ρύπο χωριστά, ως ημερήσια τιμή του δείκτη AQI θεωρείται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές. Ο σκοπός του δείκτη AQI είναι στο να βοηθήσει στην κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων στη δημόσια υγεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, σε τοπικό επίπεδο. Για το σκοπό αυτό χωρίζεται σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που με τη σειρά τους αντιπροσωπεύονται από έξι διαφορετικά χρώματα, όπως εμφανίζονται και στον Πίνακα 2 που ακολουθεί. Σε κάθε κατηγορία τιμών του δείκτη AQI αντιστοιχούν και κάποιες πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού.

Τιμή AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
PM ₁₀ μg/m ³ (24 hr)	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	>424
PM _{2.5} μg/m ³ (24 hr)	0-15.4	15.5-40.4	40.5-65.4	65.5-150.4	150.5-250.4	>250.4
CO ppm (8 hr)	0-4.4	4.5-9.4	9.5-12.4	12.5-15.4	15.5-30.4	>30.4
SO ₂ ppm (24 hr)	0-0.034	0.035-0.144	0.145-0.225	0.225-0.304	0.305-0.604	>0.604
O ₃ ppm (8 hr)	0-0.064	0.065-0.084	0.085-0.104	0.105-0.124	0.125-0.374	>0.374
O ₃ ppm (1 hr)	***	***	0.125-0.164	0.165-0.204	0.205-0.404	>0.404
NO ₂ ppm (1hr)	***	***	***	***	0.65-1.24	>1.24

Πίνακας 1. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI

Τιμές δείκτη AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
151-200	Ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των πιο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού
301-500	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου του πληθυσμού με ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων

Πίνακας 2. Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία

Από τις τιμές του Πίνακα 1 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_i εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του εκάστοτε ατμοσφαιρικού ρύπου. Στους Πίνακες 3-7 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις πρώτου βαθμού που ισχύουν τμηματικά μεταξύ των διαδοχικών ζευγών των σημείων του Πίνακα 1 για κάθε έναν από τους εξεταζόμενους ατμοσφαιρικούς ρύπους χωριστά.

O_3 (8 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-137	0-50	$0.3649*[O_3]$
138-180	51-100	$1.1666*[O_3]-110$
181-223	101-150	$1.1666*[O_3]-110$
224-266	151-200	$1.1666*[O_3]-110$
267-800	201-300	$0.1857*[O_3]+151$
>800	301-500	$0.3758[O_3]$

Πίνακας 3. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το όζον

SO_2 (24 hr) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-97	0-50	$0.5154*[SO_2]$
98-412	51-100	$0.156*[SO_2]+35.7$
413-640	101-150	$0.2158*[SO_2]+11.85$
641-869	151-200	$0.2149*[SO_2]+13.2$
870-1727	201-300	$0.1155*[SO_2]+100.5$
1728-2300	301-500	$0.3479*[SO_2]-300.2$

Πίνακας 4. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του θείου

CO (8 hr) mg/m ³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-5.5	0-50	9.0909*[CO]
5.6-11.76	51-100	7.9545*[CO]+6.4545
11.77-15.5	101-150	13.1367*[CO]-53.62
15.6-19.25	151-200	13.4246*[CO]-58.42
19.26-38.0	201-300	5.2828*[CO]+99.253
38.1-50.5	301-500	16.0484*[CO]-310.4

Πίνακας 5. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το μονοξείδιο του άνθρακα

PM ₁₀ (24 hr) μg/m ³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
0-54	0-50	0.9259*[PM ₁₀]
55-154	51-100	0.4949*[PM ₁₀]+23.778
155-254	101-150	0.4949*[PM ₁₀]+24.283
255-354	151-200	0.4949*[PM ₁₀]+24.788
355-424	201-300	1.4349*[PM ₁₀]-308.35
425-604	301-500	1.1117*[PM ₁₀]-171.49

Πίνακας 6. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

NO ₂ (1 hr) μg/m ³	AQI	Συναρτήσεις πρώτου βαθμού
***	0-50	***
***	51-100	***
***	101-150	***
***	151-200	***
1330-2542	201-300	0.0817*[NO ₂]+92.361
2543-4182	301-500	0.1214*[NO ₂]-7.7596

Πίνακας 7. Συναρτήσεις υπολογισμού τιμών επιμέρους δείκτη για το διοξείδιο του αζώτου.

Ευρωπαϊκός Τοπικός Δείκτης Ρύπανσης (European Regional Pollution Index-ERPI)

Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Α) Κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται για κάθε ατμοσφαιρικό ρύπο χωριστά η τιμή του δείκτη ERPI, σύμφωνα με τη σχέση:

$$ERPI = \frac{\text{ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΟΥ}}{\text{ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΟΥ}} \times 50$$

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε ωριαία βάση για τους ρύπους NO₂ και SO₂. Για το CO και το O₃ ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται πάλι ανά ώρα αλλά με βάση τη μέση τιμή του κυλιόμενου οκταώρου, που αντιστοιχεί στην ώρα αυτή για την οποία υπολογίζεται η τιμή του δείκτη. Τέλος, για τα σωματίδια (PM₁₀) γίνεται μια φορά την ημέρα και με βάση την μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσής τους. Στον Πίνακα 8 δίνονται οι οριακές τιμές συγκέντρωσης που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ERPI, όπως αυτές έχουν καθοριστεί από τις Οδηγίες Πλαίσιο 96/62/EC και 2008/50/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ατμοσφαιρικός Ρύπος	Οριακή Τιμή Συγκέντρωσης
NO ₂	Ωριαία τιμή: 200 µg/m ³
SO ₂	Ωριαία τιμή: 350 µg/m ³
CO	Μέγιστη μέση τιμή οκταώρου: 10 mg/m ³
O ₃	Μέγιστη μέση τιμή οκταώρου: 120 µg/m ³
PM ₁₀	Μέση ημερήσια τιμή : 50 µg/m ³

Πίνακας 8. Οριακές τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που διαμορφώνουν τις τιμές του δείκτη ERPI

Β) Με το παραπάνω βήμα, έχουν υπολογισθεί και δημιουργηθεί σε κάθε ώρα τις ημέρας, για τους ρύπους NO₂, CO, SO₂ και O₃, τέσσερις τιμές (υποδείκτες) του δείκτη ERPI, μία για κάθε ρύπο. Η μεγαλύτερη από αυτές τις τιμές, αποτελεί την ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI, για τους ρύπους NO₂, CO, SO₂ και O₃. Στο τέλος της ημέρας υπολογίζεται και η τιμή (υποδείκτης) του δείκτη ERPI με βάση τη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης των PM₁₀. Η τελική ημερήσια τιμή του δείκτη ERPI, για μια συγκεκριμένη γεωγραφικά περιοχή, είναι η μεγαλύτερη μεταξύ των δύο αυτών τιμών.

Στον Πίνακα 9 φαίνονται οι επιμέρους τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI και η ταξινόμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις τιμές αυτές.

Τιμή ERPI	Τάξη ERPI	Ταξινόμηση ποιότητας αέρα
0 – 2	1	Πολύ καλή
2 – 21	2	Καλή
21 – 40	3	Ικανοποιητική
40 – 60	4	Επαρκής
60 – 79	5	Κακή
≥79	6	Πολύ κακή

Πίνακας 9. Ταξινόμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης ERPI

2^ο Μέρος-Δεδομένα

Δίνεται στους σπουδαστές σε ηλεκτρονική μορφή αρχείο (excel) με ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων CO, NO₂, O₃, SO₂ και PM₁₀, για ένα έτος. Τα δεδομένα αφορούν το έτος 2001 (ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης) και έχουν καταγραφεί στο σταθμό παρακολούθησης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος «Μαρούσι». Τα δεδομένα αυτά έχουν αντληθεί από την επίσημη ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας (<http://www.ypeka.gr>).

3^ο Μέρος-Ζητούμενα εργαστηριακής άσκησης

Με βάση τα δεδομένα που έχουν οι σπουδαστές, ζητούνται τα παρακάτω:

1. Να υπολογιστεί για κάθε ημέρα του έτους 2001 η ημερήσια τιμή τόσο του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI όσο και του δείκτη ERPI, με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων και πινάκων.
2. Να γίνει το διάγραμμα των ημερήσιων τιμών των δύο δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης

για το έτος 2001 στο σταθμό Μαρούσι, στο ίδιο σύστημα αξόνων. Στο διάγραμμα αυτό να φαίνονται και οι δύο οριακές γραμμές ποιότητας της ατμόσφαιρας τόσο για τον δείκτη AQI (AQI=100), όσο και για τον δείκτη ERPI (ERPI=50).

3. Να γίνει το διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών των δύο δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης για το έτος 2001 στο σταθμό Μαρούσι, στο ίδιο σύστημα αξόνων. Να εξετασθεί αν παρουσιάζεται εποχικότητα στις τιμές των δύο δεικτών.
4. Να υπολογιστεί για κάθε ημέρα της εβδομάδας (Δευτέρα - Κυριακή) η μέση τιμή των δύο δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης και να γίνει το αντίστοιχο διάγραμμα στο ίδιο σύστημα αξόνων.
5. Για κάθε μήνα του έτους και για κάθε έναν από τους δυο δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης, να υπολογιστεί ο αριθμός των ημερών υπέρβασης. Ως ημέρα με επεισόδιο ρύπανσης (υπέρβασης) να θεωρηθεί για το δείκτη ERPI αυτή κατά την οποία $ERPI \geq 50$ και για το δείκτη AQI αυτή κατά την οποία $AQI \geq 100$. Τα αποτελέσματα να παρουσιαστούν με bar-chart διάγραμμα και για τους δύο δείκτες στο ίδιο διάγραμμα.
6. Για κάθε δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης, να υπολογισθεί και να σχολιασθεί το ποσοστό διαμόρφωσής του από κάθε έναν από τους πέντε εξεταζόμενους ρύπους και να συμπληρωθεί κατάλληλα ο παρακάτω Πίνακας 10:

	Ποσοστό (%) διαμόρφωσης των ημερήσιων τιμών του δείκτη AQI	Ποσοστό (%) διαμόρφωσης των ημερήσιων τιμών του δείκτη ERPI
PM ₁₀		
O ₃		
NO ₂		
SO ₂		
CO		

Πίνακας 10. Ποσοστό (%) διαμόρφωσης των ημερήσιων τιμών του δείκτη AQI και ERPI

Σε κάθε ένα από τα παραπάνω διαγράμματα θα πρέπει να γίνεται, από τους σπουδαστές, ένας σύντομος σχολιασμός και να παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το κάθε διάγραμμα.

Βιβλιογραφία

- [1] Οδηγία 2008/50/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 21^{ης} Μαΐου 2008, για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L152/1-44/11-06-2008.
- [2] Οδηγία 96/62/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 27ης Σεπτεμβρίου 1996, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L296 της 21/11/1996 σελ. 0055 - 0063
- [3] Μουστρής Κ., 2009. Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.
- [4] Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος. Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου. Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας. Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΑΠΕ). Διαθέσιμο στο (2015): <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=495&language=el-GR>
- [5] Franceschini F, Galeto M., Maisano D., 2005. A Short Survey on Air Quality Indicators: Properties, Use and (Mis)use. Management of Environmental Quality: An International Journal, 16, pp 490-504.
- [6] United States Environmental Protection Agency, 1999. Guideline for reporting of daily air quality-Air Quality Index. EPA-454/R-99-010, EPA, North Carolina.

Καλή Επιτυχία