

Θ. ΚΟΥΪΜΤΖΗ
Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Κ. ΣΑΜΑΡΑ-ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
Επικ. Καθηγήτριας Α.Π.Θ.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πρόλογος

Η ανάγκη για την αντιμετώπιση και επίλυση των προβλημάτων ρύπανσης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος οδήγησε στην ανάπτυξη νέων επιστημονικών κλάδων ανάμεσα στους οποίους ιδιαίτερη θέση κατέχει η Χημεία Περιβάλλοντος.

Ο κλάδος αυτός έχει αναπτυχθεί σημαντικά, έτσι ώστε σήμερα να αποτελεί βασική κατεύθυνση της Χημείας και να χωρίζεται σε μικρότερους κλάδους, όπως τον Έλεγχο Ρύπανσης Περιβάλλοντος, την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, τη Χημεία των Οικοσυστημάτων, τη Χημεία της Ατμόσφαιρας κ.ά.

*Το βιβλίο αυτό κύριο σκοπό έχει να καλύψει τις διδακτικές ανάγκες του μαθήματος **Έλεγχος Ρύπανσης του Περιβάλλοντος**. Απευθύνεται, κυρίως, στους φοιτητές των Τμημάτων Χημείας και προσφέρει θεμελιώδεις γνώσεις σ' αυτούς που ασχολούνται με τα θέματα της εκτίμησης και αξιολόγησης της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της διερεύνησης της σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στα επίπεδα και τις πηγές ρύπανσης.*

Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 1994

Θ. Κουϊμτζής
Κ. Σαμαρά - Κωνσταντίνου

Περιεχόμενα

1. ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	11
1.1. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	11
1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	13
1.2.1. Επιλογή παραμέτρων ελέγχου.....	13
1.2.2. Δειγματοληψία.....	14
1.2.3. Κατεργασία δειγμάτων.....	14
1.2.4. Προσδιορισμός παραμέτρων	14
1.2.5. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	15
2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΡΥΠΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	17
2.1.1. Μετεωρολογικοί παράγοντες	18
2.1.2. Τοπογραφικοί παράγοντες.....	18
2.1.3. Διάρκεια - συχνότητα δειγματοληψίας.....	19
2.1.4. Μορφή των ρύπων της ατμόσφαιρας.....	21
2.1.5. Συσκευές δειγματοληψίας.....	25
2.2.1. Δειγματοληψία από σταθερές πηγές εκπομπής.....	27
2.2.2. Δειγματοληψία από κινητές πηγές εκπομπής	30
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	33
3.1. ΑΝΤΛΙΕΣ ΚΕΝΟΥ.....	33
3.2. ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΟΓΚΟΥ.....	34
3.3. ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	35
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΡΥΠΩΝ	36
4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΤΜΟ- ΣΦΑΙΡΑ	36
4.1.1. Προσρόφηση.....	36
4.1.2. Απορρόφηση.....	38
4.1.3. Συμπύκνωση	42
4.1.4. Δειγματοληψία ατμοσφαιρικού αέρα (στιγμιαία δειγματολη- ψία).....	44
4.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	46
4.2.1. Διήθηση	46
4.2.2. Πρόσκρουση.....	52
4.2.3. Διάχυση.....	55
4.2.4. Φυγοκέντρωση.....	58
4.2.5. Κατακλίση λόγω βαρύτητας.....	58
4.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΚΑΜΙΝΑΔΕΣ	60

4.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΚΑΜΙΝΑΔΕΣ	61
4.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	63
4.6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΕΞΑΤΜΙΣΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	64
5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	65
5.1. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	66
5.1.1. Παρασκευή πρότυπων μιγμάτων αέριων ρύπων με στατικές μεθόδους	67
5.1.2. Παρασκευή πρότυπων μιγμάτων αέριων ρύπων με δυναμικές μεθόδους	68
5.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO ₂).....	70
5.2.1. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός SO ₂ (Μέθοδος West - Gaeke)	70
5.2.2. Αγωγιμομετρικός προσδιορισμός SO ₂	73
5.2.3. Φλογοφωτομετρικός προσδιορισμός SO ₂	76
5.2.4. Φθορισμομετρικός προσδιορισμός SO ₂	78
5.2.5. Φασματοσκοπία απορρόφησης.....	78
5.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO _x)	81
5.3.1. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός NO ₂ (Μέθοδος Saltzman)	81
5.3.1. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός NO.....	84
5.3.2. Προσδιορισμός NO _x με χημειοφωταύγεια.....	84
5.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO).....	86
5.4.1. Χημικές μέθοδοι	86
5.4.2. Μέθοδος της μη-διαχεόμενης υπέρυθρης ανάλυσης (NDIR).....	87
5.4.3. Άλλες μέθοδοι συνεχούς προσδιορισμού CO.....	88
5.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (HC)	89
5.5.1. «Εκτός μεθανίου υδρογονάνθρακες» (NMHC)	89
5.5.2. Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)	91
5.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΖΟΝΤΟΣ (O ₃)	93
5.6.1. Μέθοδος χημειοφωταύγειας με C ₂ H ₄	93
5.6.2. Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός O ₃	95
5.6.3. Χημικός προσδιορισμός O ₃ - Μέθοδος KI	95
5.7. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΥΠΕΡΟΞΥ-ΑΚΕΤΥΛΙΟΥ (PAN).....	97
5.7.1. Αεριοχρωματογραφικός προσδιορισμός PAN.....	98
5.8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ (PM)	98
5.8.1. Σταθμικός προσδιορισμός	99
5.8.2. Μέθοδος απορρόφησης β-ακτινοβολίας	101
5.8.3. Ανακλωμετρικός προσδιορισμός (Μέθοδος αμαύρωσης φίλτρου).....	103
5.8.4. Μέθοδος σκεδασμού του φωτός	105
6. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ	107
6.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	107
6.2. ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΘΡΑΚΕΣ	113

6.3. ΟΞΙΝΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (θειικά και νιτρικά άλατα).....	116
6.4. ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ ΑΛΑΤΑ.....	117
6.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΙΔΟΥΣ ΤΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙ- ΔΙΑΚΗΣ ΥΛΗΣ (speciation)	118
7. ΑΡΧΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	120
7.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΝΕΡΩΝ - ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	120
7.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΝΕΡΩΝ.....	123
7.3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	124
7.3.1. Δοχεία δειγματοληψίας.....	124
7.3.2. Προκατεργασία - διατήρηση δειγμάτων.....	127
7.4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ	127
8. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΝΕΡΩΝ.....	129
8.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΝΕΡΩΝ.....	129
8.1.1. Δειγματοληψία λιμνών.....	132
8.1.2. Δειγματοληψία θαλασσών - ωκεανών.....	133
8.1.3. Δειγματοληψία ποταμών.....	133
8.1.4. Δειγματοληψία ιζημάτων.....	135
8.1.5. Δειγματοληψία βιολογικών δειγμάτων.....	136
8.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ	138
8.2.1. Δειγματοληψία από φυσικές πηγές νερού.....	138
8.2.2. Δειγματοληψία από γεωτρήσεις.....	138
8.2.3. Δειγματοληψία νερού εδάφους.....	140
8.3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ.....	140
8.3.1. Δειγματοληψία βροχής.....	141
8.3.2. Δειγματοληψία χιονιού και πάγου.....	143
8.3.3. Δειγματοληψία ομίχλης.....	143
8.4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ - ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	144
9. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	146
9.1. ΟΣΜΗ	146
9.2. ΓΕΥΣΗ	146
9.3. ΧΡΩΜΑ.....	147
9.4. ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑ.....	149
9.5. ΣΤΕΡΕΑ.....	150
9.5.1. Ολικά στερεά.....	150
9.5.2. Αιωρούμενα στερεά	151
9.5.3. Ολικά διαλυμένα στερεά.....	151
9.5.4. Καθιζάνοντα στερεά.....	152
10. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΝΕΡΩΝ.....	153
10.1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	153
10.2. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	153
10.3. ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ.....	156
10.4. ΟΞΥΤΗΤΑ	156

10.5. ΑΛΚΑΛΙΚΟΤΗΤΑ.....	158
10.6. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	160
10.6.1. Υπολογισμός της σκληρότητας	161
10.6.2. EDTA - ογκομετρικός προσδιορισμός σκληρότητας	162
10.7. ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ CaCO ₃	163
10.8. ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ - ΧΛΩΡΙΟΤΗΤΑ - ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	166
10.8.1. Χλωριούχα.....	166
10.8.2. Χλωριότητα - Αλατότητα θαλασσινού νερού	168
10.8.3. Ελεύθερο χλώριο.....	169
11. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΝΕΡΩΝ	171
11.1. ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ	171
11.1.1. Χημικός προσδιορισμός του D.O.....	173
11.1.2. Ηλεκτροχημικός προσδιορισμός του D.O.	174
11.2. ΒΙΟΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ	175
11.2.1. Προσδιορισμός BOD - Μέθοδος αραίωσης	176
11.2.2. Βαρομετρική μέθοδος προσδιορισμού BOD	178
11.3. ΧΗΜΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ	182
11.3.1. Αριθμός ή οξειδωσιμότητα KMnO ₄	185
11.4. ΟΛΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ.....	185
12. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ - ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ.....	188
12.1. ΕΝΩΣΕΙΣ ΑΖΩΤΟΥ.....	189
12.1.1. Αμμωνία - Αμμωνιακά ιόντα.....	190
12.1.2. Οργανικό άζωτο	192
12.1.3. Νιτρώδη ιόντα	194
12.1.4. Νιτρικά ιόντα	196
12.2. ΕΝΩΣΕΙΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ	200
12.2.1. Ορθοφωσφορικά	202
12.2.2. Οξυ-υδρολυόμενα φωσφορικά.....	205
12.2.3. Οργανικός φώσφορος	205
12.3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ.....	206
12.3.1. Άλατα αζώτου-φωσφόρου. Λόγος N/P.....	207
12.3.2. Χλωροφύλλη α.....	207
12.3. ΠΟΙΟΤΙΚΗ - ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟΥ ΚΑΙ ΒΙΟ- ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ.....	211
13. ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	212
13.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	212
13.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	213
13.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΝΕΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	214
13.3.1. Προσδιορισμός διαλυμένων μετάλλων.....	216
13.3.2. Προσδιορισμός υδραργύρου και αρσενικού.....	218
13.3.3. Προσδιορισμός οξυ-εκχυλιζόμενων μετάλλων	222
13.3.4. Προσδιορισμός ολικών μετάλλων.....	222
13.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΙΖΗΜΑΤΑ - ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ - ΕΔΑΦΗ	223

13.4.1. Προσδιορισμός της ολικής συγκέντρωσης των μετάλλων.....	224
13.4.2. Προσδιορισμός των μετάλλων στις διάφορες χημικές φάσεις (κλάσματα).....	225
13.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ (ΨΑΡΙΑ, ΟΣΤΡΑΚΟΕΙΔΗ κ.ά.).....	229
13.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ	230
14. ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΟΧΗΣ.....	231
14.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	231
14.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ	232
14.2.1. Μέτρηση pH.....	232
14.2.2. Προσδιορισμός ολικής οξύτητας	233
14.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	233
14.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΙΟΝΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ.....	234
15. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	236
15.1. ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	236
15.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	237
15.3. ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	239
15.3.1. Χημική ανάλυση.....	240
15.3.2. Δοκιμές έκπλυσης.....	240
15.3.3. Έλεγχος συμβατότητας	242
15.4. Πρότυπες δοκιμές έκπλυσης	242
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	247
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	273
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	275

1

ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

1.1. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Είναι γνωστό ότι με την πάροδο των αιώνων δημιουργήθηκαν και σταθεροποιήθηκαν διάφορα μεγάλα και μικρά οικοσυστήματα, με πλούσια ποικιλία ζώντων οργανισμών. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν και διάφοροι βιογαιοχημικοί κύκλοι χημικών στοιχείων και ενώσεων με τις αντίστοιχες ισορροπίες. Κάθε παράγοντας που μετατοπίζει τα σημεία ισορροπίας στα συστήματα αυτά, δημιουργεί και τις προϋποθέσεις για απόκλιση από τους νόμους που διέπουν τη σχέση ζωής - περιβάλλοντος, η οποία μπορεί να φθάσει ακόμα και στην καταστροφή της αρμονίας ανάμεσα σ'αυτά. Η επίδραση τέτοιων παραγόντων στα οικοσυστήματα είναι αυτό που χαρακτηρίζουμε ως ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι βλαπτικές για το περιβάλλον ενέργειες εκφράζονται με όρους όπως: καταστροφή, μόλυνση, ρύπανση, βλάβη, υποβάθμιση κ.ά. Ο ελληνικός νόμος για την προστασία του περιβάλλοντος Ν. 1650/1986 περιέχει τρεις ρητούς ορισμούς που συνθέτουν τη γενικότερη έννοια της προσβολής του περιβάλλοντος.

- α. Ρύπανση του περιβάλλοντος:** η παρουσία στο περιβάλλον ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.
- β. Μόλυνση περιβάλλοντος:** η μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία στο περιβάλλον παθογόνων μικροοργανισμών ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.
- γ. Υποβάθμιση περιβάλλοντος:** η από ανθρώπινες δραστηριότητες

πρόκληση ρύπανσης ή οποιασδήποτε άλλης μεταβολής στο περιβάλλον, η οποία είναι πιθανό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία, στην ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων, στην ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και στις αισθητικές αξίες.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σε ό,τι αφορά τις φυσικές πηγές ρύπανσης, η ίδια η φύση έχει αναπτύξει δια μέσου των αιώνων διάφορους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού που εξισορροπούν τη ρύπανση που προκαλείται απ' αυτές. Αντίθετα, η ρύπανση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι επικίνδυνη, επειδή πολλές φορές οδηγεί τα οικοσυστήματα σε μη αντιστρεπτές καταστάσεις. Οι δραστηριότητες αυτές, που συνεχώς αυξάνονται, έχουν προκαλέσει σημαντικές αλλοιώσεις στο περιβάλλον. Σ' αυτό συντελεί και το γεγονός ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι άνισα κατανομημένες και, κατά κανόνα, συγκεντρώνονται σε περιορισμένους σχετικά χώρους. Αν, μάλιστα, συνεχισθεί η αλλοίωση των οικολογικών συστημάτων, έτσι ώστε να περιορισθεί ο βαθμός αυτορύθμισής τους, τότε θα βρεθεί σε κίνδυνο η σταθερότητα του οικοσυστήματος που ονομάζεται Γη.

Η συνειδητοποίηση αυτού του κινδύνου προκάλεσε και συνεχώς προκαλεί κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογία προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον.

Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν και νέοι επιστημονικοί κλάδοι όπως αυτός της Χημείας Περιβάλλοντος. Ο κλάδος αυτός της Χημείας έχει αναπτυχθεί σημαντικά, έτσι ώστε σήμερα χωρίζεται σε διάφορες ειδικότητες, οι οποίες συνδέονται και με άλλους επιστημονικούς κλάδους. Έτσι έχουμε τον **Έλεγχο της Ρύπανσης του Περιβάλλοντος, την Τεχνολογία του Περιβάλλοντος, τη Χημεία των Οικοσυστημάτων**, κ.ά.

Ειδικότερα, ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος αναφέρεται στη δειγματοληψία και τον προσδιορισμό των ρύπων του περιβάλλοντος, καθώς επίσης στην ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής ρύπων.

Πρόδηλοι είναι οι λόγοι που επιβάλλουν σήμερα την κατάρτιση και το σχεδιασμό προγραμμάτων ελέγχου της ρύπανσης του περιβάλλοντος, τόσο στις πηγές εκπομπής ρύπων, όσο και στους αποδέκτες αυτών. Οι λόγοι αυτοί μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Δυνατότητα της Δημόσιας Διοίκησης για την τήρηση και το σεβασμό της κείμενης Νομοθεσίας, η οποία αναφέρεται στην ποιότητα του πε-

ριβάλλοντος.

- Συλλογή πληροφοριών για την κατάσταση των περιβαλλοντικών συστημάτων (ποταμοί, λίμνες, θάλασσες, ατμόσφαιρα πόλεων, κ.ά.). Οι πληροφορίες αυτές είναι πολύτιμες για την πρόβλεψη της εξέλιξης και την αντιμετώπιση της ρύπανσης.
- Έλεγχος της τήρησης των προδιαγραφών λειτουργίας των συστημάτων αντιρρύπανσης, κ.ά.

1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος πρέπει να είναι πρακτικά εφαρμόσιμος, αναλυτικά άψογος, επιστημονικά έγκυρος και νομικά αδιάβλητος. Αυτό σημαίνει ότι ο περιβαλλοντικός χημικός, πέρα από την εμπειρία στη χημική ανάλυση, πρέπει να έχει και ειδικές γνώσεις για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, το συσχετισμό αυτών με περιβαλλοντικούς παράγοντες και τη σωστή ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής ρύπων.

Ανάλογα με τους στόχους και τους λόγους για τους οποίους γίνεται ο περιβαλλοντικός έλεγχος, ο χημικός επιλέγει και τις αντίστοιχες παραμέτρους, που θα μελετήσει. Στη συνέχεια, καταστρώνει και εκτελεί το πρόγραμμα της δειγματοληψίας. Στη διάρκεια αυτής καταγράφει όλους τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην ερμηνεία και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Ειδικότερα, ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1.2.1. Επιλογή παραμέτρων ελέγχου

Ανάλογα με τους λόγους που επιβάλλουν τον περιβαλλοντικό έλεγχο, επιλέγονται οι παράμετροι που πρόκειται να προσδιορισθούν και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, που θα καταγραφούν. Π.χ. στην οικολογική μελέτη μιας λίμνης επιλέγονται οι παράμετροι: θρεπτικά συστατικά, pH, αγωγιμότητα, χλωροφύλλη-α, κ.ά. Ταυτόχρονα καταγράφεται η θερμοκρασία του νερού, σε διάφορα βάθη, η διεύθυνση του ανέμου, τα ρεύματα, κ.ά. Στον έλεγχο των αποβλήτων μιας βιομηχανικής μονάδας, οι παράμετροι που θα προσδιορισθούν καθορίζονται από την κείμενη νομοθεσία. Στον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας πόλης καταγράφονται σε διάφορα σημεία οι συγκεντρώσεις CO, NO_x, SO₂, υδρογονανθράκων, φωτοχημικών οξειδωτικών (O₃, PAN) και αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ ταυτόχρονα καταγράφονται και οι επικρατούσες μετε-

ωρολογικές συνθήκες.

1.2.2. Δειγματοληψία

Η σημασία της δειγματοληψίας στους περιβαλλοντικούς ελέγχους είναι μεγάλη. Μια χημική ανάλυση, όσο καλή κι αν είναι, μπορεί να αποδειχθεί άχρηστη αν το δείγμα δεν ανταποκρίνεται στην κατάσταση που είναι αντιπροσωπευτική του συγκεκριμένου χώρου και χρόνου της δειγματοληψίας. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε τα κατάλληλα μέτρα για σωστή δειγματοληψία, είτε πρόκειται για ένα μεμονωμένο δείγμα, είτε για σειρές δειγμάτων.

Οι κυριότερες απαιτήσεις, που πρέπει να πληρούνται για μια σωστή δειγματοληψία είναι οι παρακάτω:

- α.** Το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό της πραγματικής κατάστασης του περιβάλλοντος.
- β.** Να μην αλλοιώνεται η σύσταση του δείγματος κατά τη δειγματοληψία.
- γ.** Να επιτρέπεται η διατήρηση του δείγματος για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- δ.** Να μπορεί να επαναλαμβάνεται έτσι ώστε να έχουμε συγκρίσιμα αποτελέσματα.
- ε.** Να είναι απλή και φθηνή.

Τέλος, ανάλογα με τη φύση του δείγματος (π.χ. αέριο, υγρό, βιολογικό κ.ά.) υπάρχουν και επί πλέον ειδικές απαιτήσεις που πρέπει να αντιμετωπίζονται και οι οποίες περιγράφονται στα αντίστοιχα κεφάλαια.

1.2.3. Κατεργασία δειγμάτων

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται κατεργασία των δειγμάτων πριν από το στάδιο των αναλυτικών μετρήσεων. Π.χ. τα δείγματα νερών διηθούνται για να χωριστούν και να συλλεχθούν τα αιωρούμενα στερεά. Επίσης, στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση της ουσίας που θέλουμε να προσδιορίσουμε είναι μικρή, γίνεται προσυγκέντρωση (συμπύκνωση, εκχύλιση, ιονανταλλαγή κ.α.). Το είδος της κατεργασίας καθορίζεται από τη φύση του δείγματος, την ουσία που προσδιορίζουμε και την αναλυτική μέθοδο που χρησιμοποιούμε.

1.2.4. Προσδιορισμός παραμέτρων

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων στα περιβαλλοντικά δείγματα άλ-

λοτε είναι μία απλή και εύκολη, και άλλοτε μια πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία. Π.χ. ο προσδιορισμός της σκληρότητας στα νερά είναι σχετικά απλός. Αντίθετα, ο προσδιορισμός των οξειδωτικών στην ατμόσφαιρα απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και έμπειρους περιβαλλοντικούς χημικούς. Η επιλογή της μεθόδου προσδιορισμού μιας παραμέτρου πραγματοποιείται ανάλογα με τη φύση και τη διαθέσιμη ποσότητα του δείγματος, τη συγκέντρωση της προσδιοριζόμενης ουσίας, την απαιτούμενη ακρίβεια, την ύπαρξη παρεμποδίσεων και, φυσικά, το διαθέσιμο εργαστηριακό εξοπλισμό.

Πολλές φορές η επιλογή της μεθόδου επιβάλλεται από κανονιστικές διατάξεις. Οι μέθοδοι αυτές είναι γνωστές ως **πρότυπες** ή **επίσημες**. Ο προσδιορισμός των κυριότερων παραμέτρων που απαιτούνται για τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος περιγράφεται στα αντίστοιχα κεφάλαια.

1.2.5. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι η τελική και, ίσως, η πιο κρίσιμη φάση του περιβαλλοντικού ελέγχου.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει εκτίμηση των αναλυτικών αποτελεσμάτων σε σχέση με εκείνους από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των προσδιοριζόμενων ρύπων. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με το αντικείμενο του ελέγχου (μετεωρολογικοί, γεωλογικοί, γεωχημικοί, υδρογεωχημικοί κ.ά.)

Η μελέτη της σχέσης μεταξύ των συγκεντρώσεων των ρύπων στο περιβάλλον και των διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την προέλευση των ρύπων και τις φυσικοχημικές διεργασίες, στις οποίες αυτοί υπόκεινται με την είσοδό τους στο περιβάλλον. Έτσι, π.χ. με συνδυασμό των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας με τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στο φλοιό της γης, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη συμμετοχή των φυσικών (σκόνη εδάφους) και των ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης. Επίσης, συνδυάζοντας το ιοντικό περιεχόμενο των υπόγειων νερών με τις σταθερές γινομένου διαλυτότητας του ασβεστίτη και του δολομίτη μπορούμε να διαπιστώσουμε αν τα νερά είναι κορεσμένα σε σχέση με αυτά τα πετρώματα, ή όχι.

Εκτός, όμως, από τη μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει και τη στατιστική επεξεργασία των αναλυτικών δεδομένων. Με την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων στατιστικής μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπερά-

σματα σχετικά με την κατανομή των ρύπων στο περιβάλλον, την ταυτοποίηση και την ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής τους, κ.ά. Έτσι, π.χ. υψηλός συντελεστής συσχέτισης Pb και Br στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας σημαίνει προέλευση του Pb από εκπομπές οχημάτων, ενώ υψηλός συντελεστής συσχέτισης Pb με Zn και Cu δηλώνει πιθανή εκπομπή από αποτέφρωση απορριμμάτων.

Οι στρατηγικές ελέγχου της ρύπανσης του περιβάλλοντος στηρίζονται στο χαρακτηρισμό (προσδιορισμό) των ρύπων που εκπέμπονται στο περιβάλλον καθώς επίσης, στην τακτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών ρύπανσης. Η σχέση ανάμεσα στις πηγές εκπομπής και τις συγκεντρώσεις ρύπων στο περιβάλλον είναι δύσκολο να διευκρινισθεί επειδή αριθμός των μεμονωμένων πηγών είναι, συχνά, μεγάλος, οι πηγές ρύπανσης και το ρυπαντικό τους φορτίο είναι ελάχιστα γνωστό, οι φυσικοχημικοί μετασχηματισμοί των ρύπων στο περιβάλλον δεν έχουν ακόμη κατανοηθεί πλήρως, και οι επιδράσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών δεν είναι εντελώς ποσοτικοποιήσιμες.

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η ανάγκη χρησιμοποίησης μαθηματικών μοντέλων για την ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών ρύπανσης. Τα μοντέλα αυτά (π.χ. μοντέλα διασποράς, μοντέλα αποδέκτη, κ.ά.) αποτελούν, επιπλέον, σημαντικό ερευνητικό εργαλείο για τη μελέτη της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που εξάγονται από τη μέτρηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς και οι μέθοδοι ταυτοποίησης και ποσοστοποίησης των πηγών ρύπανσης θα αποτελέσουν το περιεχόμενο νέου μαθήματος, του Προχωρημένου Ελέγχου Ρύπανσης του Περιβάλλοντος.

2

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΡΥΠΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ - ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

2.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Η δειγματοληψία από την ατμόσφαιρα περιλαμβάνει τη συλλογή ατμοσφαιρικών ρύπων ή ατμοσφαιρικού αέρα από μία περιοχή. Ο σκοπός μίας τέτοιας δειγματοληψίας μπορεί να είναι:

- α) Παρακολούθηση (monitoring) της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μίας περιοχής και προσδιορισμός της ποιότητας της ατμόσφαιρας, ιδιαίτερα των κατοικημένων περιοχών.
- β) Προσδιορισμός της επίδρασης διαφόρων πηγών εκπομπής στην ποιότητα της ατμόσφαιρας μίας περιοχής: διάκριση φυσικών και ανθρωπογενών πηγών, ταυτοποίηση και ποσοστοποίηση των πηγών εκπομπής.
- γ) Μελέτη των μηχανισμών αντίδρασης, σχηματισμού και διασποράς των ρύπων στην ατμόσφαιρα.
- δ) Συλλογή στοιχείων για χρήση στην επιλογή των κατάλληλων μέτρων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μίας περιοχής.

Ο σκοπός της δειγματοληψίας αποτελεί τη βάση για το σχεδιασμό της, δηλαδή την επιλογή της θέσης, της διάρκειας και της συχνότητάς της.

Βασικός στόχος κάθε δειγματοληψίας είναι η συλλογή **αντιπροσωπευτικού δείγματος**. Κανένα αναλυτικό αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από την ακρίβεια και την ευαισθησία της μεθόδου που εφαρμόζεται, δεν μπορεί να είναι χρήσιμο αν το δείγμα που υπόκειται σε ανάλυση δεν είναι αντιπροσωπευτικό. Στον έλεγχο της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, ο στόχος αυτός δεν είναι πάντοτε εφικτός. Κι αυτό, επειδή η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος είναι συνάρτηση τόσο της μορφής των συλλεγόμενων

μενων ρύπων, όσο και της επίδρασης διαφόρων παραγόντων που μπορούν να αλλοιώσουν τη σύστασή του.

Γενικά, η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα σ' ένα συγκεκριμένο σημείο εξαρτάται από τις υπάρχουσες πηγές εκπομπής ρύπων, τη συγκέντρωση και το χρόνο παραμονής των ρύπων στην ατμόσφαιρα, τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, την παρουσία εμποδίων (π.χ. κτίρια, δένδρα) που δημιουργούν τυρβώδη ροή του αέρα κ.ά.

Στη συνέχεια εξετάζονται οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στη δειγματοληψία από την ατμόσφαιρα.

2.1.1. Μετεωρολογικοί παράγοντες

Τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς οι επιδράσεις από τις ετήσιες ή εποχιακές διακυμάνσεις των μετεωρολογικών συνθηκών υπερκαλύπτουν τις επιδράσεις από τις αντίστοιχες διακυμάνσεις των εκπομπών.

Οι μετεωρολογικές παράμετροι που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι η άπνοια και η θερμοκρασιακή αναστροφή, η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου, και η βροχή. Σε μικρότερο βαθμό επιδρούν η θερμοκρασία, η υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία.

Η καταγραφή των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στη διάρκεια της δειγματοληψίας είναι απαραίτητη για τη σωστή εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Σήμερα, οι σύγχρονοι σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι εξοπλισμένοι με αυτόματα όργανα μέτρησης των βασικότερων μετεωρολογικών παραμέτρων.

2.1.2. Τοπογραφικοί παράγοντες

Οι τοπογραφικοί παράγοντες, σε συνδυασμό με το σκοπό της δειγματοληψίας και την παρουσία τοπικών πηγών εκπομπής, αποτελούν τα βασικά κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης θέσης δειγματοληψίας. Σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός της δειγματοληψίας, πρέπει να πληρείται μια βασική προϋπόθεση: **η συσκευή δειγματοληψίας να θεωρείται ως ο φυσικός αποδέκτης των ρύπων**. Παρόλο που δεν έχουν καθορισθεί πρότυπες διαδικασίες για την επιλογή της θέσης δειγματοληψίας, υπάρχουν ορισμένοι γενικοί κανόνες, όπως:

α) Η δειγματοληψία από την ατμόσφαιρα πρέπει να γίνεται σε ύψος του-

λάχιστον 2 μέτρων από το έδαφος. Το μέγιστο ύψος καθορίζεται από το σκοπό της δειγματοληψίας (π.χ. μελέτη της κατακόρυφης κατανομής ρύπων στην ατμόσφαιρα), αλλά θα πρέπει να διατηρείται σταθερό, προκειμένου για δίκτυο σταθμών δειγματοληψίας.

- β) Η θέση της δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι κοντά σε μεγάλες κατασκευές, π.χ. ψηλά κτίρια. Γενικά, η κορυφή των γύρω κατασκευών δεν πρέπει να σχηματίζει γωνία μεγαλύτερη των 30° με το σημείο αναρρόφησης του δείγματος.
- γ) Το σημείο αναρρόφησης δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένο σε τοπικές πηγές εκπομπής (π.χ. καμινάδες).
- δ) Η θέση της δειγματοληψίας πρέπει να είναι προστατευμένη από τις καιρικές συνθήκες, ενδεχόμενες φθορές και να διαθέτει απρόσκοπτη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Μέσα στο πλαίσιο αυτών των γενικών κανόνων είναι δυνατή μία ευρεία επιλογή θέσεων δειγματοληψίας.

2.1.3. Διάρκεια - συχνότητα δειγματοληψίας

Η διάρκεια και η συχνότητα μίας δειγματοληψίας, δηλαδή πόσο χρόνο διαρκεί και πόσο συχνά επαναλαμβάνεται, καθορίζεται κυρίως με βάση το σκοπό της μελέτης που διεξάγεται, τη φύση των ρύπων που εξετάζονται, τις πηγές εκπομπής τους και τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα.

Σε ό,τι αφορά στη διάρκεια της δειγματοληψίας, αυτή μπορεί να κυμαίνεται από μερικά λεπτά μέχρι και 48 ώρες, ανάλογα με τη συγκέντρωση των ρύπων στην ατμόσφαιρα και τη χημική τους σταθερότητα. Η ποικιλία αυτή οφείλεται κατά ένα μέρος στη φύση των επιδράσεων που εμφανίζει κάποιος ρύπος στον αποδέκτη του. Για παράδειγμα, οι βλαβερές επιδράσεις του διοξειδίου του αζώτου στους οργανισμούς εκδηλώνονται μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την έκθεσή τους, γι' αυτό απαιτείται δειγματοληψία μικρής διάρκειας και μεγάλης συχνότητας. Αντίθετα, η μέση ετήσια συγκέντρωση μολύβδου στην ατμόσφαιρα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες, καθώς οι επιδράσεις του μολύβδου στους ζώντες οργανισμούς είναι συσσωρευτικές και μακροπρόθεσμες.

Ο καθορισμός της συχνότητας και της διάρκειας μίας δειγματοληψίας πρέπει να γίνεται προσεκτικά, ώστε να παρακολουθούνται όσο το δυνατόν πιστότερα οι πραγματικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να είναι ωριαίες (εκπομπές από την κυκλοφορία), ημερήσιες, (βιομηχανικές εκπομπές) ή εποχιακές (οικιακή θέρμανση). Στο Σχήμα 2.1 φαίνονται τρεις διαφορετι-

κές επιλογές διάρκειας και συχνότητας δειγματοληψίας σε σχέση με τη διακύμανση της συγκέντρωσης ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα.

Προκειμένου να γίνει σύγκριση με τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας (όρια), η διάρκεια και η συχνότητα της δειγματοληψίας επιβάλλεται από κανονιστικές διατάξεις. Στις διατάξεις αυτές η διάρκεια της δειγματοληψίας ποικίλει από ρύπο σε ρύπο (π.χ. όρια ωριαίας, 8ωρης ή 24ωρης βάσης). Για την εκτίμηση του βαθμού στον οποίο ένα πρόγραμμα δειγματοληψιών ανταποκρίνεται στις πραγματικές διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, έχουν αναπτυχθεί ειδικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος (μοντέλο) Saltzman. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, αν οι πραγματικές περιοδικές διακυμάνσεις της συγκέντρωσης ενός ρύπου διαρκούν λιγότερο από την περίοδο της δειγματοληψίας, τότε αυτές σχεδόν εξαλείφονται. Αντίθετα, αν ο περιοδικός κύκλος των διακυμάνσεων είναι περίπου 5.5 φορές μεγαλύτερος από την περίοδο της δειγματοληψίας, τότε παρατηρείται το 90% της πραγματικής διακύμανσης της συγκέντρωσης.

2.1.4. Μορφή των ρύπων της ατμόσφαιρας

Η μορφή με την οποία βρίσκονται οι ρύποι στην ατμόσφαιρα καθορίζει και τη μέθοδο δειγματοληψίας. Γενικά, διακρίνουμε δύο κατηγορίες ρύπων ανάλογα με τη μορφή τους, τους αέριους ρύπους (αέρια, ατμοί) και τους σωματιδιακούς (στερεά ή υγρά σωματίδια σε διασπορά στην αέρια φάση).

Η δειγματοληψία **αερίων** από την ατμόσφαιρα απαιτεί μεγάλη προσοχή για αποφυγή της αλλοίωσης της σύστασης του δείγματος. Αν και τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας δεν υπόκεινται στην επίδραση δυνάμεων αδράνειας ή ηλεκτροστατικών δυνάμεων όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις κατά τη δειγματοληψία:

- Η δειγματοληψία των αέριων ρύπων πρέπει να γίνεται από μία καλά αναμιγμένη αέρια μάζα, μέσα στην οποία ο αέριος ρύπος θα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος.
- Τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας βρίσκονται συχνά σε υψηλή ενεργειακή κατάσταση και μπορούν να αντιδράσουν με άλλα συστατικά του δείγματος ή με τα υλικά των συστημάτων δειγματοληψίας (Κεφ. 2.1.5.).
- Σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητη μία προκατεργασία του δείγματος πριν τη συλλογή, π.χ. διήθηση για απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων, κατακράτηση της υγρασίας κ.ά., που μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση της σύστασής του.

Οι **σωματιδιακοί ρύποι** (aerosol) αποτελούνται από διάκριτα σωματίδια μάζας και ως εκ τούτου υπόκεινται στην επίδραση δυνάμεων αδράνειας. Γι' αυτό και η συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος αεροζόλ απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Αυτό φαίνεται παρακάτω στο παράδειγμα του Σχήματος 2.2.

Έστω αέρια μάζα, η οποία κινείται ομοιόμορφα και οριζόντια. Η μάζα αυτή παριστάνεται με τις ρευστοδυναμικές γραμμές του Σχήματος 2.2.α. Αν στην αέρια μάζα εισαχθεί το άκρο της συσκευής δειγματοληψίας χωρίς να αναρροφάται δείγμα, τότε οι ρευστοδυναμικές γραμμές παρακάμπτουν το εμπόδιο, όπως στο Σχήμα 2.2.β. Αν αρχίσει η αναρρόφηση του δείγματος (με τη βοήθεια μίας αντλίας κενού), τότε ένα μέρος της αέριας μάζας θα εισέλθει στο σωλήνα δειγματοληψίας (Σχήμα 2.2.γ.). Με αύξηση της ταχύτητας αναρρόφησης μπορεί να επιτευχθεί εξίσωση της γραμμικής ταχύτητας εισόδου του δείγματος στη συσκευή και της γραμμικής ταχύτητας κίνησης της αέριας μάζας. Στην περίπτωση αυτή έχουμε **ισοκινητική δειγματοληψία** (Σχήμα 2.2.δ.). Επιπλέον αύξηση της ταχύτητας αναρρόφησης θα έχει πάλι ως αποτέλεσμα τη διατάραξη των ρευστοδυναμικών γραμμών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.ε. Οι διαφορές συνθήκες δειγματοληψίας που διαταράσσουν τη μορφή των ρευστοδυναμικών γραμμών δεν παρεμποδίζουν τη συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος όταν συλλέγονται μόνον αέρια συστατικά με την προϋπόθεση, φυσικά, ότι αυτά είναι πλήρως αναμιγμένα με την αέρια μάζα.

Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση δειγματοληψίας αεροζόλ από την ατμόσφαιρα. Κι αυτό, επειδή τα αεροζόλ, ως διάκριτα σωματίδια μάζας, έχουν αδράνεια που η διεύθυνσή της συμπίπτει με τη διεύθυνση της ταχύτητάς τους. Έτσι, τα σωματίδια που ταξιδεύουν μέσα στην ομοιόμορφη αέρια μάζα (Σχήμα 2.2.ζ.) έχουν αδράνεια παράλληλη με τις ρευστοδυναμικές γραμμές. Αν, όπως στην περίπτωση 2.2.η και 2.2.θ, οι γραμμές εξαναγκασθούν να αλλάξουν πορεία, οι δυνάμεις συνοχής των μορίων της αέριας μάζας δεν θα είναι ικανές να παρασύρουν και τα σωματίδια σ'αυτή την αλλαγή. Τα σωματίδια, εξαιτίας της αδράνειας, θα συνεχίσουν την κίνησή τους μέσα στο σωλήνα δειγματοληψίας. Το αποτέλεσμα θα είναι η συλλογή μεγαλύτερης ποσότητας σωματιδίων ανά μονάδα όγκου αερίου δείγματος, δηλαδή συλλογή μη αντιπροσωπευτικού δείγματος. Μόνον όταν η ταχύτητα εισόδου της αέριας μάζας μέσα στο σωλήνα δειγματοληψίας γίνει ίση με την ταχύτητα κίνησής της έξω απ' αυτόν (ισοκινητική δειγματοληψία, Σχήμα 2.2.η.), συλλέγουμε τη σωστή αναλογία σωματιδίων ανά μονάδα όγκου δείγματος. Τότε, το δείγμα είναι **αντιπροσωπευτικό**. Αν η ταχύτητα αναρρόφησης αυξηθεί πέρα από τις ισοκινητικές συνθήκες (Σχήμα 2.2.κ.), η αδράνεια των σωματιδίων θα έχει πάλι ως αποτέλεσμα μη αντιπροσωπευτική δειγματοληψία, εφόσον θα

συλλέγεται μικρότερη ποσότητα σωματιδίων ανά μονάδα όγκου αερίου δείγματος.

Από το παραπάνω παράδειγμα φαίνεται καθαρά πως απαραίτητη προϋπόθεση για τη συλλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος αεροζόλ είναι η ισοκινητική δειγματοληψία, κάτι που δεν είναι απαραίτητο στην περίπτωση των αερίων ρύπων.

Η αδράνεια των σωματιδίων μπορεί, επίσης να προκαλέσει σφάλματα δειγματοληψίας αν ο σωλήνας αναρρόφησης του δείγματος δεν είναι κατάλληλα ευθυγραμμισμένος με τη διεύθυνση κίνησης της αέριας μάζας (Σχήμα 2.3). Γι' αυτό τα περισσότερα συστήματα δειγματοληψίας έχουν οριζόντια επιφάνεια συλλογής σωματιδίων και όχι κατακόρυφη.

Σχήμα 2.3. Επίδραση της ευθυγράμμισης του σωλήνα δειγματοληψίας με τη διεύθυνση κίνησης της αέριας μάζας στη δειγματοληψία σταγονιδίων φθαλικού διαιθυλαιθέρα διαμέτρου 4.12 και 37 μm .

Σε συνθήκες μη ισοκινητικής δειγματοληψίας η βαρύτητα και η επίδραση του ανέμου μπορεί να προκαλέσει παρεμπόδιση στην ποσοτική συλλογή σωματιδίων από την ατμόσφαιρα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4, η συλλογή αεροζόλ από την ατμόσφαιρα ελαττώνεται όσο αυξάνει το μέγεθος των σωματιδίων και η ταχύτητα του ανέμου.

Η επίδραση της βαρύτητας των σωματιδίων περιγράφεται από τη σχέση

$$C_c = \left(1 + \frac{U_s}{U_c}\right) C_a,$$

όταν η επιφάνεια συλλογής είναι στραμμένη προς τα επάνω και από τη σχέση

Σχήμα 2.4. Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στη δειγματοληψία σωματιδίων από την ατμόσφαιρα. (Δειγματολήπτες Sierra και Standard Hi-Vol).

$$C_c = \left(1 - \frac{u_s}{u_c}\right) C_a,$$

όταν η επιφάνεια συλλογής είναι στραμμένη προς τα κάτω,

όπου C_c = συγκέντρωση σωματιδίων στο δείγμα
 u_s = ταχύτητα κατακάθισης των σωματιδίων
 u_c = ταχύτητα δειγματοληψίας
 C_a = συγκέντρωση των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

2.1.5. Συσκευές δειγματοληψίας

Οι συσκευές δειγματοληψίας μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση της σύστασης του συλλεγόμενου ατμοσφαιρικού δείγματος. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως:

- α)** Χρησιμοποίηση ακατάλληλων υλικών για την κατασκευή τους. Τα μέρη των συσκευών δειγματοληψίας που έρχονται σε επαφή με το δείγμα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ειδικά υλικά, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από τη φύση του συλλεγόμενου ρύπου. Κριτήρια επιλογής των υλικών είναι οι προσροφητικές τους ιδιότητες και οι επιφανειακές προσμίξεις.

Είναι γνωστό ότι η ύαλος παρουσιάζει μεγάλη συγγένεια με συστατικά όπως το νερό, το διοξείδιο του αζώτου, το βενζόλιο, η ανιλίνη κ.ά.

Το διοξείδιο του αζώτου, ειδικά, προσροφάται τόσο ισχυρά στο βοριο-πυριτικό γυαλί, ώστε απομακρύνεται μόνον με έκπλυση με αντιδραστήριο Saltzman.

Η διάχυση αερίων συστατικών στα πλαστικά είναι ένα από τα σημαντικότερα σφάλματα στη δειγματοληψία από την ατμόσφαιρα. Τα ελαστομερή υλικά (περιλαμβανομένου και του φυσικού καουτσούκ), το νεοπρένιο και το P.V.C. παρουσιάζουν έντονο αυτό το φαινόμενο. Αντίθετα, οι απώλειες αερίων συστατικών λόγω διάχυσης σε αδρανή πλαστικά, όπως το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (Teflon), το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο, είναι αμελητέες.

- 6) Συμπύκνωση ατμοσφαιρικής υγρασίας μέσα στη συσκευή δειγματοληψίας. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει δραστικές συνθήκες για ορισμένα αέρια συστατικά ή απομάκρυνσή τους από το δείγμα λόγω διάλυσης στην υγρή φάση. Τα αεροζόλ, επίσης, μπορούν να είναι υγροσκοπικά και να προσροφούν υδρατμούς.
- γ) Διαρροές αερίων συστατικών του δείγματος ή κατακάθιση αιωρούμενων σωματιδίων στα τοιχώματα των σωλήνων αναρρόφησης, ιδιαίτερα σε σημεία όπου υπάρχουν γωνίες. Στο Σχήμα 2.5. φαίνεται πώς

Σχήμα 2.5. Διαφοροποίηση της κατανομής των σωματιδίων στο δείγμα εξαιτίας της καμπής του σωλήνα δειγματοληψίας.

A. Αρχική κατανομή σωματιδίων (α. μικρά, β. μεγάλα),

B. Τελική κατανομή σωματιδίων, (α. μικρά, β. μεγάλα, γ. μεσαίου μεγέθους).

μεταβάλλεται η κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων σ' ένα δείγμα, εξαιτίας της καμψής που σχηματίζει ο σωλήνας δειγματοληψίας.

- δ) Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας. Η έκθεση της συσκευής δειγματοληψίας στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει την έναρξη φωτοχημικών αντιδράσεων, καθώς πολλοί αέριοι ρύποι είναι φωτοχημικά δραστικοί.
- ε) Επανασυλλογή, δηλαδή αναρρόφηση δείγματος που ήδη έχει περάσει από το σύστημα δειγματοληψίας. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με χρησιμοποίηση μεγάλου μήκους σωλήνων εξάτμισης, οι οποίοι εκβάλλουν μακριά από το σημείο αναρρόφησης του δείγματος.

2.2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟ ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Η δειγματοληψία από πηγές εκπομπής περιλαμβάνει τη συλλογή ατμοσφαιρικών ρύπων πριν από την εκπομπή και την αραίωσή τους στην ατμόσφαιρα. Οι πηγές εκπομπής συνήθως χωρίζονται σε σταθερές (καμινάδες εργοστασίων, καπνοδόχοι κατοικιών) και κινητές (εξατμίσεις βενζινοκίνητων-πετρελαιοκίνητων οχημάτων και αεροσκαφών).

Οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους γίνεται δειγματοληψία σε πηγές εκπομπής είναι:

- α) Προσδιορισμός του ρυπαντικού φορτίου που εκπέμπεται από μία ορισμένη πηγή, και έλεγχος της τήρησης των ορίων εκπομπής.
- β) Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων αντιρρύπανσης.
- γ) Συλλογή στοιχείων σχετικά με τις εκπομπές διαφόρων πηγών, για χρήση στη λήψη μέτρων για τη διασφάλιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

2.2.1. Δειγματοληψία από σταθερές πηγές εκπομπής

Η δειγματοληψία από σταθερές πηγές εκπομπής απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, ο οποίος πρέπει να βασίζεται στη γνώση της παραγωγικής διαδικασίας, κατά την οποία θα γίνει η δειγματοληψία, και των επιπτώσεων της στους εκπεμπόμενους ρύπους.

Βασικός στόχος της δειγματοληψίας σε μία σταθερή πηγή εκπομπής είναι: η σύσταση του δείγματος να ανταποκρίνεται στην πραγματική συγκέντρωση του ρύπου στα αερολύματα, σ' ένα ορισμένο σημείο της καμινάδας και για ορισμένη χρονική στιγμή. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, συνήθως, συλλέγονται δείγματα **σύνθετα** (από το ίδιο σημείο, αλλά

σε διαφορετικές χρονικές στιγμές) ή **ολοκληρωμένα** (την ίδια χρονική στιγμή, αλλά από διαφορετικά σημεία της καμινάδας).

Τα σφάλματα που προκύπτουν συνήθως οφείλονται σε μη σωστή επιλογή της περιόδου δειγματοληψίας (περίοδοι μέγιστης εκπομπής ρύπων), σε μη ικανοποιητικό αριθμό δειγμάτων ή ακόμη σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και αλλαγές της σύστασης των αερολυμάτων, που δεν λαμβάνονται υπόψη. Γι' αυτό η δειγματοληψία από μία καμινάδα πρέπει να συνοδεύεται και από μετρήσεις ορισμένων βασικών φυσικών παραμέτρων, όπως της υγρασίας, της θερμοκρασίας, της πίεσης και της ταχύτητας εξόδου των αερολυμάτων, καθώς επίσης και ανάλυση της σύστασης των αερολυμάτων σε συσκευή Orsat (O₂, CO₂, H₂, κ.ά.).

Η επιλογή του ιδανικού σημείου δειγματοληψίας είναι δύσκολη και απαιτεί ασφάλεια για το προσωπικό που θα κάνει τη δειγματοληψία, πρόσβαση στο εσωτερικό της καμινάδας από κατάλληλο άνοιγμα, παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τη λειτουργία των συσκευών, και αποφυγή διαταραχής της ροής των αερολυμάτων.

Σχετικά με τη διαταραχή της ροής των αερολυμάτων, έχουν καθιερωθεί ορισμένα κριτήρια. Σύμφωνα με αυτά, μία διατομή κατακόρυφης καμινάδας θεωρείται καλή για δειγματοληψία όταν απέχει οκτώ ισοδύναμες διαμέτρους κατάντι και δύο ισοδύναμες διαμέτρους ανάντι μίας διαταραχής ροής, η οποία μπορεί να προκαλείται από μία γωνία, είσοδο ή έξοδο (Σχήμα 2.5.). Σημειώνεται ότι η ισοδύναμη διάμετρος καμινάδας εκφράζεται από το λόγο $4 \times \frac{\text{εμβαδόν διατομής}}{\text{περίμετρος διατομής}}$ και είναι ίση με την πραγμα-

τική διάμετρο, προκειμένου για κυκλική καμινάδα.

Η κατανομή των σημείων δειγματοληψίας επάνω σ' αυτήν την ιδανική διατομή γίνεται με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Δηλαδή, σε μία καμινάδα κυκλικής διατομής, τα σημεία δειγματοληψίας τοποθετούνται στο κέντρο κυκλικών τομέων ίσου εμβαδού, ενώ σε μία καμινάδα ορθογωνίας διατομής, στα κέντρα τουλάχιστον 9 ορθογωνίων ίσου εμβαδού.

Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει διατομή καμινάδας που να εκπληρώνει τις παραπάνω προϋποθέσεις, η δειγματοληψία μπορεί να γίνει από άλλες θέσεις, με αυξανόμενο αριθμό σημείων δειγματοληψίας, όσο η θέση απομακρύνεται από την ιδανική (Σχήμα 2.6.). Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού δειγμάτων που πρέπει να ληφθούν από διάφορα σημεία μίας καμινάδας, η δειγματοληψία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Γι' αυτό, συχνά η ακρίβεια θυσιάζεται για χάρη της εξοικονόμησης χρόνου και απασχολούμενου προσωπικού.