
5^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

1. Εισαγωγή

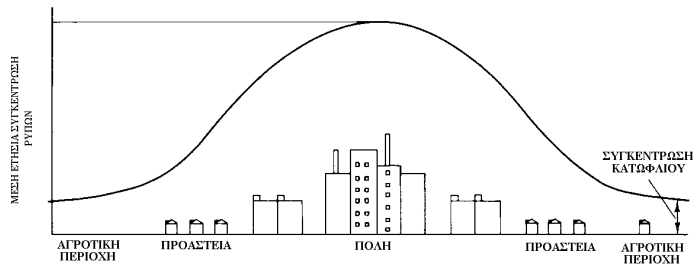
Ρύπανση του περιβάλλοντος νοείται η άμεση ή έμμεση εκπομπή σε αυτό ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια που να προκαλεί βλάβες στην υγεία, υλικές ζημιές, δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς ή στα οικοσυστήματα, ή να καταστεί το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες (έδαφος, ηφαίστεια, πυρκαγιές, βιολογικές δραστηριότητες, κ.ά.), όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανία, θέρμανση, αυτοκίνητα, παραγωγή ενέργειας κ.ά.). Σε ό,τι αφορά τη ρύπανση που προέρχεται από φυσικές πηγές, έχει αποκατασταθεί σταδιακά μια ισορροπία ανάμεσα στους μηχανισμούς ρύπανσης και στους μηχανισμούς αντιρρύπανσης. Αντίθετα η ατμοσφαιρική ρύπανση που οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες θεωρούμε ότι ξεκινά την εποχή που ο άνθρωπος ανακάλυψε και έθεσε σε ευρεία χρήση τη φωτιά, υπολογίσιμη όμως θεωρείται από την εποχή των μέσων του 13ου αιώνα. Βέβαια, η ατμοσφαιρική ρύπανση μέχρι και τα τέλη του 19ου αιώνα δεν ήταν σημαντική, από τις αρχές όμως του 20ού αιώνα, η ατμοσφαιρική ρύπανση αυξάνει επικίνδυνα ακολουθώντας την τεχνολογική πρόοδο, την ελάττωση του φυσικού πράσινου και την αύξηση του πληθυσμού της γης.

Ένας τρόπος για να δείξει κανείς ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα δημιουργεί ρύπανση είναι να μελετήσει συγκριτικά τα επίπεδα ρύπανσης τόσο στην αστική περιοχή (όπου υπάρχει πληθυσμιακή συγκέντρωση) όσο και στην αγροτική περιοχή και τα προάστια (Σχήμα 1). Από το Σχήμα φαίνεται ότι σε ετήσια μέση βάση, η συγκέντρωση της ρύπανσης είναι μεγαλύτερη στο κέντρο της πόλης, μικρότερη στα προάστια και ακόμη μικρότερη στην αγροτική περιοχή. Η συγκέντρωση στην αγροτική περιοχή καλείται κατώφλι συγκέντρωσης αναφορικά με τη συγκέντρωση στην πόλη.

2. Πηγές και είδη ρύπων

Ρύποι του αέρα ονομάζονται οι ενώσεις οι οποίες επιδρούν βλαβερά στους ζώντες οργανισμούς και στο φυσικό περιβάλλον. Πολλές από τις ενώσεις οι οποίες θεωρούνται σαν ρύποι παράγονται με διάφορους μηχανισμούς και στη φύση. Ετσι, από πλευράς προέλευσης οι ρύποι διαχωρίζονται στους ανθρωπογενείς και φυσικούς ρύπους.



Σχήμα 1. Ετήσια μέση συγκέντρωση ρύπανσης πάνω από αστική περιοχή.

Οι κυριότερες κατηγορίες των ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης είναι οι βιομηχανίες, οι αστικές δραστηριότητες, οι μετακινήσεις η κεντρική θέρμανση, οι γεωργικές δραστηριότητες και τα τυχαία περιστατικά. Στις φυσικές πηγές ρύπανσης περιλαμβάνονται τα ηφαίστεια (SO_2 , H_2S , HCl , HF), οι πυρκαγιές (CO , CO_2 , σωματίδια), η αποσάθρωση του εδάφους, οι ηλεκτρικές εκκενώσεις (O_3) και η βιολογική αποσύνθεση φυτών και ζώων (HC , NH_3 , H_2S). Η ρύπανση από φυσικές αιτίες είναι πολύ μεγαλύτερη από τη ρύπανση από ανθρωπογενείς πηγές. Το 90% περίπου της μάζας όλων των ρύπων εκπέμπεται σαν αέρια, ενώ το 10% αυτής σαν σωματίδια ή σε υγρή μορφή.

Οι πηγές ρύπων ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Σημειακές πηγές** είναι μεμονωμένα σημεία τα οποία εκπέμπουν ρύπους (καμινάδα ή εργοστάσιο, ηφαίστιο, κ.ά.). Οι σημειακές πηγές συνήθως χαρακτηρίζονται από μεγάλη παροχή ρύπων.
- **Επιφανειακές πηγές** είναι πηγές που δεν έχουν μεγάλη παροχή ρύπων, δηλαδή εκπέμπουν σχετικά λίγους ρύπους ανά μονάδα επιφάνειας, έχουν όμως μεγάλη σημασία, γιατί η έκλυση ρύπων γίνεται σε μικρό ύψος, οπότε βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με τους αποδέκτες. Τέτοιες πηγές είναι οι οικιστικές περιοχές, η ανεξέλεκτη καύση των δασών, κ.ά.
- **Γραμμικές πηγές** είναι πηγές που έχουν χαρακτηριστικό αντιπρόσωπο την κίνηση οχημάτων στους δρόμους. Από τις πηγές αυτές οι εκλύσεις των ρύπων γίνονται σε χαμηλά ύψη, και έτσι έχουν άμεση επίπτωση στους ανθρώπους, τα φυτά και τις κατασκευές.

Καταβόθρες ρύπων χαρακτηρίζονται οι μηχανισμοί μέσω των οποίων οι ρύποι απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα.

Οι ρύποι παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία από πλευράς χημικής σύνθεσης. Οι ρύποι διακρίνονται κυρίως ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής και ανάλογα με το μέγεθος:

- *από πλευράς τρόπου παραγωγής σε πρωτογενείς και δευτερογενείς (Πίνακας 1)*
Πρωτογενείς ρύποι ονομάζονται οι ρύποι οι οποίοι εκπέμπονται στις πηγές ρύπανσης.
Δευτερογενείς ρύποι ονομάζονται οι ρύποι οι οποίοι σχηματίζονται από τους πρωτογενείς ρύπους μέσω χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές αυτές αντιδράσεις συμβαίνουν με άλλα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα ή με

άλλους ρύπους. Υπάρχουν πολλά είδη χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων, αλλά η πιο γνωστή είναι η φωτοχημική αντίδραση. Το όζον, ένας από τους βασικούς ρύπους των μεγάλων πόλεων, οφείλει το σχηματισμό του στη φωτοχημική αντίδραση αζωτούχων ρύπων εκπεμπομένων από τα αυτοκίνητα.

- Οι ρύποι από πλευράς μεγέθους (ή γενικότερα φυσικών χαρακτηριστικών) διακρίνονται σε μόρια (π.χ. αέρια) ή σε μικροσκοπικά σωματίδια, σε φάση υγρή ή στερεά, τυπικών διαστάσεων 10^{-3} έως 10^2 μm . Από τη στιγμή που τα σωματίδια βρεθούν στην ατμόσφαιρα, το μέγεθός τους, ο αριθμός τους, καθώς και η χημική τους σύσταση αλλάζει, έως ότου τελικώς απομακρυνθούν κυρίως λόγω καθίζησης, προσκόλλησης σε στερεές επιφάνειες ή απομάκρυνσης τους από βροχή ή χιόνι.

Οι χημικές ενώσεις που παίζουν έναν ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να ομαδοποιηθούν σύμφωνα με τη χημική τους σύσταση. Οι τρεις κύριες ομάδες είναι οι ενώσεις του θείου, οι ενώσεις του αζώτου και οι ενώσεις του άνθρακα. Άλλες ομάδες, όπως τα αλογόνα, είναι πολύ σπάνιες και παίζουν ένα δευτερεύοντα ρόλο, ή είναι πολύ αδρανείς για να λάβουν μέρος σε χημικές αντιδράσεις (ευγενή αέρια).

3. Ποιότητα του αέρα

Οι όροι περιβάλλον αέρας, ρύπανση του αέρα, ποιότητα του αέρα, κλπ, αναφέρονται στον αέρα που βρίσκεται έξω από το εσωτερικό των κτιρίων. Με τον όρο “ποιότητα του αέρα” εννοείται το ποσοστό των ρύπων που βρίσκεται στον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα. Για τον προσδιορισμό της ποιότητας του αέρα θα πρέπει να υπολογιστεί η μέση τιμή της συγκέντρωσης των ρύπων, με αποτέλεσμα να πρέπει να προσδιοριστεί σε ποίο χρόνο θα ληφθεί η μέση τιμή της συγκέντρωσης των ρύπων, αφού υπάρχουν πολλές διαδικασίες εκπομπής, μεταφοράς και διάχυσης των ρύπων.

3.1 Κριτήρια ποιότητας του αέρα

Τα κριτήρια ποιότητας του αέρα έχουν εξαχθεί από επιστημονικά αποδεδειγμένες μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις των ρύπων στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Για κάθε ρύπο, τα κριτήρια ποιότητας του αέρα μπορούν να αναφέρονται σε διαφορετικούς τύπους αποτελεσμάτων (άνθρωποι, πειραματόζωα, βλάστηση, ατμόσφαιρα).

3.2 Πρότυπα και όρια ποιότητας του αέρα

Τα πρότυπα της ποιότητας του αέρα δίνουν τα επίπεδα ρύπανσης που δεν μπορούμε να υπερβούμε κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου χρόνου σε μία ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Τα πρότυπα ποιότητας του αέρα βασίζονται στα κριτήρια ποιότητας του αέρα προσθέτοντας επιθυμητούς παράγοντες ασφαλείας. Η αντίληψη ενός τελικού ορίου της ποιότητας του αέρα απαιτεί να είναι περισσότερο περιοριστικό δηλαδή να έχουμε χαμηλότερες συγκεντρώσεις ρύπανσης από το πρότυπο ποιότητας του αέρα.

Η θέσπιση ενός ορίου για όλους τους ρύπους κατοχυρώνεται με ειδική νομοθεσία. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων και δίνονται στο Παράρτημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύποι

Τύπος ενώσεων	Πρωτογενείς ρύποι	Δευτερογενείς ρύποι	Ανθρωπογενείς πηγές
Θειϊκές ενώσεις	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₃ , H ₂ SO ₄	Καύση πετρελαίου και γαιανθράκων. Μικρότερες ποσότητες από βιομηχανικές δραστηριότητες.
Αζωτούχες ενώσεις	NO, NH ₃	NO ₂ , NO ₃	Καύση O ₂ και N ₂ σε υψηλή θερμοκρασία. Μηχανές εσωτερικής καύσης και μεγάλες στάσιμες μονάδες καύσης.
Ενώσεις του άνθρακα	C ₁ - C ₅	Αλδεΐδες, Κετόνες, Οξέα	Καύσιμα. διυλιστήρια πετρελαίου
Μονοξείδιο του άνθρακα	CO		Μηχανές εσωτερικής καύσης αυτοκινήτων. Πολύ μικρότερη συνεισφορά από βιομηχανικές δραστηριότητες.
Υδρογονάνθρακες	HC		Μηχανές εσωτερικής καύσης αυτοκινήτων. Μικρότερη συνεισφορά από βιομηχανικές δραστηριότητες, διάθεση στερεών αποβλήτων και από άλλες δραστηριότητες
Σωματίδια			Καύση πετρελαίου και γαιανθράκων για ηλεκτροπαραγωγή και θέρμανση κτιρίων. Βιομηχανικές δραστηριότητες Μικρότερες ποσότητες από αυτοκίνητα.
Ενώσεις φθορίου και χλωρίου	HF, HCl		Μεταλλουργία

3.3 Όρια επιφυλακής και όρια εκτάκτων μέτρων

Τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας αναφέρονται συνήθως σε ετήσια βάση και οριοθετούν μία "μέση" ποιότητα της ατμόσφαιρας στη διάρκεια ενός έτους, ώστε να εξασφαλίζεται η δημόσια υγεία. Ήδη από τον τρόπο ορισμού τους, τα όρια ποιότητας δίνουν τη δυνατότητα κάποιου ποσοστού υπέρβασης. Αυτό σημαίνει ότι δεν καλύπτουν περιπτώσεις επεισοδίων ρύπανσης, τις περιπτώσεις δηλαδή εκείνες κατά τις οποίες παρατηρούνται (λόγω εξαιρετικά δυσμενών μετεωρολογικών και άλλων συνθηκών) μεγάλες τιμές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, συνήθως 1-3 ημέρες. Ομως, όταν οι τιμές της ρύπανσης αυξηθούν τόσο ώστε να δημιουργείται άμεσος κίνδυνος για την υγεία (επεισόδιο ρύπανσης), επιβάλλεται μία άμεση αντιμετώπιση με σειρά μέτρων που αποβλέπουν κυρίως στη μείωση των εκπομπών με περιοριστικές επεμβάσεις στη λειτουργία των πηγών.

Τα επικαιροποιημένα όρια λήψης εκτάκτων μέτρων που ισχύουν σήμερα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Όρια εκτάκτων μέτρων

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	1 ώρα	Όριο συναγερμού: 400 μg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	1 ώρα	Όριο συναγερμού: 500 μg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες
Όζον (O ₃)	1 ώρα	Όριο συναγερμού: 240 μg/m ³ υπέρβαση της τιμής αυτής για 3 συνεχόμενες ώρες

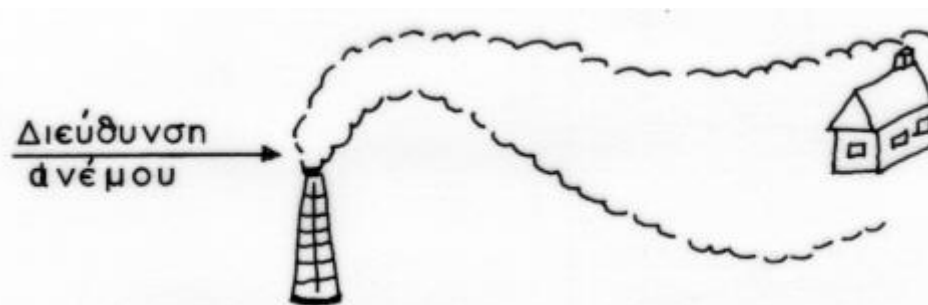
4. Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στη ρύπανση

Οι παράμετροι της μετεωρολογίας που επηρεάζουν τη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι: η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, η ευστάθεια της ατμόσφαιρας και ειδικά για τους φωτοχημικούς ρύπους η ηλιοφάνεια. Άλλες παράμετροι που συντελούν σημαντικά στη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι: η βροχόπτωση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και έμμεσα η θερμοκρασία.

5. Μεταφορά και διάχυση των αέριων ρύπων

Συνήθως η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι τέτοια που ευνοεί τη διασπορά των ρύπων, έτσι ώστε οι επιφανειακές συγκεντρώσεις να βρίσκονται κάτω από τα επιβαλλόμενα όρια. Όμως, οι καιρικές συνθήκες αλλάζουν συνεχώς. Έτσι, εμφανίζονται καταστάσεις της ατμόσφαιρας που ευνοούν την αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων, υπερβαίνοντας αρκετά συχνά τα επιβαλλόμενα όρια.

Μεταφορά είναι ο μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρονται οι ρύποι από τις πηγές στους διάφορους αποδέκτες. Ο απλούστερος συνδυασμός πηγής - αποδέκτη είναι αυτός μιας μεμονωμένης σημειακής πηγής και ενός μεμονωμένου αποδέκτη. Οι ρύποι από την καμινάδα θα μεταφερθούν από την πηγή στον αποδέκτη, εάν ο άνεμος πνέει κατά μήκος της γραμμής που συνδέει αυτά με μικρή διακύμανση γύρω από αυτή (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Μεταφορά και διάχυση από την πηγή στον αποδέκτη.

Ο άνεμος είναι το μέσο, με το οποίο η ρύπανση μεταφέρεται από την πηγή στον αποδέκτη. Όμως, κατά μήκος της διαδρομής μεταξύ πηγής και αποδέκτη οι στροβίλοι της ατμόσφαιρας συντελούν στη διάχυση των ρύπων στον περιβάλλοντα αέρα. Σε απόσταση από την καμινάδα οι εκπομπές αποκτούν τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (ταχύτητα και θερμοκρασία). Η διαδικασία - ανάμιξης λόγω τυρβώδους ροής και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς των ρύπων - - τείνουν να ελαττώσουν τη συγκέντρωση των ρύπων, που φτάνουν στον αποδέκτη, σε σχέση με την συγκέντρωσή τους στην καμινάδα. Ο συνδυασμός της διάχυσης και της μεταφοράς των ρύπων μετά την εκπομπή τους καλείται διασπορά. Η διαδικασία της διασποράς γίνεται σημαντικά σύνθετη όταν αυξάνει ο αριθμός των πηγών και των αποδεκτών (π.χ. πόλεις), όταν κάποιες από τις πηγές ή τους αποδέκτες κινούνται (π.χ. αυτοκίνητα) και όταν ο καιρός και η τοπογραφία γίνονται περισσότερο πολύπλοκα από ότι συμβαίνει στην περίπτωση που φυσά άνεμος προς μια διεύθυνση πάνω από επίπεδη (έρημη) επιφάνεια για μεγάλη χρονική περίοδο.

Ο άνεμος και η τυρβώδης ροή είναι σημαντικά στοιχεία για τη διάχυση των αερίων ρύπων. Μια από τις επιδράσεις της ταχύτητας του ανέμου είναι η διάλυση των εκπεμπόμενων ρύπων στο σημείο εκπομπής. Οι ταχύτητες του ανέμου που χρησιμοποιούνται στη διάχυση των ρύπων υπολογίζονται γενικά στην κορυφή της καμινάδας.

Το μέγεθος και η επίδραση των ατμοσφαιρικών στροβίλων στην κατακόρυφη ανάπτυξη των φλεβών σχετίζονται με την κατακόρυφη δομή της θερμοκρασίας. Ο τύπος της φλέβας εξαρτάται από τις κατανομές της θερμοκρασίας με το ύψος και έτσι τις διαφορετικές συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας.

6. Εξισώσεις διάχυσης

Οι εξισώσεις διάχυσης είναι μαθηματικές περιγραφές της μεταφοράς και διάχυσης των αερίων ρύπων σε μια περιοχή και επιτρέπουν τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των ρύπων από μια σημειακή πηγή. Οι περισσότερες από τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα βασίζονται στη γενική εξίσωση που προτάθηκε από τον Pasquill (1961, 1974) και τροποποιήθηκε από τον Gifford (1961, 1968) :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \tilde{S} \quad (1)$$

όπου K_x , K_y , K_z είναι οι συντελεστές ατμοσφαιρικής διάχυσης στις αντίστοιχες διευθύνσεις και $\tilde{S}$ οι διάφορες παροχές, θετικές (πηγές) ή αρνητικές (καταβόθρες), του ρύπου ανά μονάδα όγκου και χρόνου.

Επειδή όμως η λύση της παραπάνω εξίσωσης παρουσιάζει σημαντικά μαθηματικά προβλήματα τεχνικής και επιπλέον απαιτεί λεπτομερείς μετεωρολογικές παρατηρήσεις, συνήθως για τον προσδιορισμό των συναρτήσεων στο χώρο και χρόνο του πεδίου ροής και των συντελεστών διάχυσης K_x , K_y και K_z , χρησιμοποιούνται απλοποιημένες μορφές της εξίσωσης αυτής.

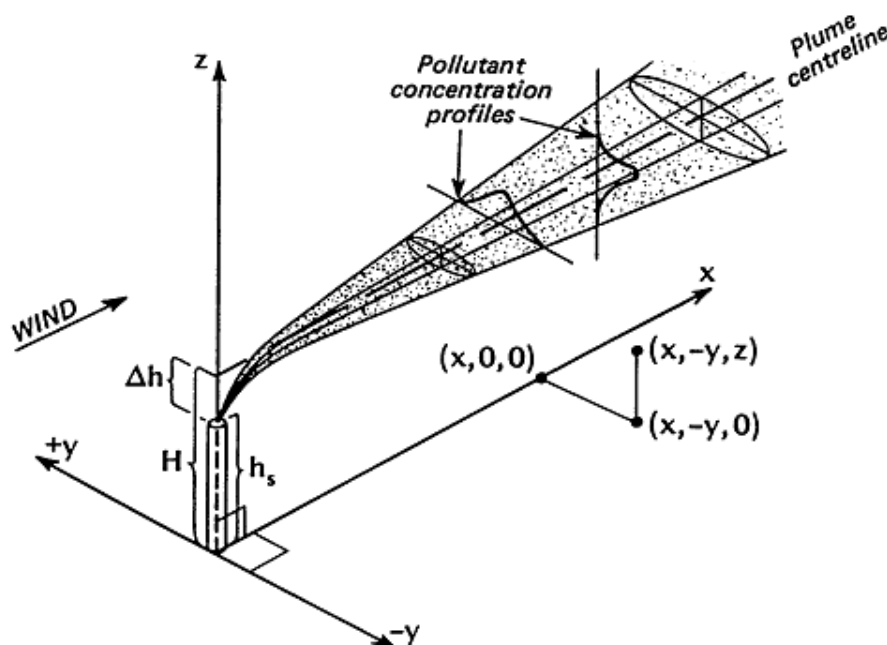
6.1 Υπολογισμός συγκεντρώσεων από σημειακές πηγές – Μοντέλο Gaussian Plume

Ένα Gaussian μοντέλο διασποράς υπολογίζει τη μέση συγκέντρωση του ρύπου σε διάφορες αποστάσεις από την πηγή για σταθερές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι οι υπολογιζόμενες τιμές συγκεντρώσεων αφορούν την κατάσταση στην οποία περιέρχεται το σύστημα όταν όλα τα μεταβατικά φαινόμενα αποσβεστούν. Οι εκπομπές και οι μετεωρολογικές συνθήκες μπορεί να διαφέρουν από ώρα σε ώρα αλλά οι υπολογισμοί του μοντέλου για κάθε ώρα είναι ανεξάρτητοι από αυτούς των προηγούμενων ωρών.

Τα μοντέλα Gauss δεν εφαρμόζονται σε συνθήκες νηνεμίας και σε περιοχές με μέτρια τοπογραφικά χαρακτηριστικά, δεν ερμηνεύουν ικανοποιητικά την επίδραση της τοπογραφίας στο προφίλ του ανέμου και τέλος θεωρούν ότι η ατμόσφαιρα είναι ομοιόμορφη γεγονός που σπάνια συμβαίνει

Λαμβάνοντας τρισδιάστατο σύστημα αξόνων (x,y,z) με διευθύνσεις τη διεύθυνση του ανέμου, την κάθετη σ' αυτή και την κατακόρυφη και αρχή συντεταγμένων τη γη (Σχήμα 3), το μοντέλο Gauss υποθέτει ότι:

- οι συγκεντρώσεις από μια συνεχή πηγή εκπομπής είναι ανάλογες με το ρυθμό εκπομπής
- οι συγκεντρώσεις διαλύονται από τον άνεμο στο σημείο εκπομπής με ρυθμό αντίστροφα ανάλογο της ταχύτητας του ανέμου
- υποτίθεται ότι η φλέβα κινείται οριζόντια (στη x διεύθυνση) με μέση ταχύτητα u , διαχέεται οριζόντια (y διεύθυνση, κάθετη στη συνιστώσα του ανέμου) και κατακόρυφα (z διεύθυνση), έτσι ώστε η συγκέντρωση ενός ρύπου σε οποιαδήποτε διατομή της φλέβας να ακολουθεί την κανονική (Gaussian) κατανομή.



Σχήμα 3: Εξάπλωση της φλέβας από σημειακή πηγή σύμφωνα με το μοντέλο Gauss.

Στην απλούστερη περίπτωση το μοντέλο Gauss υποθέτει ότι οι ρύποι δεν αντιδρούν χημικά ή ότι δεν συμβαίνει άλλη διαδικασία απομάκρυνσης στη διαδρομή από την

πηγή και ότι οι ρύποι φθάνοντας το έδαφος ή την κορυφή του στρώματος ανάμιξης, καθώς η φλέβα αναπτύσσεται, ανακλώνται.

Οι αέριοι ρύποι κατά την έξοδό τους από την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φθάνουν στην κορυφή της, έχει σαν αποτέλεσμα η φλέβα να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Το ύψος αυτό είναι υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται ενεργό ύψος.

Στη συνέχεια, η φλέβα μεταφέρεται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Η οριζόντια μεταφορά αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραίωσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μικρή (άπνοια) δεν ευνοείται η μεταφορά και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών. Τέτοιες συνθήκες εμφανίζονται συνήθως κοντά στο κέντρο αντικυκλωνικών συστημάτων.

Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και τη διαπλάτυνση της φλέβας, με τελικό αποτέλεσμα την αραίωση. Σε συνθήκες ευστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη. Η διάχυση των ρύπων γίνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια της γης το οποίο ονομάζεται ύψος ανάμιξης. Το μέγεθος και η επίδραση των στροβιλώσεων στη κατακόρυφη ανάπτυξη της φλέβας σχετίζεται με την κατακόρυφη δομή της θερμοκρασίας.

Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις είναι:

C : συγκέντρωση, gm^{-3}

Q : ρυθμός εκπομπής, gs^{-1}

u : ταχύτητα του ανέμου, ms^{-1}

σ_y : τυπική απόκλιση της οριζόντιας κατανομής της συγκέντρωσης των ρύπων (συντελεστής διάχυσης), m

σ_z : τυπική απόκλιση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης των ρύπων (συντελεστής διάχυσης), m

L : ύψος ανάμιξης, m

h : φυσικό ύψος καμινάδας, m

H : ενεργό ύψος καμινάδας, m

Η συγκέντρωση C(x,y,z) σε σημείο (x,y,z) από την πηγή που βρίσκεται σε συντεταγμένες (0,0,H) (Σχήμα 4) δίνεται, ανάλογα με την κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας, από αντίστοιχες εξισώσεις.

Για ευσταθείς συνθήκες ή πολύ μεγάλο ύψος ανάμιξης :

$$C(x, y, z) = Q \frac{1}{\bar{u}} \frac{G_y}{\sqrt{2\pi} \sigma_y(x)} \frac{G_z}{\sqrt{2\pi} \sigma_z(x)} \quad (2)$$

όπου

$$G_z = \exp\left(\frac{-0,5(z-H)^2}{\sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(\frac{-0,5(z+H)^2}{\sigma_z^2(x)}\right)$$

$$C(x, y, z) = \frac{QaG_y G_z}{2\pi \bar{u} \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \quad (3)$$
[illegible]

9

- Όλοι οι ρύποι εκπέμπονται από σημειακή πηγή με σταθερό ρυθμό ($\delta Q/\delta t=0$).
- Ο άνεμος είναι ομοιόμορφος μέσα στο στρώμα, όπου συμβαίνει η διάχυση, και η μέση τιμή του μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εξίσωση. Συνήθως χρησιμοποιείται ο άνεμος στην κορυφή της καμινάδας.
- Ομοιογένεια στην ατμόσφαιρα, οπότε η κατανομή της συγκέντρωσης καθ' ύψος και πλάτος της φλέβας είναι Gaussian.
- Η εξίσωση χρησιμοποιείται για σχετικά επίπεδα και ομογενή εδάφη. Δεν χρησιμοποιείται σε παραλιακές ή ορεινές περιοχές, σε περιοχές όπου τα κτήρια είναι ακανόνιστα ή εκεί όπου η φλέβα ταξιδεύει πάνω από θερμά γυμνά εδάφη και έπειτα πάνω από ψυχρότερα με χιόνι ή πάγο καλυμμένα εδάφη.
- Τα άκρα της φλέβας είναι εκεί, όπου η συγκέντρωση των ρύπων έχει μειωθεί στο 1/10 της τιμής που έχει στον άξονα της φλέβας.
- Ολική ανάκλαση των ρύπων στο έδαφος. Ο ρύπος που μελετάται δεν χάνεται λόγω απόθεσης, χημικής αντίδρασης ή μετασχηματισμού. Η μέθοδος των ειδώνων χρησιμοποιείται, για να επιβεβαιωθεί ότι οι ρύποι δεν χάνονται στη γη.
- Οι ρύποι έχουν την ίδια πυκνότητα με τον περιβάλλοντα αέρα. Αυτή η υπόθεση αφορά κυρίως τους αέριους ρύπους. Επίσης, είναι αποδεκτή για μικρά σωματίδια, αλλά όχι για σωματίδια που έχουν κάποια βαρύτητα.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση της εξίσωσης Gauss είναι:

- η μέση ταχύτητα του ανέμου
- η ευστάθεια της ατμόσφαιρας
- οι παράμετροι διάχυσης
- το ενεργό ύψος της καμινάδας
- οι φυσικοί ή χημικοί μετασχηματισμοί
- ο ρυθμός εκπομπής των ρύπων
- ο χρόνος, η συχνότητα και η διάρκεια εκπομπής
- το φυσικό ύψος της καμινάδας
- ο ρυθμός εξόδου των αερίων
- η ταχύτητα εξόδου ή η διάμετρος της καμινάδας
- η θερμοκρασία εξόδου των αερίων.

Οι τελευταίοι τέσσερις παράμετροι είναι απαραίτητοι για τον υπολογισμό της ανύψωσης της φλέβας.

Αυτή η προσέγγιση Gaussian plume χρησιμοποιείται κύρια στον υπολογισμό συγκεντρώσεων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και σε αποστάσεις μικρότερες από 10Km (στην κατεύθυνση του ανέμου) παρά σε σχετικά μεγάλα ύψη από την επιφάνεια.

Διαφορίζοντας την (2) και εξισώνοντάς την με μηδέν, βρίσκεται η μέγιστη συγκέντρωση:

$$C_{\max} = \frac{2Q}{\pi \bar{u} e H^2} \frac{\sigma_z}{\sigma_y} \quad (7)$$

και η απόσταση για τη μέγιστη συγκέντρωση είναι αυτή, όπου το σ_z παίρνει την τιμή $H/\sqrt{2}$. Αυτή η εξίσωση είναι σωστή μόνο, όταν ο λόγος σ_z/σ_y είναι σταθερός με την απόσταση.

7. Ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων της ρύπανσης

Σκοπός της ανάλυσης των δεδομένων ρύπανσης είναι να παρέχει μία πλήρη όσο το δυνατόν περιγραφή των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων της ρύπανσης. Η πλήρης ανάλυση των δεδομένων ρύπανσης περιλαμβάνει ανάλυση και σύνθεση των δεδομένων της ρύπανσης, πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης των ανεμογράφων, τη μετεωρολογία και την τοπογραφία της περιοχής. Για συνοπτικούς σκοπούς, οι βασικοί τρόποι (μεγέθη) με τη βοήθεια των οποίων συνοψίζονται (παρουσιάζονται) τα δεδομένα ρύπανσης είναι οι στατιστικές παράμετροι (η μέση τιμή, η διάμεσος, η τυπική απόκλιση, η διακύμανση και το εύρος), οι απλές και οι συνδυασμένες κατανομές συχνότητων συγκέντρωσης ρύπανσης – διεύθυνσης ανέμου.

Η ανάλυση μιας χρονοσειράς συγκεντρώσεων ενός ρύπου πραγματοποιείται ύστερα από ομαδοποίηση των δεδομένων του σταθμού (ή κάθε σταθμού από ένα πλήθος σταθμών) ανά έτος (εφόσον η χρονοσειρά αναφέρεται σε πολλά χρόνια), μήνα ή ανά ώρα. Τα δεδομένα μιας χρονοσειράς συγκέντρωσης ρύπων μπορούν εύκολα να απεικονισθούν σ' ένα πίνακα κατανομής συχνότητων είτε με τη σχετική συχνότητα είτε με την αθροιστική συχνότητα. Για να εξετασθεί – ελεγχθεί η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης των ρύπων και της διεύθυνσης του ανέμου χρησιμοποιούνται οι πίνακες συνάφειας τάξεων διεύθυνσης ανέμου με τάξεις συγκέντρωσης των ρύπων. Η ύπαρξη συστηματικής σχέσης ελέγχεται παραπέρα με το χ^2 τεστ. Για γραφική απεικόνιση, συνήθως χρησιμοποιείται το πολικό διάγραμμα ρύπανσης (συγκέντρωση ανά διεύθυνση ανέμου).

Σε πολλές στατιστικές εφαρμογές απαιτείται η μελέτη της σχέσης δύο ή περισσότερων τυχαίων μεταβλητών. Σκοπός της πολλαπλής παλινδρόμησης είναι η κατασκευή ενός μοντέλου που να περιγράφει ικανοποιητικά τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης συνεχούς μεταβλητής Y (π.χ. συγκέντρωση ρύπων) και μίας ή περισσότερων συνεχών ανεξάρτητων μεταβλητών $X_1, X_2, \dots, X_n$ (π.χ. θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ένταση ανέμου, ηλιοφάνεια κλπ). Αν η σχέση της εξαρτημένης μεταβλητής είναι γραμμική συνάρτηση των παραμέτρων (ανεξάρτητων μεταβλητών) τότε η περιγραφή της σχέσης αυτής γίνεται βάση ενός γραμμικού μοντέλου. Η σχέση «σύνδεση της εξαρτημένης μεταβλητής με τα ανεξάρτητα μεγέθη» θα είναι γενικά της μορφής:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Έτσι, εξάγονται συμπεράσματα για τον τρόπο σύνδεσης των ανεξάρτητων μεταβλητών με την εξαρτημένη μεταβλητή και για τη στατιστική σημαντικότητα της σχέσης σύνδεσης βάσει του δείκτη R^2 : όταν οι τιμές του δείκτη είναι κοντά στο ένα είναι ένδειξη ότι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη διαδικασία κατασκευής του μοντέλου είναι ικανοποιητικοί για την περιγραφή του μοντέλου, ενώ όταν οι τιμές του δείκτη είναι κοντά στο μηδέν είναι ένδειξη ότι οι προτεινόμενες ανεξάρτητες μεταβλητές δεν είναι ικανοποιητικές για την περιγραφή της εξαρτημένης τιμής και επομένως το μοντέλο της παλινδρόμησης δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για πρόβλεψη τιμών.

Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα σχετικά με τις συγκεντρώσεις των ρύπων από το δίκτυο σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΥΠΕΚΑ στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Τα μετεωρολογικά δεδομένα

που θα χρησιμοποιηθούν (ταχύτητα ανέμου, ώρες ηλιοφάνειας, σχετική υγρασία, μέση ημερήσια θερμοκρασία) προέρχονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Βιβλιογραφία

Ασημακόπουλος Δ. και Καρτάλης Κ., (2002): Σημειώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Προστασίας του Περιβάλλοντος, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δεληγιώργη Δέσποινα, (2005) : “Διασπορά και Διάχυση Αέριων Ρύπων”, Σημειώσεις ΜΔΕ “Φυσικής Περιβάλλοντος”, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Λιώκη – Λειβαδά Η. και Ασημακόπουλος Δ. 2002. “Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη στατιστική”, Σημειώσεις για το μάθημα της Στατιστικής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Pasquill (1961): “The estimation of the dispersion of windborne material”, Meteorological Magazine, 90, 33–49.

Pasquill (1974): “Atmospheric Diffusion”, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.

Gifford, F. A. (1961): “Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion”, Nuclear Safety, 2, 47-57.

Gifford, F. A. (1968): “An outline of theories of diffusion in the lower layers on the atmosphere”, Meteorology and Atomic Energy, U.S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, 65-116.

Hanna S., Briggs G., June 1981: “Handbook on Atmospheric Diffusion”, US Department of Energy.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Οριακή τιμή	
Μέση ωριαία τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές το χρόνο	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Όριο συναγερμού	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τρεις συνεχόμενες ώρες
-----------------	--

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Οριακή τιμή	
Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέση ετήσια τιμή	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Οριακή τιμή	
Μέση ωριαία τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέση ετήσια τιμή	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Όριο συναγερμού	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τρεις συνεχόμενες ώρες
-----------------	--

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΜΟΛΥΒΔΟ

	Οριακή τιμή
Μέση ετήσια τιμή	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΟΖΟΝ

		Οριακή τιμή
Όριο ενημέρωσης	Μέση ωριαία τιμή	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Όριο συναγερμού	Μέση ωριαία τιμή	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Τιμή – στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας Έτος ισχύος 2010	Μέγιστη ημερήσια μέση 8ωρη τιμή, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 25 φορές ανά έτος για διάστημα 3 ετών	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

	Οριακή τιμή
Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή	10 mg/m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΩΝ ΓΙΑ BENZOLIO

	Οριακή τιμή
Μέση ετήσια τιμή	5 µg/m ³

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΤΙΜΕΣ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ BENZO(α)ΠΥΡΕΝΙΟ

	Οριακή τιμή για			
	αρσενικό	κάδμιο	νικέλιο	βενζο(α)πυρένιο
Μέση ετήσια τιμή	6 ng/m ³	5 ng/m ³	20 ng/m ³	1 ng/m ³

ΟΔΗΓΙΕΣ για την ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ της ΑΣΚΗΣΗΣ

A. Επιλογή δεδομένων για την άσκηση της κατανομής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

1. Σας δίνονται στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή σας τα αρχεία : 2009.xlsx ή 2010.xlsx
2. Ανοίξτε το φάκελο που αντιστοιχεί στην ώρα του τμήματος που παρακολουθείτε π.χ. ΔΕΥΤΕΡΑ 15:00-17.30. Επιλέξτε τον φάκελο «ΚΑΤΑΤΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ» και αντιγράψτε σε αυτόν το αρχείο..... (ο διδάσκων μπορεί να επιλέξει από τα παραπάνω αρχεία όσες χρονοσειρές επιθυμεί καθώς και το σταθμό που εκείνος θα ήθελε)
3. Σε κάθε αρχείο τα δεδομένα της ρύπανσης και των μετεωρολογικών δεδομένων είναι με την ακόλουθη μορφή:

1 ^η Στήλη (A)	Έτος
2 ^η Στήλη (B)	Μήνας
3 ^η Στήλη (C)	Ημέρα
4 ^η Στήλη (D)	Ωρα
5 ^η Στήλη (E)	Συγκέντρωση NO στο σταθμό Πατησίων [NO] _{PAT} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
6 ^η Στήλη (F)	Συγκέντρωση NO ₂ στο σταθμό Πατησίων [NO ₂] _{PAT} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
7 ^η Στήλη (G)	Συγκέντρωση SO ₂ στο σταθμό Πατησίων [SO ₂] _{PAT} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
8 ^η Στήλη (H)	Συγκέντρωση CO στο σταθμό Πατησίων [CO] _{PAT} σε mgr/m^3
9 ^η Στήλη (I)	Συγκέντρωση O ₃ στο σταθμό Πατησίων [O ₃] _{PAT} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
10 ^η Στήλη (J)	Συγκέντρωση NO στο σταθμό Αθηνάς [NO] _{ATH} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
11 ^η Στήλη (K)	Συγκέντρωση NO ₂ στο σταθμό Αθηνάς [NO ₂] _{ATH} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
12 ^η Στήλη (L)	Συγκέντρωση SO ₂ στο σταθμό Αθηνάς [SO ₂] _{ATH} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
13 ^η Στήλη (M)	Συγκέντρωση CO στο σταθμό Αθηνάς [CO] _{ATH} σε mgr/m^3
14 ^η Στήλη (N)	Συγκέντρωση O ₃ στο σταθμό Αθηνάς [O ₃] _{ATH} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
15 ^η Στήλη (O)	Συγκέντρωση NO στο σταθμό Αριστοτέλους [NO] _{ARI} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
16 ^η Στήλη (P)	Συγκέντρωση NO ₂ στο σταθμό Αριστοτέλους [NO ₂] _{ARI} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
17 ^η Στήλη (Q)	Συγκέντρωση NO στο σταθμό Γεωπονική [NO] _{GEO} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
18 ^η Στήλη (R)	Συγκέντρωση NO ₂ στο σταθμό Γεωπονική [NO ₂] _{GEO} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
19 ^η Στήλη (S)	Συγκέντρωση SO ₂ στο σταθμό Γεωπονική [SO ₂] _{GEO} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
20 ^η Στήλη (T)	Συγκέντρωση CO στο σταθμό Γεωπονική [CO] _{GEO} σε mgr/m^3
21 ^η Στήλη (U)	Συγκέντρωση O ₃ στο σταθμό Γεωπονική [O ₃] _{GEO} σε $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
22 ^η Στήλη (V)	Θερμοκρασία T σε °C
23 ^η Στήλη (W)	Σχετική Υγρασία RH σε %
24 ^η Στήλη (X)	Ένταση Ανέμου WS σε m/s
25 ^η Στήλη (Y)	Διεύθυνση Ανέμου WD σε μοίρες
26 ^η Στήλη (Z)	Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία σε W/m^2

4. Από το επιλεγέν αρχείο της παραγράφου 2, δημιουργήστε αρχείο που θα περιλαμβάνει μόνο τα δεδομένα που σας χρειάζονται. Ακόμη ο διδάσκων μπορεί να επιλέξει συγκεκριμένη χρονοσειρά του αρχείου (π.χ. όλα τα έτη ή μόνο ένα, δύο κλπ έτη). Ονομάστε το αρχείο αυτό π.χ. V1

Β. Πραγματοποίηση εργαστηριακής άσκησης κατανομής ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ξεκινήστε την εκτέλεση της εργαστηριακής άσκησης.

Γ. Επεξεργασία δεδομένων

1. Σας δίνεται ετήσια χρονοσειρά ωριαίων δεδομένων συγκέντρωσης ενός ρύπου και μετεωρολογικών παραμέτρων.
2. Αρχικά, υπολογίστε τη μέση ημερήσια τιμή της συγκέντρωσης, (αθροίζοντας τις ωριαίες τιμές για μία ημέρα και διαιρώντας με τις 24 ώρες), τη μέση μηνιαία συγκέντρωση (αθροίζοντας τις ημερήσιες μέσες τιμές και διαιρώντας με τον αριθμό των ημερών του μήνα 28, 29, 30 ή 31), την ανά ώρα μέση τιμή της συγκέντρωσης (προσθέτοντας όλες τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης για μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας και διαιρώντας με το σύνολο των ωρών για όλο το έτος), τη μέση συγκέντρωση ανά εποχή και ανά περίοδο- θερινή και χειμερινή - (αντίστοιχα από το άθροισμα των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων και τη διαίρεση αυτών με τον αριθμό των ημερών της κάθε εποχής ή περιόδου). Υπολογίσατε την απόλυτη συχνότητα εμφάνισης συγκέντρωσης των ρύπων (ο αριθμός περιπτώσεων εμφάνισης των ωριαίων συγκεντρώσεων σε καθορισμένα διαστήματα, σε mg/m^3 ή $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ανάλογα τον μελετώμενο ρύπο).
3. Κατασκευάσετε πίνακα που να περιέχει όλα τα στατιστικά μεγέθη, όπως η διάμεσος, ο μέσος, η μέση απόκλιση τετραγώνου, η διακύμανση κλπ.
4. Σχεδιάσατε τις αντίστοιχες καμπύλες και τα ιστογράμματα.
5. Σχεδιάσατε το πολικό διάγραμμα κατανομής συγκέντρωσης και διεύθυνσης ανέμου.
6. Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα. Στο σχολιασμό να χρησιμοποιηθούν και οι αντίστοιχες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα.
7. Εφαρμόστε τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης για την εύρεση των εξισώσεων οι οποίες θα δίνουν τη δυνατότητα να υπολογισθεί η τιμή κάθε ρύπου, ανεξάρτητα για κάθε μετεωρολογική παράμετρο ή για όλες τις μετεωρολογικές παραμέτρους.

Σε όλα τα παραπάνω βήματα να αιτιολογείτε, να σχολιάζετε τα αποτελέσματα και να εξάγετε τα συμπεράσματά σας. Στο σχολιασμό να χρησιμοποιηθούν όλες οι απαιτούμενες παράμετροι.