

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

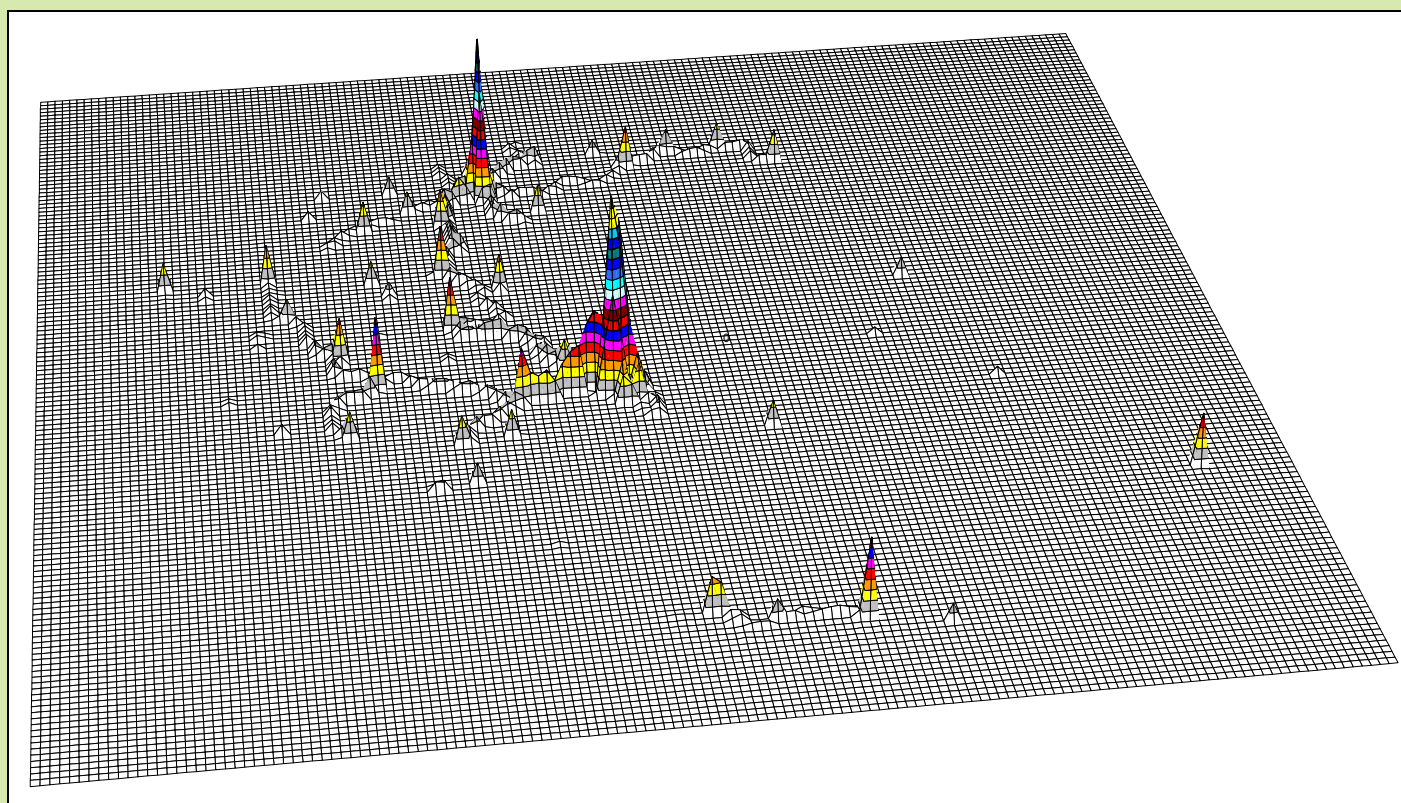
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Εκπαιδευτικό Βοήθημα

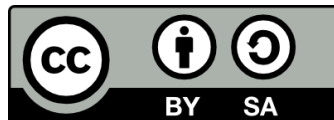


Γιώργος Τσιλιγκιρίδης
Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός
Αναπληρωτής καθηγητής

Θεσσαλονίκη
2015

Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

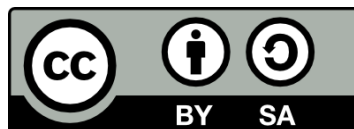


Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τσιλιγκιρίδης Γεώργιος. «Πηγές Ρύπανσης». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS284/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ	1
1.1. Η ΡΥΠΑΝΣΗ, ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ	2
1.2. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	3
1.3. ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	6
1.4. ΚΥΡΙΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ	10
1.5. ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	11
2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	13
2.1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	14
2.2. ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ	21
2.3. ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ	22
2.4. ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ	24
3. ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	27
3.1. ΓΕΝΙΚΑ	27
3.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ SO ₂ ΚΑΙ CO ₂	27
3.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	28
3.4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΥΣΗΣ	29
3.5. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΚΙΝΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΥΣΗΣ	30
3.6. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΑΛΛΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	32
3.7. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ	33
3.8. ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ ΒΕΝΖΙΝΗΣ (Διανομή, Μεταφορά και Αποθήκευση)	34
3.9. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΕ ΧΩΡΟΥΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ – ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	36
3.10. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΝΜΝΟC ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΛΥΤΩΝ	38
3.11. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	42
3.12. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	43
3.13. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΔΑΣΗ	45
4. ΑΠΟΓΡΑΦΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	49
4.1. ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	49
4.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ	54
4.3. ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΠΛΕΓΜΑ/ΚΑΝΑΒΟ	65
4.4. ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ	75

Κεφάλαιο 1^ο – Περιβάλλον και Άνθρωπος

Η ζωή εμφανίζεται και αναπτύσσεται στην επιφάνεια της γης (στερεό έδαφος, επιφανειακά στρώματα των υδάτινων μαζών), αλλά και πάνω (αέρας) και κάτω από αυτήν (υπέδαφος, βαθύτερα στρώματα των υδάτινων μαζών). Το σύνολο του χώρου αυτού στον οποίο εμφανίζεται και αναπτύσσεται η ζωή, ανεξάρτητα από τη μορφή της, αποτελεί τη βιόσφαιρα. Πέραν των ορίων της βιόσφαιρας εκτείνονται περιοχές στις οποίες δεν αναπτύσσεται ζωή, τουλάχιστον με τη συμβατική έννοια του όρου, δηλαδή οργανισμοί, φυτά αλλά και μικροοργανισμοί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων περιοχών αποτελούν το διάστημα και τα βαθύτερα στρώματα του στερεού φλοιού της γης και των ωκεανών. Το σύνολο των περιοχών αυτών, μαζί φυσικά με τη βιόσφαιρα, αποτελούν το (φυσικό) περιβάλλον. Με βάση τα παραπάνω μπορεί επομένως να δοθεί ο ορισμός της έννοιας περιβάλλον: Περιβάλλον είναι η βιόσφαιρα και όλοι οι χώροι που την περιβάλλουν, ανεξάρτητα από την απόστασή τους από τα όρια της βιόσφαιρας.

Με την πάροδο των αιώνων έχει δημιουργηθεί στη γη μια ισορροπία ανάμεσα στο περιβάλλον και τους ζωντανούς οργανισμούς. Η ισορροπία αυτή παραμένει αδιατάραχη, όταν οι διάφορες εξωτερικές επιδράσεις σ' αυτήν βρίσκονται μέσα στα όρια των φυσικών διακυμάνσεων. Περιβάλλον, λοιπόν, και ζωή είναι δυο έννοιες απόλυτα συνυφασμένες που, όταν συνδυάζονται αρμονικά επιτρέπουν στον άνθρωπο να ζει ομαλά, τόσο από φυσικής πλευράς, όσο και από ψυχικής.

Ο άνθρωπος στην πορεία της εξέλιξής του και στον αγώνα για επιβίωση και για ένα καλύτερο μέλλον, κατόρθωσε να παράγει γνώσεις και να δημιουργεί συνεχώς νέες συνθήκες ανάπτυξης. Ανάμεσα στους σημαντικούς σταθμούς ανάπτυξης του ανθρωπίνου γένους, ιδιαίτερη θέση κατέχει η βιομηχανική ανάπτυξη, η οποία δημιούργησε τις προϋποθέσεις για μια βαθιά αλλαγή στις συνθήκες διαβίωσης των ανθρώπων. Σκοποί και επιδιώξεις, όπως η αύξηση των γνώσεων, η υπερνίκηση των δυσχερειών που εμποδίζουν την ανάπτυξη δημιουργικών δυνάμεων και κυρίως ο περιορισμός της εξάρτησης του ανθρώπου από τη φύση επιτεύχθηκαν με την επιστημονική σκέψη και άρχισαν να ολοκληρώνονται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της βιομηχανίας. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι η περίοδος που άρχισε η βιομηχανική ανάπτυξη χαρακτηρίστηκε ως Βιομηχανική Επανάσταση.

Η επιτυχία όμως της βιομηχανικής ανάπτυξης άρχισε σιγά-σιγά να επιφέρει και πολλά αρνητικά φαινόμενα, τα περισσότερα από τα οποία αναφέρονται στο περιβάλλον. Έτσι, επιδράσεις και μεταβολές στις οικολογικές ισορροπίες που ξεπέρασαν τα όρια των φυσικών διακυμάνσεων προκάλεσαν και προκαλούν σημαντικές διαταραχές στα διάφορα οικοσυστήματα. Αυτό έγινε αντιληπτό όταν ποτάμια και λίμνες νεκρώθηκαν, όταν δηλητηριώδη νέφη σκέπασαν μεγαλουπόλεις και όταν δάση και μεγάλες θαλάσσιες περιοχές γέμισαν από νεκρά πουλιά και ψάρια. Παράλληλα άρχισε να διαφαίνεται και ο κίνδυνος από την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος και την ταυτόχρονη εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η αντίληψη για το μέγεθος της ρύπανσης προκάλεσε και προκαλεί διάφορες κινητοποιήσεις. Οι άνθρωποι αντιλήφθηκαν τους επερχόμενους κινδύνους και άρχισαν να παίρνονται τα πρώτα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό διαπιστώνεται και από τις νέες νομοθεσίες που εισάγονται στα διάφορα κράτη και που αναφέρονται στην προστασία του περιβάλλοντος. Έτσι π.χ. στο Ελληνικό Σύνταγμα του 1975 (άρθρο 24) αναφέρεται, για πρώτη φορά, ότι: «η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του κράτους».

Η **ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ** χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη παθογόνων οργανισμών ή δεικτών που υποδηλώνουν έμμεσα τη δυνατότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών ή χημικών ουσιών σε στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο προξενώντας του νοσογόνες καταστάσεις.

Η **ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ** είναι η ενεργειακή και σωματιδιακή επιβάρυνση του περιβάλλοντος που εκφράζεται ή γίνεται αντιληπτή σαν υποβάθμιση της βιόσφαιρας και υπολογίζεται ποιοτικά και ποσοτικά με τις επιπτώσεις και τα συμπτώματα που παρατηρούνται:

- στη χλωρίδα
- την πανίδα
- τον αέρα
- το έδαφος
- τα νερά
- τον άνθρωπο

Η σωματιδιακή επιβάρυνση αφορά την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ουσίες. Η ενεργειακή επιβάρυνση σχετίζεται με εκπομπές θορύβων, ακτινοβολιών, θερμότητας, κτλ. Κάθε ανθρώπινη ή φυσική δραστηριότητα προκαλεί εκπομπές ύλης και ενέργειας. Όμως, σαν ρύπανση χαρακτηρίζεται η συγκεκριμένη ποσότητα και η ποιοτική σύσταση των εκπομπών που τα επίπεδά τους δε μπορούν να γίνουν αποδεκτά από το περιβάλλον χωρίς ζημιογόνες επιπτώσεις.

Η παρατήρηση και αξιολόγηση του περιβάλλοντος μπορεί να μας οδηγήσει στις παρακάτω δυο διαφορετικές αντιλήψεις:

Σύμφωνα με την πρώτη, την ανθρωποκεντρική, το περιβάλλον είναι χρήσιμο για τον άνθρωπο και συνεπώς πρέπει να προστατευτεί. Δηλαδή, η αναγκαιότητα προστασίας του περιβάλλοντος, βασίζεται στην ωφελιμότητα που θα έχει από αυτό ο άνθρωπος. Σύμφωνα με τη δεύτερη, την οικολογική, το περιβάλλον είναι ένα αξιόλογο αγαθό και, ανεξάρτητα από τη σημασία του για τον άνθρωπο, θα πρέπει αυτό καθ' εαυτό να προστατευτεί.

Ένα από τα απλά, αλλά ουσιαστικά συμπεράσματα της οικολογικής αντίληψης είναι και η εκ των προτέρων πρόβλεψη και αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στην κατεύθυνση αυτή οδηγεί άλλωστε και: α) η καθιέρωση από πολλά κράτη Εκθέσεων Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων προκειμένου να επιτραπεί η εκτέλεση μεγάλων έργων, β) η δημιουργία ζωνών ανάπτυξης, γ) η χωροθέτηση βιομηχανικών περιοχών κ.ά. Σε κάθε περίπτωση η ισορροπία ανάμεσα στα περιβαλλοντικά και ωφελιμιστικά κριτήρια των διαφόρων επιλογών πρέπει να τείνει προς τα πρώτα. Διαφορετικά η λογική μόνο των αριθμών και των επιτρεπτών ορίων δημιουργεί τελικά τις προϋποθέσεις για νόμιμη ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

1.1. Η ρύπανση, τα αίτια και οι επιπτώσεις της

Κάθε πρόσθετη ουσία, πάνω από μια ορισμένη περιεκτικότητα στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος ή στα τρόφιμα που απειλεί την υγεία των ανθρώπων και των έμβιων οργανισμών ονομάζεται ρύπος και η διαδικασία ονομάζεται ρύπανση. Οι περισσότεροι ρύποι είναι στερεά, υγρά ή αέρια υποπροϊόντα ή απόβλητα που παράγονται, όταν ένας πόρος εξορύσσεται, δέχεται επεξεργασία, μετατρέπεται σε προϊόντα ή χρησιμοποιείται. Η ρύπανση επίσης μπορεί να πάρει τη μορφή ανεπιθύμητων μορφών ενέργειας, όπως θερμότητα, θόρυβος ή ακτινοβολία. Πηγή ρύπανσης ονομάζεται κάθε εστία η οποία με τις εκπομπές της προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον.

Οι ρύποι μπορούν να εισβάλλουν στο περιβάλλον από φυσικές οδούς, λ.χ. από μια ηφαιστειακή έκρηξη, ή μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η καύση του άνθρακα. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης από τις ανθρώπινες δραστηριότητες σημειώνεται μέσα ή κοντά σε αστικές και

βιομηχανικές περιοχές, όπου συγκεντρώνονται οι περισσότερες πηγές ρύπανσης. Η εκβιομηχάνιση των αγροκαλλιεργειών επίσης αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης. Κάποιοι ρύποι ρυπαίνουν τις περιοχές στις οποίες εκλύονται. Άλλοι μεταφέρονται, μέσω του ανέμου ή των υδάτων, σε άλλες περιοχές. Η ρύπανση δε γνωρίζει κρατικά σύνορα.

Κάποιοι ρύποι προέρχονται από μεμονωμένες προσδιορισμένες πηγές, όπως την καπνοδόχο μιας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας, την αντλία αποστράγγισης μιας βιομηχανικής εγκατάστασης, την καμινάδα ενός σπιτιού και ονομάζονται σημειακές. Άλλοι προέρχονται από διασκορπισμένες, δύσκολες στον εντοπισμό τους πηγές και ονομάζονται μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Παράδειγμα είναι τα λιπάσματα και τα εντομοκτόνα από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και τους κήπους, που απορρέουν σε ποτάμια και λίμνες, καθώς και τα εντομοκτόνα που φτάνουν στην ατμόσφαιρα με τον ψεκάσμο ή από τη ροή του ανέμου. Είναι ασφαλώς πολύ πιο εύκολο να εντοπίσουμε και να ελέγξουμε τη ρύπανση σε σημειακές πηγές παρά σε μη σημειακές.

Οι ανεπιθύμητες επιπτώσεις των ρύπων περιλαμβάνουν παρεμπόδιση ή παρεμβολή στα συστήματα υποστήριξης της ζωής, τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για τα άλλα είδη. Συμβάλλουν στην καταστροφή της άγριας ζωής και προκαλούν βλάβες στην υγεία και στα υλικά αγαθά. Επίσης προκαλούν παρενοχλήσεις όπως θόρυβο, δυσάρεστες οσμές ή γεύσεις αλλά και οπτική ενόχληση.

Τρεις παράγοντες προσδιορίζουν το πόσο σοβαρές είναι οι επιπτώσεις ενός ρυπαντή.

- η χημική του φύση, που χαρακτηρίζει το πόσο επιβλαβής ή ενεργός είναι στους έμβιους οργανισμούς
- η συγκέντρωσή του, δηλαδή η ποσότητα ανά μονάδα όγκου αέρα, νερού, εδάφους ή βάρους του σώματος
- ο χρόνος ζωής του ρύπου, που ορίζεται ως το χρονικό διάστημα για το οποίο μπορεί να παραμένει στο νερό, στο έδαφος ή στο σώμα.

Οι διασπώμενοι ρύποι διαλύονται εντελώς ή μειώνονται σε αποδεκτά επίπεδα από φυσικές, σωματικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες. Οι σύνθετες χημικές ενώσεις διασπώνται ή μεταβολίζονται σε απλούστερες χημικές ενώσεις από τους έμβιους οργανισμούς συνήθως με εξειδικευμένα βακτηρίδια που ονομάζονται βιοδιασπώμενοι ρυπαντές.

1.2. Κατάταξη και μορφές ρύπανσης

Η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να διαχωριστεί σε διάφορες κατηγορίες με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Ο καθορισμός των κριτηρίων εξαρτάται φυσικά από τους σκοπούς που εξυπηρετεί κάθε φορά η κατάταξη, γενικά όμως είναι αποδεκτά τα παρακάτω κριτήρια:

- Τύπος της πηγής που προκαλεί τη ρύπανση.
- Άμεσος αποδέκτης της ρύπανσης.
- Τύπος ρύπου.

Κατά τύπο πηγής

Οι πηγές ρύπανσης διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, καθεμιά από τις οποίες στη συνέχεια μπορεί να διαχωριστεί σε μεγάλο αριθμό επιμέρους υποκατηγοριών.

Οι κύριες κατηγορίες είναι:

- Φυσικές πηγές ρύπανσης: Εδώ περιλαμβάνονται εκείνες που υπάρχουν στη φύση και δεν είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ενδεικτικά αναφέρονται τα δάση και τα ηφαίστεια.
- Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης: Όπως προκύπτει και από το όνομά τους, στην κατηγορία αυτή εντάσσονται όλες οι πηγές ρύπανσης που είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Μερικές από αυτές είναι η βιομηχανία, οι αστικές δραστηριότητες (αστικά λύματα, στερεά

απορρίμματα), η κυκλοφορία, (οδική, αεροπορική, κτλ) οι κεντρικές θερμάνσεις, οι γεωργικές δραστηριότητες, κ.ά.

Κατά αποδέκτη

Ανάλογα με τον αποδέκτη η ρύπανση διακρίνεται σε:

- Ρύπανση αέρα: Ο άμεσος αποδέκτης είναι ο αέρας, δηλαδή η ατμόσφαιρα, για το λόγο αυτό εναλλακτικά αναφέρεται και ως ατμοσφαιρική ρύπανση ή ρύπανση της ατμόσφαιρας.
- Ρύπανση υδάτων: Ο άμεσος αποδέκτης στην περίπτωση αυτή είναι οι μεγάλες επιφανειακές και υπόγειες υδάτινες μάζες του πλανήτη (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα, υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες).
- Ρύπανση εδάφους: με άμεσο αποδέκτη το στερεό φλοιό της γης.

Εδώ διευκρινίζεται ότι για τις ανάγκες της κατάταξης αυτής ενδιαφέρει ο άμεσος και όχι ο τελικός αποδέκτης των ρύπων, που συνήθως είναι διαφορετικός.

Συγκεκριμένα, ένα μέρος των ρύπων που απορρίπτεται άμεσα στον αέρα στη συνέχεια είτε κατακάθεται είτε κατακρημνίζεται με τη βροχή, καταλήγοντας έτσι είτε στο έδαφος, είτε στις επιφανειακές υδάτινες μάζες. Ένα ποσοστό της μάζας ρύπων που ή κατακάθισαν ή κατακρημνίστηκαν στο έδαφος τελικά παρασύρεται από τα νερά της βροχής και στο τέλος καταλήγει στο νερό (είτε στο επιφανειακό -ποτάμια, λίμνες, θάλασσα- είτε στο υπόγειο). Παραμένει όμως το γεγονός ότι αρχικός αποδέκτης ήταν ο αέρας και επομένως η ρύπανση αυτή θεωρείται ατμοσφαιρική.

Κατ' αναλογία, ποσότητες ρύπων που είχαν ως άμεσο αποδέκτη το έδαφος καταλήγουν τελικά στο νερό. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για ρύπανση εδάφους, αφού αυτό ήταν ο αρχικός αποδέκτης. Τέλος, σε πολύ μικρότερη ίσως κλίμακα, ποσότητες ρύπων που είχαν ως αρχικό αποδέκτη το νερό (ρύπανση νερού) μεταφέρονται στο έδαφος ή ακόμη και στον αέρα, με τον κυματισμό π.χ. ή τον άνεμο, για να επιστρέψουν τελικά στο νερό με τη βροχή.

Κατά τύπο ρύπου

Με κριτήριο τον τύπο του ρύπου η ρύπανση μπορεί να διακριθεί σε:

- Αέρια ρύπανση: Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται όλες οι μορφές ρύπανσης που οφείλονται σε αέριες χημικές ουσίες. Η εκπομπή επομένως μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και κάθε άλλης αέριας ένωσης χαρακτηρίζεται ως αέρια ρύπανση.

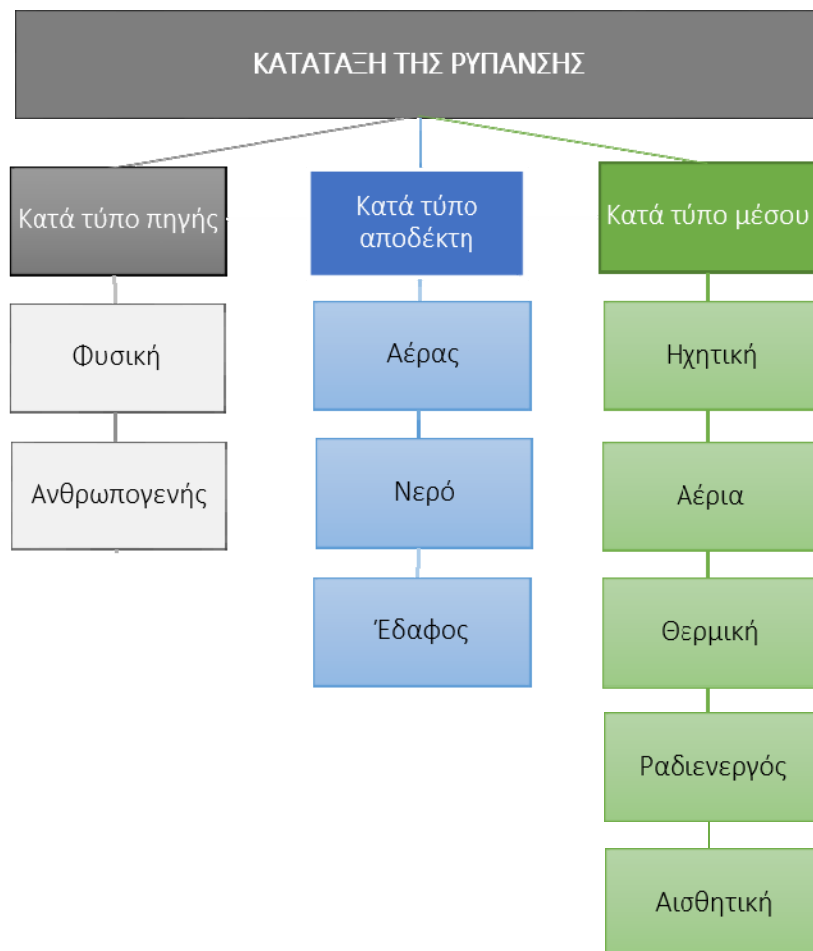
Στην ίδια κατηγορία κατατάσσεται και η ρύπανση που προκαλείται από στερεά ή υγρά σωματίδια. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι τα σωματίδια, είτε στερεά είτε υγρά, συμπεριφέρονται σε μεγάλο βαθμό ως αέρια.

Με ελάχιστες εξαιρέσεις, άμεσος αποδέκτης της αέριας ρύπανσης είναι ο αέρας και αυτός είναι ένας ακόμη λόγος για τον οποίο τα σωματίδια εντάσσονται στην κατηγορία των αέριων ρύπων.

- Ηχητική ρύπανση: Πρόκειται για μορφή ρύπανσης που οφείλεται στην απόρριψη στην ατμόσφαιρα ενέργειας με τη μορφή ηχητικών κυμάτων. Γενικά είναι μια από τις λιγότερο σοβαρές μορφές ρύπανσης, κυρίως επειδή συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες λίγο-πολύ περιοχές (βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αυτοκινητόδρομοι, αεροδρόμια κτλ) και επομένως επιβαρύνει σχετικά μικρό αριθμό αποδεκτών. Άμεσος αποδέκτης της ηχητικής ρύπανσης είναι ο αέρας.
- Θερμική ρύπανση: Πρόκειται και πάλι για μορφή ρύπανσης σχετικά μικρής σημασίας, που οφείλεται στην απόρριψη στο περιβάλλον θερμικής ενέργειας. Οι αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν είναι ελάχιστες, ακόμα και όταν οι ποσότητες ενέργειας που απορρίπτονται είναι

μεγάλες, και περιορίζονται κυρίως στην ενόχληση συγκεκριμένων ειδών του ζωικού βασιλείου, τα οποία κατά κανόνα εξαναγκάζονται σε μετανάστευση. Άμεσος αποδέκτης της θερμικής ρύπανσης είναι είτε ο αέρας, είτε το νερό και σε σπανιότερες περιπτώσεις το έδαφος.

- Ραδιενεργός ρύπανση: Πρόκειται για σοβαρότατη μορφή ρύπανσης που οφείλεται στην απόρριψη στο περιβάλλον ραδιενεργών ουσιών. Ο χαρακτηρισμός της ως σοβαρότατη οφείλεται αφ' ενός στο ότι οι επιπτώσεις της μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές (πρόκληση θανάτων – τερατογενέσεων, κτλ) και αφ' ετέρου στη «διάρκεια ζωής» αυτών των αρνητικών επιπτώσεων, που μπορεί να είναι μέχρι και εκατοντάδες χρόνια, ανάλογα με το χρόνο ημιζωής των ραδιενεργών ουσιών που απορρίπτονται. Αποδέκτες της ραδιενεργού ρύπανσης, ανάλογα και πάλι με τη φύση των ραδιενεργών ουσιών, μπορούν να είναι τόσο ο αέρας, όσο και το νερό και το έδαφος.
- Αισθητική ρύπανση: Είναι η πλέον αθώα μορφή ρύπανσης που προκαλεί μόνο αισθητική ενόχληση. Είναι προφανές ότι η θέσπιση κανόνων για την προστασία από την αισθητική ρύπανση είναι πρακτικά δύσκολη, λόγω της υποκειμενικότητας των σχετικών κριτηρίων.



Εικόνα 1-1: Οι διάφορες κατηγορίες ρύπανσης

Με βάση όλα τα παραπάνω, είναι προφανές ότι μια εστία ρύπανσης μπορεί να επιβαρύνει το περιβάλλον με περισσότερες της μιας μορφές ρύπανσης. Για παράδειγμα ένα αυτοκίνητο που κινείται με κάποια ταχύτητα προκαλεί (α) ηχητική ρύπανση, λόγω του θορύβου της εξάτμισης, του κινητήρα, των ελαστικών και της αεροδυναμικής, (β) θερμική ρύπανση, λόγω των θερμικών απωλειών του κινητήρα και του θερμικού περιεχομένου των καυσαερίων, (γ) αέρια ρύπανση, λόγω των συστατικών

του καυσαερίου, της φθοράς των ελαστικών, της ανάδευσης της φυσικής σκόνης, κτλ. Θα μπορούσε ακόμα να αναφερθεί και η αισθητική ρύπανση, δεδομένου ότι η κίνηση του αυτοκινήτου προϋποθέτει την ύπαρξη δρόμων, η κατασκευή των οποίων απαιτεί επεμβάσεις στο φυσικό τοπίο. Επίσης θα μπορούσαν να συνυπολογιστούν και όλες οι μορφές ρύπανσης που σχετίζονται με τη διαδικασία της εξόρυξης, παραγωγής, μεταφοράς και διάθεσης των καυσίμων, με τη διαδικασία παραγωγής και διακίνησης των πρώτων υλών που απαιτούνται για την παραγωγή του οχήματος, με τη διαδικασία παραγωγής και διακίνησης του ίδιου του οχήματος, καθώς επίσης και με τις διαδικασίες που ακολουθούν την απόσυρση του οχήματος από την κυκλοφορία, δηλ. την καταστροφή του και την ανακύκλωση όσων από τα στοιχεία του μπορούν να ανακυκλωθούν.

Η λεπτομερής ανάλυση και ποσοτικοποίηση της συνολικής ρύπανσης που προκαλείται από την κυκλοφορία του οχήματος του παραδείγματος είναι μια ιδιαίτερα επίπονη διαδικασία, αν λάβει κανείς υπόψη του τον τεράστιο αριθμό διεργασιών που εμπλέκονται.

Η ανάλυση αυτή ονομάζεται «ανάλυση κύκλου ζωής» (life cycle analysis), και βέβαια ξεφεύγει από τους σκοπούς του παρόντος κειμένου. Είναι όμως απαραίτητη προκειμένου να δημιουργηθεί μία κατά το δυνατό πλήρης εικόνα της προκαλούμενης επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, την κυκλοφορία ενός οχήματος στο συγκεκριμένο παράδειγμα.

Στην εικόνα 1 γίνεται ανακεφαλαίωση της κατάταξης της ρύπανσης σύμφωνα με τα προαναφερθέντα κριτήρια.

1.3. Κύριες κατηγορίες αέριων ρύπων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριοι αέριοι ρύποι:

1. Οξειδία του θείου (SO_x), δηλαδή το άθροισμα διοξειδίου και τριοξειδίου του θείου. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν σημαντικό ατμοσφαιρικό ρύπο λόγω της επιβλαβούς επίδρασής τους στην ανθρώπινη υγεία και της δημιουργίας όξινων αποθέσεων. Οι μεγαλύτερες εκπομπές οξειδίων του θείου στις περισσότερες χώρες προέρχονται από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Οξειδία του αζώτου (NO_x), δηλαδή το άθροισμα μονοξειδίου και διοξειδίου του αζώτου. Σε σύγκριση με τα SO_x , τα NO_x θεωρούνται ένας μικρότερος αλλά σημαντικός συντελεστής όξινων αποθέσεων. Τα NO_x , όπως και τα SO_x , επιδρούν βλαπτικά στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, αποτελούν πρόδρομους του όζοντος. Βασική πηγή τους είναι οι οδικές μεταφορές.
3. Μεθάνιο (CH_4). Το μεθάνιο είναι αέριο του θερμοκηπίου. Κύριες πηγές εκπομπής του θεωρούνται η εξόρυξη και η διανομή υδρογονανθράκων (κυρίως φυσικού αερίου) και γαιανθράκων, η επεξεργασία αποβλήτων (κυρίως οι χωματερές και η απόθεση υπολειμμάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων) και η κτηνοτροφία (εντερικές ζυμώσεις και απόβλητα).
4. Μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOC, Non Methane Volatile Organic Compounds). Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλους τους υδρογονάνθρακες, πλην του μεθανίου, και τους υδρογονάνθρακες εκείνους, των οποίων είτε όλα τα άτομα του υδρογόνου είτε μέρος αυτών έχουν αντικατασταθεί από άλλα άτομα, όπως θείο, άζωτο, οξυγόνο, αλογόνα, και οι οποίες κάτω από μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι πτητικές (κεκορεσμένοι, ακόρεστοι, αρωματικοί, κυκλικοί, πολύκυκλικοί – τερπένια, αλδεΐδες, κετόνες, οξέα, οργανοχλωριομένες ενώσεις, κτλ). Η κατηγορία αυτή προσελκύει ενδιαφέρον λόγω της τοξικότητάς της και του ρόλου που διαδραματίζει σαν πρόδρομος φωτοχημικών οξειδωτικών και αερίων θερμοκηπίου. Οι σημαντικότερες πηγές των NMVOC είναι οι οδικές μεταφορές, η χρήση διαλυτών και η φύση.
5. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Το CO είναι ένα από τα προϊόντα (ατελούς) καύσης οργανικών υλικών. Στην ατμόσφαιρα το CO συμμετέχει στην αλυσίδα αντιδράσεων, που οδηγούν στο σχηματισμό όζοντος, αν και η συμμετοχή του είναι πολύ μικρότερη από αυτήν των NO_x και NMVOC. Ακόμη το CO οξειδώνεται σταδιακά σε CO_2 και επομένως θεωρείται πρόδρομος αερίου

θερμοκηπίου. Το CO παράγεται κυρίως κατά την ατελή καύση, όταν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου, όταν το καύσιμο καίγεται δύσκολα (π.χ. λιγνίτης) ή όταν η καύση είναι πολύ γρήγορη (κινητήρες αυτοκινήτων). Η κύρια πηγή παραγωγής CO είναι η οδική κυκλοφορία (και σχεδόν αποκλειστικά τα βενζινοκίνητα οχήματα).

6. Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Είναι το βασικό αέριο θερμοκηπίου. Η κύρια πηγή εκπομπής του είναι η καύση ανθρακούχων καυσίμων. Κατά το παρελθόν το CO₂ δεν χαρακτηριζόταν σαν ρύπος εξαιτίας της μη τοξικότητάς του. Όμως η συνεχής αύξηση των συγκεντρώσεων CO₂ σε παγκόσμια κλίμακα με πιθανολογούμενο αποτέλεσμα σοβαρές αρνητικές επιδράσεις στο γήινο κλίμα, το κατατάσσουν σήμερα στα αέρια που θεωρούνται σαν ρύποι.
7. Υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Αποτελεί αέριο θερμοκηπίου. Εκπέμπεται κατά τη χρήση λιπασμάτων, την ατελή καύση, ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες και από τα βενζινοκίνητα οχήματα, που είναι εφοδιασμένα με τριοδικό καταλύτη.
8. Αμμωνία (NH₃). Κύρια πηγή εκπομπής της αμμωνίας θεωρείται η κτηνοτροφία και η γεωργία. Αμμωνία εκπέμπεται από τα ούρα των ζώων και από την αποθήκευση και χρησιμοποίηση της κοπριάς τους σαν λίπασμα (βιολογική αποσύνθεση). Ακόμη, αμμωνία εκπέμπεται από την επεξεργασία λυμάτων. Ένα ποσοστό της ολικής συγκέντρωσης των εκπομπών αμμωνίας προέρχεται από τις βιομηχανικές διεργασίες, κυρίως εκείνες της παραγωγής αμμωνίας και λιπασμάτων. Επίσης, αμμωνία εκπέμπεται κατά την καύση υδρογονανθράκων, γαιανθράκων και βιομάζας.
9. Διοξίνες. Οι διοξίνες είναι μια κατηγορία 75 ουσιών που περιέχουν χλώριο. Συνήθως στην ίδια κατηγορία κατατάσσονται και εκατοντάδες άλλες συγγενείς ουσίες όπως τα φουράνια και τα PCBs (κλοφέν). Οι διοξίνες είναι ένα επικίνδυνο παραπροϊόν των διεργασιών όπου εμπλέκεται το χλώριο. Από τη βιομηχανική παραγωγή του χλωρίου και των χλωριωμένων πλαστικών PVC ως την καύση των σκουπιδιών ή των αποβλήτων που περιέχουν χλωριωμένες ενώσεις παράγονται σημαντικές ποσότητες διοξινών που απειλούν το περιβάλλον και την υγεία. Βιοχημικές έρευνες έχουν δείξει πως οι διοξίνες δρουν ως ισχυρές «περιβαλλοντικές ορμόνες». Όπως και οι φυσικές ορμόνες, οι διοξίνες μπορούν να διαπεράσουν τη μεμβράνη των κυττάρων και να αλλάξουν τη δράση των γονιδίων που ρυθμίζουν τη διαδικασία της ανάπτυξης. Ακόμη και απειροελάχιστες συγκεντρώσεις διοξινών μπορούν να επηρεάσουν το ανοσοποιητικό και νευρικό σύστημα των οργανισμών. Αρκεί ένα τρισεκατομμυριοστό του γραμμαρίου διοξίνης για να προκαλέσει καρκίνο και ένα μόλις δισεκατομμυριοστό του γραμμαρίου για να σκοτώσει πειραματόζωα.

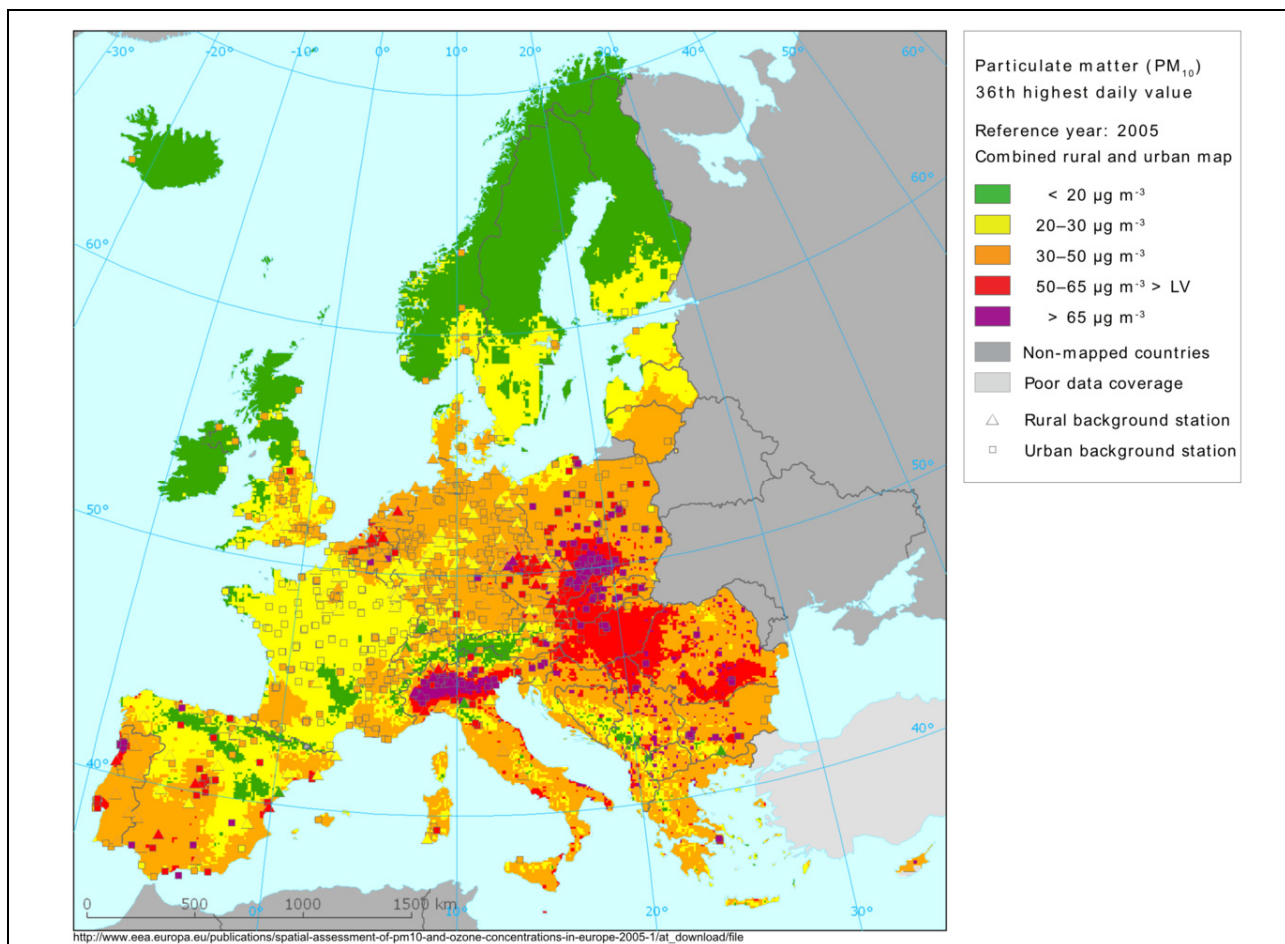
Οι ρύποι που περιγράφηκαν μέχρι εδώ ήταν διακριτές χημικές ενώσεις ή μίγματα αυτών (σε αέρια πάντα κατάσταση). Εκτός των αερίων όμως ουσιών, στην ατμόσφαιρα απαντώνται και στερεές αλλά και υγρές ουσίες. Οι στερεές ουσίες μπορεί να είναι είτε κόκκοι φυσικής σκόνης, δηλαδή χώμα, είτε κόκκοι άνθρακα, δηλαδή προϊόντα καύσης, είτε κόκκοι άλλης βάσης, όπως σκόνες από μεταλλουργικές ή άλλες βιομηχανίες. Οι υγρές ουσίες είναι συμπυκνώματα ατμών, κυρίως νερού (υδρατμών), αλλά και άλλων ουσιών, δηλαδή σταγονίδια. Το σύνολο των στερεών ουσιών και των σταγονιδίων φέρονται με το γενικό χαρακτηρισμό σωματίδια (PM). Τα σωματίδια λοιπόν είναι στερεοί κόκκοι ή μικρά σταγονίδια υγρών ή μίγματα στερεού και υγρού, ανεξάρτητα από τις ουσίες από τις οποίες αποτελούνται. Με άλλα λόγια στα σωματίδια περιλαμβάνονται όλοι οι μη-αέριοι ρύποι.

Στον πίνακα 1-1 δίνεται η παγκόσμια παραγωγή ατμοσφαιρικών σωματιδίων ανά πηγή προέλευσης, ενώ στην εικόνα 1-2 φαίνονται οι συγκεντρώσεις σωματιδίων στην Ευρώπη. Τέλος, στην εικόνα 1-3 φαίνεται η κατανομή ανά δραστηριότητα των πρωτογενών εκπομπών σωματιδίων PM_{2.5} και PM₁₀.

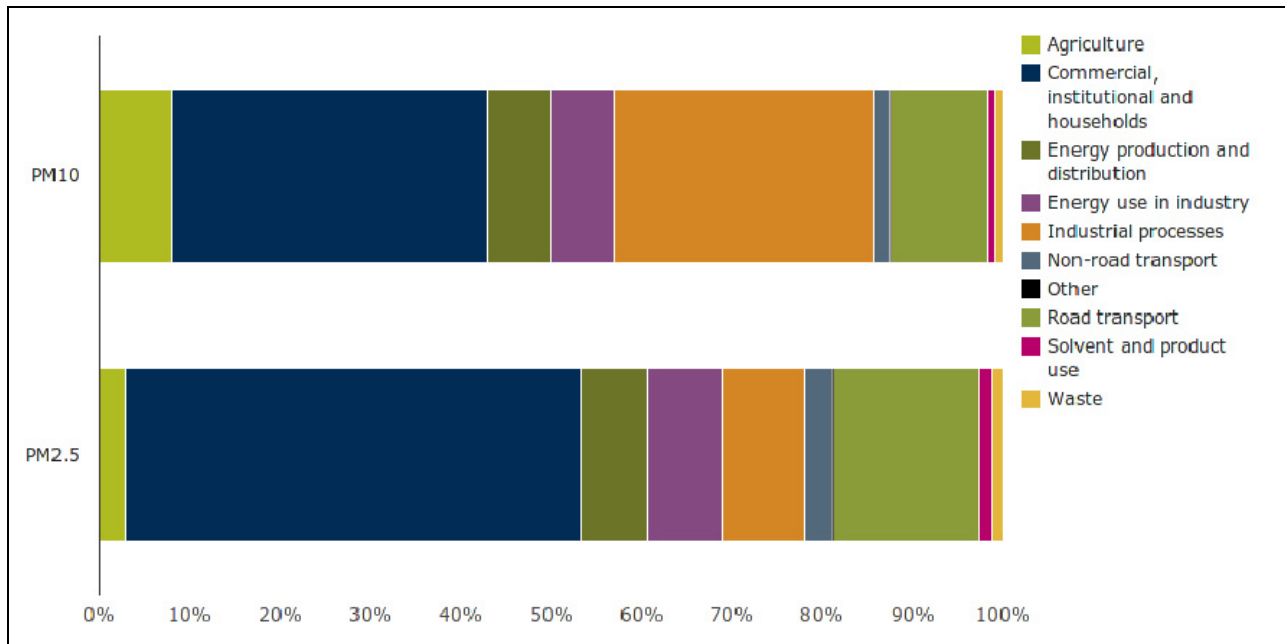
Άλλοι ρύποι είναι τα βαριά μέταλλα (Μόλυβδος-Pb, Κάδμιο-Cd, Ψευδάργυρος-Zn, Χαλκός-Cu, Χρώμιο-Cr, Νικέλιο-Ni, Σελήνιο-Se, Υδράργυρος-Hg, κτλ), οι Παραμένοντες Οργανικοί Ρύποι (POPs: Βενζο(α)ανθρακένιο, Βενζο(α)πυρένιο, Βενζο(b)φλουορανθένιο, Διβενζο(a,h)ανθρακένιο, Χρυσένιο, Φλουορανθένιο, Φενανθένιο), οι διοξίνες (οικογένεια χημικών ουσιών εξαιρετικά ύποπτη για καρκινογένεσις, ιδιαίτερα τοξική για τον άνθρωπο και ανθεκτική στην βιολογική αποικοδόμηση, παραπροϊόν των διεργασιών στις οποίες εμπλέκεται το χλώριο), τα φουράνια και τα PCBs (κλοφέν) .

Πίνακας 1-1: Παγκόσμια παραγωγή ατμοσφαιρικών PM < 100 μm.

Πρωτογενή PM	Ποσότητα [Mt/a]	Δευτερογενή PM	Ποσότητα [Mt/a]
Φυσικές Πηγές			
Σκόνη εδάφους	1.000 - 3.000	Θειικά από βιογενή αέρια	60 - 110
Θαλάσσια σταγονίδια	1.000 - 10.000	Θειικά από ηφαιστιογενές SO ₂	10 - 30
Ηφαιστειακές εκπομπές	4 - 10.000	Οργανικά από βιογενείς VOC	40 - 200
Πρωτογενή οργανικά αεροζόλ	26 - 80	Νιτρικά από NO _x	10 - 40
Σύνολο	2.030 - 20.380	Σύνολο	120 - 380
Ανθρωπογενείς Πηγές			
Βιομηχανικές εκπομπές (πλην αιθάλης)	40 - 130	Θειικά από SO ₂	120 - 180
Αιθάλη	10 - 30	Νιτρικά από NO _x	20 - 50
Καύση βιομάζας	50 - 190	Οργανικά από ανθρωπογενή VOC	2 - 25
Σύνολο	100 - 350	Σύνολο	145 - 255



Εικόνα 1-2: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM10 στην Ευρώπη
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>)



Εικόνα 1-3: Κατανομή πρωτογενών εκπομπών σωματιδίων PM2.5 και PM10 ανά δραστηριότητα προέλευσης
 (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/emissions-of-primary-particles-and-5/assessment-3>)

Επίπτωση	Ρύπος											
	PM	HM	NH ₃	ON	SO ₂	NO _x	NMNO _C	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	CFC _s
Τοπική (Υγεία και επίπεδο ζωής)												
Περιφερειακή												
- Οξίνιση (<i>Acidification</i>)												
- Φωτοχημική οξείδωση (π.χ. O ₃)												
Πλανητική												
- Φαινόμενο Θερμοκηπίου (έμμεσα)												
- Φαινόμενο Θερμοκηπίου (άμεσα)												
- Καταστροφή της στοιβάδας του O ₃ (στρατοσφαιρικού)												

Εικόνα 1-4: Χωρική κλίμακα επιπτώσεων των κύριων πρωτογενών ατμοσφαιρικών ρύπων.

1.4. Κύριες δραστηριότητες εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι σημαντικότερες δραστηριότητες εκπομπής αέριων ρύπων κατηγοριοποιούνται ως εξής:

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, συμπαραγωγή και τηλεθέρμανση. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (δημόσιες, ιδιωτικές ή αυτοπαραγωγών) και οι μονάδες παραγωγής θερμότητας για κατανάλωση τοπικής κλίμακας.
2. Καύση εμπορική, κτιρίων δημοσίων υπηρεσιών, οικιακή. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μονάδες καύσης για την παραγωγή θερμότητας σε νοικοκυριά, εμπορικά καταστήματα, δημόσια κτίρια, γραφεία, θερμοκήπια, κτλ.
3. Βιομηχανική καύση. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει καύσεις σε λέβητες, αεριοστρόβιλους και ΜΕΚ για παραγωγή θερμότητας ή μηχανικής ισχύος, καθώς και καύσεις σε φούρνους χωρίς επαφή της φλόγας και των καυσαερίων με τα προϊόντα (δυλιστήρια, κωκερίες, παραγωγή γύψου, κτλ) ή σε φούρνους με επαφή της φλόγας και των καυσαερίων με τα προϊόντα (χυτήρια, μονάδες ανάτηξης χάλυβα και σιδήρου, μονάδες παραγωγής πρωτογενούς μολύβδου, δευτερογενούς μολύβδου, πρωτογενούς ψευδαργύρου, δευτερογενούς ψευδαργύρου, πρωτογενούς χαλκού, δευτερογενούς χαλκού, δευτερογενούς αργιλίου, τσιμεντοβιομηχανίες, μονάδες παραγωγής γυαλιού, ορυκτοβάμβακα, χαρτοβιομηχανίες, κτλ).
4. Βιομηχανικές διεργασίες που δεν περιλαμβάνουν καύση. Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στις εκπομπές από διεργασίες παραγωγής εκτός των εκπομπών από καύσεις. Περιλαμβάνει διεργασίες σε δυλιστήρια, χαλυβουργεία, βιομηχανίες σιδήρου, βιομηχανίες μη σιδηρούχων μετάλλων, χημικές βιομηχανίες, χαρτοβιομηχανίες, οινοποιεία, ζυθοποιεία, μονάδες παραγωγής αλκοολούχων ποτών, μονάδες παραγωγής άρτου, κτλ.
5. Εξόρυξη και διάθεση ορυκτών καυσίμων. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται η εξόρυξη και η πρώτη επεξεργασία στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων, η αποθήκευσή τους, η διάθεση των υγρών καυσίμων και τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής αερίων καυσίμων.
6. Χρήση διαλυτών. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται η χρήση των διαλυτών κατά: α) τις βαφές (αυτοκινήτων, οικοδομών, κτλ), β) την απολίπανση των μετάλλων, γ) το στεγνό καθάρισμα, δ) την παραγωγή και την επεξεργασία χημικών προϊόντων και ε) διάφορες άλλες δραστηριότητες, όπως η συντήρηση ξύλου, οι εκτυπώσεις, κτλ.
7. Οδικές μεταφορές. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται η κίνηση οχημάτων στο εθνικό, το επαρχιακό και το οδικό δίκτυο των αστικών περιοχών, καθώς επίσης και οι αναθυμιάσεις βενζίνης από τα οχήματα.
8. Άλλες κινητές πηγές. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα αγροτικά, δασικά, στρατιωτικά, βιομηχανικά (λατομείων, χωματουργικών εργασιών, κτλ) οχήματα και μηχανήματα, οι σιδηρόδρομοι, η κίνηση στα αεροδρόμια και στη θάλασσα (λιμάνια, θαλάσσιες μεταφορές, αλιεία).
9. Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων. Στην κατηγορία αυτή υπάγεται η καύση αστικών απορριμμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων, η επεξεργασία λυμάτων, οι χωματερές, η παραγωγή λιπασμάτων από απορρίμματα, η παραγωγή βιοαερίου, η ανεξέλεγκτη καύση γεωργικών παραπροϊόντων, κτλ.
10. Γεωργία και Κτηνοτροφία. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι διάφορες καλλιέργειες με ή χωρίς τη χρήση λιπασμάτων, η καύση καλαμώνων και η εκτροφή ζώων. Η κτηνοτροφία θεωρείται πηγή ατμοσφαιρικών ρύπων λόγω της εντερικής ζύμωσης των ζώων και των εκκρίματά τους.
11. Φύση. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται διαδικασίες ανεξέλεγκτες από τον άνθρωπο. Υποκατηγορίες αποτελούν τα δάση (πλατύφυλλα και κωνοφόρα), οι πυρκαγιές δασικών εκτάσεων, οι φυσικοί βοσκοτόποι, τα έλη και οι βάλτοι, οι λίμνες, τα ποτάμια, τα υπόγεια νερά, τα κανάλια, τα νερά απορροής, η θάλασσα, τα ηφαίστεια, κτλ.

1.5. Φωτοχημικά μοντέλα

Οι αέριοι ρύποι, λόγω της κίνησης των αερίων μαζών, μεταφέρονται σε περιοχές πολύ ευρύτερες αυτής, όπου παράγονται. Για την ακριβή εκτίμηση της επίδρασης συστηματικών και τυχαίων εκπομπών αερίων ρύπων απαιτείται ένα ολοκληρωμένο μοντέλο, που να συνίσταται από επιμέρους μοντέλα όσο το δυνατό πιο ρεαλιστικά στην παρουσίαση των φυσικών φαινομένων. Κύρια επιμέρους απαιτούμενα μοντέλα είναι τα εξής:

1. Μοντέλο απογραφής ρύπων
2. Μετεωρολογικό μοντέλο
3. Μοντέλο διασποράς
4. Μοντέλο ποιότητας της ατμόσφαιρας

Τα φωτοχημικά μοντέλα αποτελούν μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο αποτίμησης των επιδράσεων από τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα και ένα σημαντικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών απορρύπανσης. Ουσιαστικά είναι μαθηματικές περιγραφές των εξισώσεων μεταφοράς, διάχυσης και χημικού μετασχηματισμού των αερίων ρύπων. Τα στοιχεία εισόδου που απαιτούνται για την εφαρμογή τους περιλαμβάνουν δεδομένα από απογραφές εκπομπών ρύπων, από την τοπογραφία και τη μετεωρολογία της εξεταζόμενης περιοχής.

Ως στοιχεία εισόδου για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται:

1. Στοιχεία μετεωρολογίας. Θα πρέπει να είναι διαθέσιμα τρισδιάστατα πεδία ανέμου (τιμές ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου), τυρβώδη μεγέθη, τιμές θερμοκρασίας αέρα, κτλ.
2. Στοιχεία τοπογραφίας. Τα στοιχεία τοπογραφίας θα πρέπει να είναι αναλυτικά κατά τρόπο ώστε να απεικονίζεται με κάθε δυνατή λεπτομέρεια το ανάγλυφο και οι διαφορετικές χρήσεις γης της περιοχής προσομοίωσης.
3. Απογραφές εκπομπών ρύπων. Είναι στοιχεία εισόδου μέγιστης σημασίας, η χωρική και χρονική ακρίβεια καθώς και η πληρότητα των οποίων επηρεάζει σημαντικά τη ρεαλιστικότητα των αποτελεσμάτων. Οι απογραφές εκπομπών πρέπει να περιλαμβάνουν αναλυτικά στοιχεία εκπομπών για κάθε πηγή εκπομπής ρύπων.
4. Αρχικές συνθήκες. Πρόκειται για δεδομένα συγκεντρώσεων ρύπων κατά την εκκίνηση των υπολογισμών για ολόκληρο τον υπολογιστικό χώρο και οριακές συνθήκες, δηλαδή δεδομένα συγκεντρώσεων για τα όρια της περιοχής υπολογισμού καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Κύριες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα φωτοχημικά μοντέλα είναι τα μοντέλα κυψελίδας (box models), τα μοντέλα τροχιάς (trajectory models) και τα μοντέλα καννάβου (grid-based models). Τα μοντέλα κυψελίδας, είναι τα πιο απλά και βοηθούν μόνο σε γενικές εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων ρύπων που παρατηρούνται σε μια περιοχή. Τα μοντέλα τροχιάς δεν προσφέρονται για εφαρμογή σε περιοχές σύνθετης ορογραφίας, ιδιαίτερα δε σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος. Στην περίπτωση που το ζητούμενο είναι η προσομοίωση της φωτοχημικής ρύπανσης σε περιοχές σύνθετης ορογραφίας, (π.χ. Λεκανοπέδιο της Αθήνας), τα μοντέλα καννάβου θεωρούνται ως τα πιο κατάλληλα, δεδομένου ότι παράγουν πιστότερα τρισδιάστατα πεδία κατανομής συγκεντρώσεων χημικά ενεργών ρύπων. Υπό την προϋπόθεση ότι υφίστανται επαρκή και αναλυτικά δεδομένα εισόδου, τα μοντέλα καννάβου είναι η βέλτιστη προσέγγιση για τη μελέτη της αέριας ρύπανσης.

Κεφάλαιο 2^ο – Περιβαλλοντικά προβλήματα

Τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, που συγκεντρώνουν την προσοχή του σύγχρονου κόσμου είναι:

- α) Η κλιματική αλλαγή,
- β) Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος,
- γ) Η όξινη βροχή,
- δ) Το φωτοχημικό νέφος.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το κυριότερο από τα αέρια που συμβάλλουν στο **φαινόμενο του θερμοκηπίου**. Η αύξηση των συγκεντρώσεων των αέριων αυτών στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της Γης. Άλλα αέρια θερμοκηπίου είναι το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), κτλ, με μικρότερη όμως συμβολή από αυτή του διοξειδίου του άνθρακα.

Το **όζον** (O₃) συναντάται σε 2 επίπεδα της ατμόσφαιρας: στη στρατόσφαιρα (γύρω στα 15-50 km πάνω από το έδαφος) και στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας μέχρι και 15 km πάνω από το έδαφος). Το όζον συγκεντρώνεται στη στρατόσφαιρα σε στρώμα που είναι σαν μια παχιά ζώνη γύρω από τη Γη που δρα σαν φίλτρο που εμποδίζει την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία να φτάσει στη γη. Αυτή η συγκέντρωση είναι χρήσιμη, αφού προστατεύει τη γη απορροφώντας περίπου 80-90% της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η καταστροφή στο στρατοσφαιρικό όζον προκαλείται κυρίως από τη απελευθέρωση βιομηχανικών αλογονανθράκων (CFC).

Πίνακας 2-1: Κατηγορίες και διαστάσεις τα ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Διαστάσεις ρύπανσης	Εκδήλωση φαινομένων	Επιπτώσεις
Παγκόσμιες	<ul style="list-style-type: none"> – Καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος – Κλιματική αλλαγή – Ρύπανση ωκεανών 	<ul style="list-style-type: none"> – Αύξηση μέσης θερμοκρασίας της Γης – Αύξηση επικίνδυνων ακτινοβολιών – Αλλοίωση μεγάλων οικοσυστημάτων
Διακρατικές	<ul style="list-style-type: none"> – Όξινη βροχή – Ρύπανση θαλασσών, ποταμών, λιμνών 	<ul style="list-style-type: none"> – Καταστροφή δασών και λιμνών – Αλλοίωση οικοσυστημάτων
Περιφερειακές Τοπικές	<ul style="list-style-type: none"> – Καπνομίχλες – Φωτοχημικά νέφη – Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων νερών 	<ul style="list-style-type: none"> – Κίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων – Προσβολή υδροβιοτόπων
Εργασιακοί χώροι	<ul style="list-style-type: none"> – Εκπομπή τοξικών ουσιών 	<ul style="list-style-type: none"> – Επαγγελματικές ασθένειες
Χώρος κατοικίας	<ul style="list-style-type: none"> – Εκπομπή τοξικών ουσιών από βιομηχανικά προϊόντα 	<ul style="list-style-type: none"> – Μακροχρόνιες επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων

Η **όξινη βροχή**, κύρια υπεύθυνη για τη διάβρωση κτιρίων και την καταστροφή των δασών στις βιομηχανικές χώρες αλλά και με αρνητικές επιπτώσεις στα νερά λιμνών και ποταμών των χωρών αυτών, λόγω αύξησης της οξύτητάς τους, οφείλεται στις εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) κατά τις καύσεις ορυκτών καυσίμων. Το SO_2 προέρχεται από το περιεχόμενο στα καύσιμα αυτά θείο (S), ενώ τα NO_x παράγονται, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών της καύσης, από το περιεχόμενο άζωτο τόσο στον αέρα καύσης όσο και στα καύσιμα.

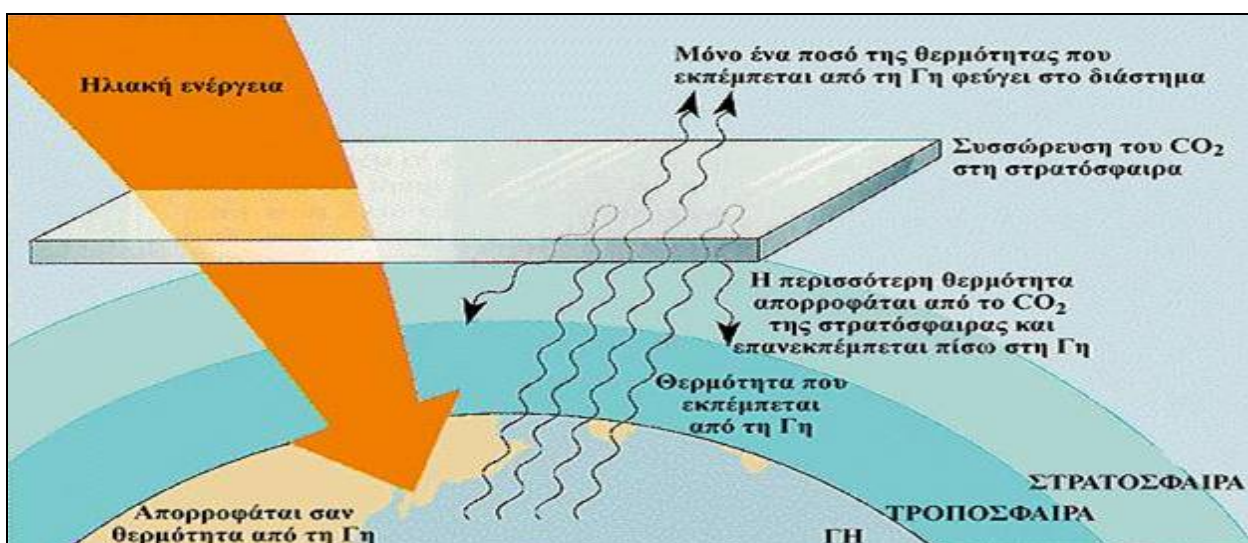
Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) σε συνδυασμό με τις μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOC) τόσο ανθρωπογενούς προέλευσης (καύσεις, χρήση διαλυτών, χωματερές, αποθήκευση-διανομή καυσίμων, κτλ) όσο και βιογενούς (π.χ. από δάση) συμμετέχουν στη χημεία του όζοντος και σε τοπική κλίμακα στη δημιουργία **φωτοχημικού νέφους**.

Τα σημαντικότερα από τα αέρια που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή καθώς και τα σχετιζόμενα με την όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος είναι συνδεδεμένα με την παραγωγή και τη χρήση ενέργειας.

2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Με τον όρο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» εννοούμε την παρεμπόδιση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γη να ακτινοβοληθεί στο διάστημα και την απορρόφησή της από αέρια της ατμόσφαιρας. Σαν αποτέλεσμα έχουμε τη συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας της κατώτερης ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης. Η απορρόφηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στο CO_2 αλλά και σε άλλα αέρια. Η σύνθεση και η χημική και φυσικοχημική σημασία των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (ΑΦΘ) είναι κατά σειρά επιρροής και σπουδαιότητας μεγέθους η ακόλουθη:

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι κυρίως υπεύθυνο για το 50% του μεγέθους του φαινομένου του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση της κλιματικής αλλαγής.
- Το μεθάνιο (CH_4) που συμμετέχει κατά περίπου 13% στη δημιουργία του φαινομένου θερμοκηπίου.
- Το ατμοσφαιρικό όζον (O_3) με 7%.
- Το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) με συμμετοχή 5%.
- Οι υδρατμοί (Stratospheric Water Vapor) κατά 3%.
- Οι διάφορων μορφών χλωροφθοράνθρακες (CFCs), που παράλληλα είναι και η κύρια αιτία δημιουργίας των οπών του στρατοσφαιρικού όζοντος, κατά 22%.



Εικόνα 2-1: Σχηματική παράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Πίνακας 2-2: Αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου (Πηγή: IPCC).

Α. Φ.Θ.	Συγκέντρωση το 1750	Συγκέντρωση το 1996	% αλλαγή	Έτη παραμονής στην ατμόσφαιρα	Ικανότητα θέρμανσης (GWP)	Πηγές
Διοξείδιο του άνθρακα	278 ppm	358 ppm (379 το 2004)	29%	200 - 450	1	Καύση ορυκτών καυσίμων, Πυρκαγιές σε Δάση, Ηφαίστεια, Οργανική σήψη, Αποψίλωση δασών,
Μεθάνιο	0.70 ppm	1.70 ppm	143 %	12- 15	22	Ορυζώνες, Έλη, Οργανική σήψη, Τερμίτες, Αντληση πετρελαίου και φυσικού αερίου, Μηρυκαστικά. ΧΥΤΑ
Οξείδιο του Αζώτου	275 ppb	311 ppb	11 %	120	310	Ωκεανοί, Αλλαγές χρήσης γης, Καύση ορυκτών καυσίμων, Καύση βιομάζας, Χρήση λιπασμάτων
CFC12 (Χλωροφθοράνθρακες)	0	0.503 ppnb	-	102	6200 - 7100	Σπρέι, Διαλύτες, Ψυκτικά, Αφροί
HCFC22 (Υδροχλωροάνθρακες)	0	0.105 ppnb	-	12.1	1300 - 1400	Ψυκτικά υγρά
Υπερφθορομεθάνιο	0	0.070 ppnb	-	50.000	6500	Παραγωγή Αλουμινίου
Εξαφθοριούχο Θείο	0	0.032 ppnb	-	3.200	23900	Διηλεκτρικό υγρό
Όζον	άγνωστη	Κυμαίνεται ανάλογα με το Γεωγραφ. Πλάτος και το ύψος της ατμόσφαιρας	Γενικά τα επίπεδα μειώθηκαν στην στρατόσφαιρα και αυξήθηκαν στην επιφ.			Δημιουργείται φυσικά από την δράση του ήλιου στο μοριακό οξυγόνο και τεχνητά μέσω του φωτοχημικού νέφους

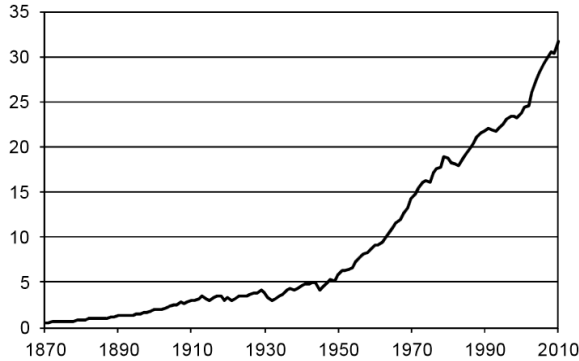
Διαδικασίες παραγωγής-παρουσίας αερίων θερμοκηπίου

Ο ενεργειακός τομέας, η χρήση ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου) θεωρούνται σήμερα η πρώτη, η βασική διαδικασία, το θεμελιακό αίτιο της πλανητικής υπερθέρμανσης και της κλιματικής αλλαγής. Το πρόβλημα εστιάζεται κύρια στο CO₂ και έπειτα στο CH₄, ως πρωταρχικών αιτιών στη διαδικασία της υπερθέρμανσης. Το CO₂ παράγεται κατά την καύση όλων των σημερινών καυσίμων όπως ο άνθρακας, οι υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες ή η βιομάζα. Το CH₄ παράγεται κατά την άντληση πετρελαίου ή φυσικού αερίου, την εξόρυξη άνθρακα, την καύση βιομάζας, την παραγωγή βιοαερίου, κατά την αναερόβια ζύμωση υγρών λιπασμάτων, τη διαδικασία φυσικοχημικής αλλαγής στους χώρους απόθεσης στερεών αποβλήτων και κατά τις εξατμίσεις-εξαερώσεις από έλη, τούνδρες και ορυζώνες. Είναι ακόμη οι διάφορες χρήσεις των οργανικών ενώσεων χλωρίου, βρωμίου και χλωροφθορανθράκων. Το N₂O ως αέριο θερμοκηπίου έχει ως κύρια πηγή την καύση των ορυκτών καυσίμων – πετρελαίου, την παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων, την «αναπνοή-εξάτμιση» εδάφους και τις εξατμίσεις των ωκεανών. Τέλος το ατμοσφαιρικό O₃, ως παράγοντας του φαινομένου του θερμοκηπίου, προέρχεται σε σοβαρό ποσοστό από εκπομπές ενώσεων θείου, από μεγάλες πυρκαγιές τροπικών δασών κυρίως και τις εκρήξεις ηφαιστειών με πλανητικές επιπτώσεις (π.χ. ηφαίστειο Πινατούμπο, Φιλιππίνες).

Πρέπει να τονιστεί ότι η συμμετοχή των αερίων θερμοκηπίου στην υπερθέρμανση του πλανήτη δεν

είναι σταθερή. Η συμβολή του κάθε αερίου εξαρτάται κυρίως από το φάσμα απορρόφησής του, το χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα, το μοριακό του βάρος και τη διάρκεια της περιόδου συμμετοχής του στην υπερθέρμανση και εκφράζεται με τον δείκτη δυναμικού υπερθέρμανσης (Global Warming Potential, GWP).

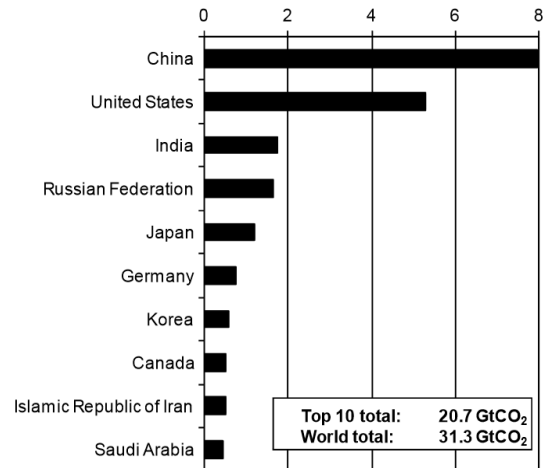
GtCO₂



Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., United States.

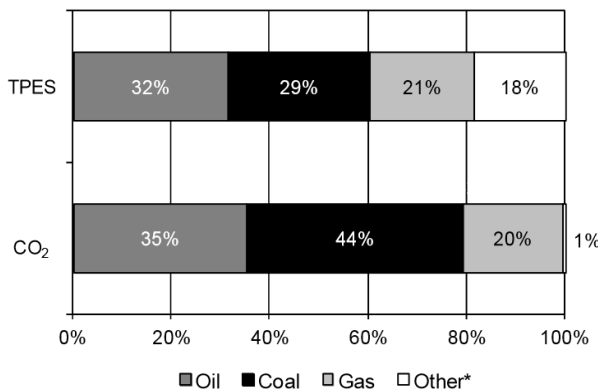
(α)

GtCO₂



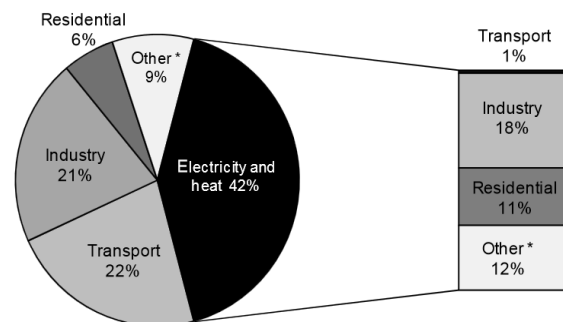
(β)

Percent share



* Other includes nuclear, hydro, geothermal, solar, tide, wind, biofuels and waste.

(γ)



Note: Also shows allocation of electricity and heat to end-use sectors.

* Other includes commercial/public services, agriculture/forestry, fishing, energy industries other than electricity and heat generation, and other emissions not specified elsewhere.

(δ)

Εικόνα 2-2: Εκπομπές CO₂.

(α) Εξέλιξη των συνολικών εκπομπών από καύση ορυκτών καυσίμων,

(β) Οι δέκα μεγαλύτεροι ρυπαντές του πλανήτη το 2011

(γ) Παραγωγή CO₂ από ορυκτά καύσιμα το 2011

(δ) Παραγωγή CO₂ ανά δραστηριότητα το 2011

(Πηγή: IEA, CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION Highlights, 2013 Edition,

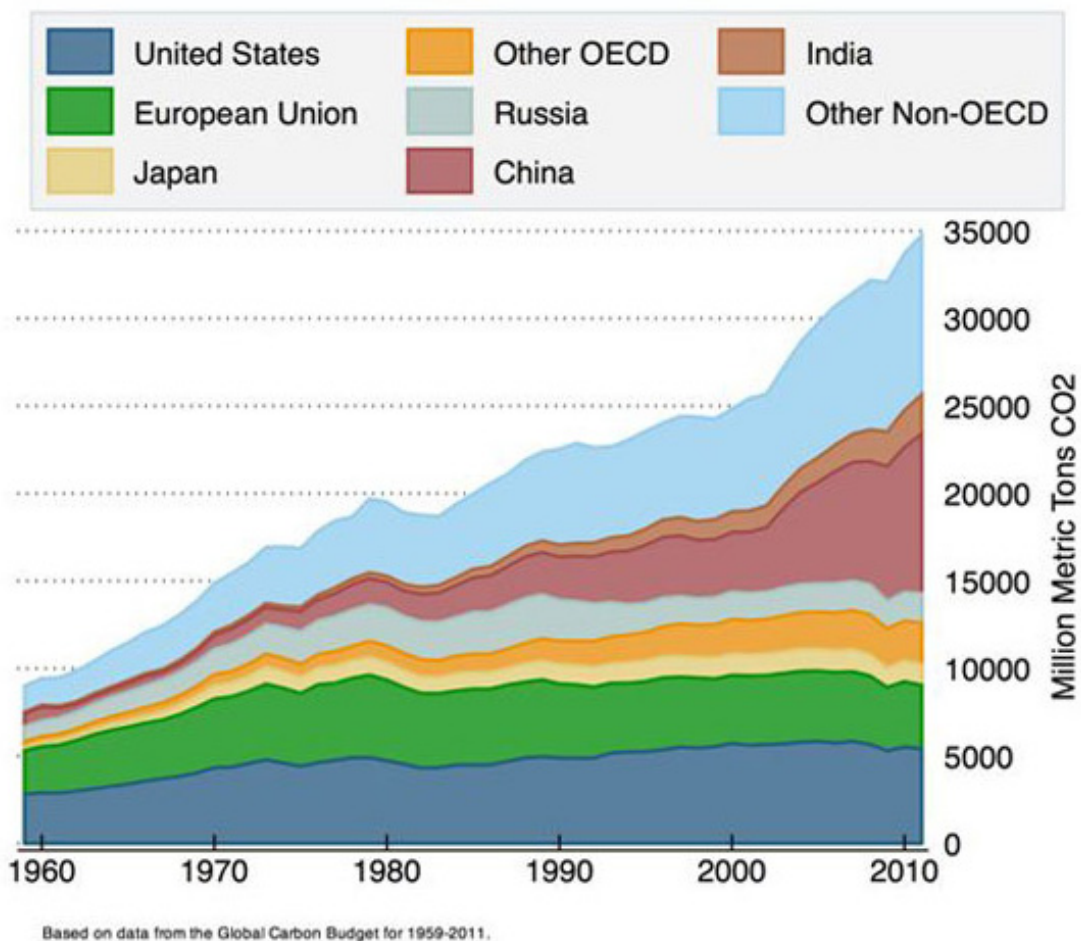
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/co2emissionsfromfuelcombustionhighlights2013.pdf>).

Επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της ανόδου της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας στη τη δημόσια υγεία και η βιόσφαιρα της γης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η θερμοκρασιακή μεταβολή στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη της γης σημαίνει ανατροπή της ισορροπίας στο κλίμα και στο μικροκλίμα. Είναι μια μεταβολή κατά κανόνα μη αντιστρεπτή σε χρονική κλίμακα ανθρώπινης ζωής.

- Η μετατόπιση, αλλαγή, μείωση ή εξαφάνιση ορισμένων καλλιεργειών φυτών και γεωργικής παραγωγής είναι μια σοβαρή επίπτωση.
- Η τήξη των κολοσιαίων όγκων των πολικών πάγων στο Βόρειο και κυρίως στο Νότιο Πόλο, σημαίνει ανύψωση της στάθμης των θαλασσών κατά 1-1,5 m.
- Η διαστολή του θαλάσσιου νερού των ωκεανών - βραδεία μεν αλλά σταθερή - επιτείνει αυξητικά τη διαδικασία ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης και τον κατακλυσμό «χαμηλού υψομέτρου» παρακτίων περιοχών της γης που μπορεί να υπερβεί και τα 2 μέτρα.
- Η αναταραχή σε πλανητική κλίμακα του υδρολογικού κύκλου με βροχές (και υέτιες κατακρημνίσεις) ασυνήθους διάρκειας και μεγέθους, με υψηλή συχνότητα και ένταση, με τη δημιουργία «ατμοσφαιρικών» πυρκαγιών και θυελλών τύπου El Niño, καταστροφικών ανέμων υψηλών ταχυτήτων.



Εικόνα 2-3: Εξέλιξη των συνολικών εκπομπών CO₂ ανά κράτος
 (<http://www.yaleclimateconnections.org/2013/07/global-co2-emissions-increases-dwarf-recent-u-s-reductions/>).

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ CO₂

- Αύξηση χρήσης καυσίμων μεγάλου λόγου H/C (Φυσικό αέριο, Βιοαέριο, κτλ) σε κατάλληλες χρήσεις (στη Βιομηχανία, τη θέρμανση χώρου, κτλ)
- Διεύρυνση της χρήσης ΑΠΕ (ανάπτυξη υδροδυναμικού, αξιοποίηση άλλων ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, ΑΠΕ σε θερμικές χρήσεις, κτλ).
- Εξοικονόμηση και ορθολογική χρήση ενέργειας.
- Εφαρμογή πιο αποδοτικών τεχνολογιών καύσης

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου προβληματίζει

Οι αλλαγές στο κλίμα εκτός από πολιτικές προκαλούν και επιστημονικές διαμάχες. Στο μόνο που συμφωνούν οι επιστήμονες είναι ότι το κλίμα αλλάζει. Διαφωνούν όμως στο ζήτημα της ταχύτητας με την οποία αλλάζει και στο ρόλο που παίζει η ανθρώπινη δραστηριότητα στις κλιματικές αλλαγές.

Οι αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί στο κλίμα είναι τριών ειδών. Πρώτον, υπάρχει μια τάση αύξησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης. Η μέση θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά περίπου 0,3 ως 0,6 °C από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα ως σήμερα. Δεύτερον, έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στις βροχοπτώσεις (διάρκεια, ένταση, συχνότητα, κτλ) και τρίτον τα τελευταία 100 χρόνια έχει ανέβει η στάθμη της θάλασσας από 10 ως 25 cm. Τέλος έχει παρατηρηθεί αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Υπάρχει ισχυρή άποψη μεταξύ των επιστημόνων ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα δεν ευθύνεται για τις αλλαγές στο κλίμα. Τονίζουν ότι το κλίμα περνά από κύκλους και ότι, κατά καιρούς, η μέση θερμοκρασία της γης έχει υπάρξει η μισή ή η διπλάσια από όση είναι σήμερα. Άλλοι πάλι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα απλώς επιταχύνει τις αλλαγές αυτές.

Διεθνή Πρωτόκολλα

Οι ανησυχίες για την πιθανολογούμενη αλλαγή του κλίματος του πλανήτη έχουν οδηγήσει μεγάλο αριθμό κυβερνήσεων σε συστράτευση για τη μελέτη και αντιμετώπιση των επιπτώσεων που θα προκληθούν στη φυσική ισορροπία. Στο πλαίσιο αυτό των κυβερνητικών δράσεων, υπογράφηκε η Σύμβαση για την Κλιματική Αλλαγή των Ηνωμένων Εθνών στο Ρίο ντε Τζανέιρο τον Ιούνιο του 1992, ενώ το Δεκέμβριο του 1997, με την 3η Σύνοδο των Συμβαλλόμενων Μερών της Σύμβασης, συνήφθη το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο καθόρισε για πρώτη φορά, νομικά δεσμευτικούς στόχους για τον περιορισμό των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου και παράλληλα επιβεβαίωσε την ανάγκη για διεθνή και συνδυασμένη συνεργασία που σχετίζονται με τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο οι βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες (που αναφέρονται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου), οφείλουν να μειώσουν τα αέρια θερμοκηπίου κατά 5,2% από τα επίπεδα του 1990 μέχρι την περίοδο 2008-12. Ο στόχος 5,2% αναλύεται σε επιμέρους στόχους για κάθε χώρα ή ομάδες χωρών. Οι ΗΠΑ που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Β δήλωσαν στη Διάσκεψη της Βόννη ότι δεν προτίθενται να επικυρώσουν το Πρωτόκολλο. Ο στόχος για την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μείωση 8% και οι επιμέρους στόχοι των χωρών-μελών καθορίζονται από τη «συμφωνία επιμερισμού του φορτίου» που συμφωνήθηκε από το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η συμβολή κάθε χώρας στον περιορισμό των ΑΦΘ φαίνεται στους πίνακες 2-3 και 2-4.

Πίνακας 2-3: Δεσμεύσεις για περιορισμό των Αερίων Θερμοκηπίου.

Χώρα	Στόχος για 2008/2012 με βάση τις εκπομπές 1990
ΕΕ-15, Βουλγαρία, Τσεχία, Εσθονία, Λετονία, Λιχτενστάιν, Λιθουανία, Μονακό, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ελβετία	- 8%
ΗΠΑ (δεν υπόγραψε το πρωτόκολλο του Κιότο)	- 7%
Καναδάς, Ουγγαρία, Ιαπωνία, Πολωνία	- 6%
Κροατία	- 5%
Νέα Ζηλανδία, Ρωσία, Ουκρανία	0%
Νορβηγία	+ 1%
Αυστραλία (δεν υπόγραψε το πρωτόκολλο του Κιότο)	+ 8%
Ισλανδία	+ 10%

Πίνακας 2-4: Δεσμεύσεις για περιορισμό των ΑΦΘ των 15 χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Χώρα	Ποσοστά εκπομπών (*)
Αυστρία	- 13,0%
Βέλγιο	- 7,5%
Δανία	- 21,0%
Φινλανδία	0,0%
Γαλλία	0,0%
Γερμανία	- 21,0%
Ελλάδα	+ 25,0%
Ιρλανδία	+ 13,0%
Ιταλία	- 6,5%
Λουξεμβούργο	- 28,0%
Ολλανδία	- 6,0%
Πορτογαλία	+ 27,0%
Ισπανία	+ 15,0%
Σουηδία	+ 4,0%
Ηνωμένο Βασίλειο	- 12,5%

(*) Δεσμεύσεις για μείωση των ΑΦΘ από τα επίπεδα του 1990 μέχρι την περίοδο 2008-12 εκφρασμένα σε ποσοστά των ετήσιων εκπομπών του 1990

Εμπόριο ρύπων (ΕΡ)

Η αγορά των δικαιωμάτων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (εμπόριο ρύπων) γεννήθηκε στο μυαλό των οικονομολόγων. Πρώτος είχε την ιδέα ο Αμερικανός Jon Harkness Dales πριν από 3 περίπου δεκαετίες. Σε τελική κατάληξη το αντικείμενο της συναλλαγής σε μια αγορά αυτού του είδους θα είναι ο αέρας. Φυσικά δεν θα πρόκειται για συνηθισμένο αέρα, αλλά αέρα στον οποίο υπάρχουν αέρια του θερμοκηπίου. Σήμερα σε παγκόσμιο επίπεδο εκπέμπονται ετησίως 23 δισ.t CO₂ και σύμφωνα με εκτιμήσεις η ποσότητα αυτή θα συνεχίζει να αυξάνεται. Η προσαρμογή όμως σε μια οικονομική ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον θα οδηγήσει μακροπρόθεσμα στην αύξηση του κόστους παραγωγής και για το λόγο αυτό, προς το παρόν, η καθιέρωση μέτρων που μπορούν να οδηγήσουν σε μια «πράσινη» ανάπτυξη είναι, για συγκεκριμένους τομείς της οικονομίας (όπως π.χ. τη χημική βιομηχανία) ανεπιθύμητη. Το εμπόριο των εκπομπών υποτίθεται ότι θα συντελέσει στη μείωση του κόστους αυτού.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο επιτρέπει στις χώρες του Παραρτήματος Β να συμμετέχουν σε εμπόριο εκπομπών μεταξύ τους σαν συμπληρωματικό μέσο επίτευξης των σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο στόχων τους. Το εμπόριο εκπομπών περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας αγοράς μεταβιβάσιμων δικαιωμάτων για εκπομπή ΑΦΘ που ονομάζονται και μεταβιβάσιμες άδειες. Αν μια χώρα προβλέπει ή μπορεί να πετύχει οικονομική μείωση των ΑΦΘ σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά που ορίζονται στο Πρωτόκολλο, μπορεί να μεταβιβάσει το δικαίωμα εκπομπής σε κάποια άλλη χώρα. Το κύριο πλεονέκτημα του εμπορίου εκπομπών είναι ότι δίνει τη δυνατότητα επίτευξης της μείωσης των ΑΦΘ σε χαμηλότερο κόστος από ότι αν η δράση ήταν περιορισμένη σε στενά γεωγραφικά όρια. Επίσης ότι διαχωρίζει τη χρηματοδότηση των τεχνολογιών για τη μείωση εκπομπών από τη χρήση τεχνολογιών, ευνοώντας διασυννοριακό μοίρασμα του κόστους και τη μεταφορά τεχνολογίας σε αναπτυσσόμενες χώρες. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα του εμπορίου ρύπων είναι ότι δεν μειώνει τις συνολικές εκπεμπόμενες ποσότητες ΑΦΘ, αλλά τις μεταφέρει σε άλλη γεωγραφική περιοχή ή περιορίζει την

οικονομική ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών στο βαθμό που τα δικαιώματά τους δεν αξιοποιούνται από την εγχώρια παραγωγική δραστηριότητα. αλλά πωλούνται σε άλλους ενδιαφερόμενους, που συνεχίζουν τις εκπομπές. Σημαντικό επίσης πρόβλημα είναι το γεγονός ότι το κόστος εκπομπών μεταφέρεται στον τελικό καταναλωτή μέσω της ενσωμάτωσης στην τελική τιμή των προϊόντων ή μέσω των λογαριασμών των επιχειρήσεων ηλεκτροπαραγωγής.

Το εμπόριο εκπομπών μπορεί να εφαρμοστεί εκτός από το διεθνές επίπεδο και στην εσωτερική αγορά μιας χώρας ή ακόμα και σε επίπεδο εταιρίας. Το διεθνές σύστημα εμπορίου εκπομπών αναμένεται να λειτουργήσει μετά την επικύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Εντωμεταξύ, συστήματα εμπορίου εκπομπών αναπτύσσονται σε αρκετές βιομηχανικές χώρες. Το 1ο υποχρεωτικό σύστημα αναπτύχθηκε στη Δανία το 2000 στον τομέα ηλεκτροπαραγωγής, ενώ στη Βρετανία λειτουργεί ένα εθελοντικό πιλοτικό σύστημα. Η εμπειρία είναι περιορισμένη όσον αφορά ΑΦΘ, αλλά υπάρχει εμπειρία από τη χρήση εμπορίου εκπομπών για άλλα περιβαλλοντικά θέματα. Παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το εμπόριο εκπομπών του SO₂ στις ΗΠΑ. Το σύστημα αυτό έφερε μείωση του κόστους της τεχνολογίας για την ελάττωση των εκπομπών SO₂ από 1.000 US\$/t SO₂ το 1990 σε 100 US\$/t SO₂ στα τέλη της δεκαετίας. Επίσης εμπόριο εκπομπών για NO_x ξεκίνησε στις ΗΠΑ το 1999.

Από Κοινού Εκτέλεση (ΑΚΕ)

Η ΑΚΕ επιτρέπει την από κοινού υλοποίηση έργων που αποσκοπούν στη μείωση των ΑΦΘ από επιμέρους πηγές ή από τη βελτίωση των ανθρωπογενών απορροφήσεων από καταβόθρες απορρόφησης των ΑΦΘ σε οποιοδήποτε τομέα της οικονομίας εφόσον τηρούν τις προϋποθέσεις που καθορίζονται από τα συμβαλλόμενα μέρη της σύμβασης πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (Conference of Parties – COP). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί μια βιομηχανική χώρα να επενδύσει σε ένα έργο που αναμένεται να φέρει μείωση των ΑΦΘ σε μια άλλη βιομηχανική χώρα και να κερδίσει έτσι μονάδες μείωσης εκπομπών που θα μετρήσουν έναντι των υποχρεώσεων της κατά το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η ΑΚΕ μπορεί να γίνει μόνο ανάμεσα στις ανεπτυγμένες χώρες, όπως αναφέρονται στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Οι χώρες αυτές αναφέρονται στο Παράρτημα 1 της σύμβασης πλαίσιο του ΟΗΕ για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC).

Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (ΜΚΑ)

Ο Μηχανισμός αυτός επιτρέπει την από κοινού εκτέλεση όπως το ΑΚΕ αλλά μεταξύ βιομηχανικών χωρών και αναπτυσσόμενων χωρών. Ο ΜΚΑ έχει μεγάλο ενδιαφέρον για τις βιομηχανικές χώρες, αφού αναμένεται ότι θα τους προσφέρει τη δυνατότητα για μείωση των ΑΦΘ σε σημαντικά χαμηλότερο κόστος από ότι αν η μείωση γινόταν εντός της χώρας. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες έχει επίσης ενδιαφέρον, αφού θα βοηθήσει στη μεταφορά της τεχνολογίας προς αυτές τις χώρες.

Ένα κρίσιμο σημείο για τους μηχανισμούς ΑΚΕ και ΜΚΑ είναι ο τρόπος με τον οποίο θα καθορίζεται η μείωση ΑΦΘ που προκύπτει από τα έργα. Για να καθοριστεί η ποσότητα των ΑΦΘ που αποφεύγονται από ένα έργο και οι μονάδες που κερδίζει η χώρα που το χρηματοδοτεί, πρέπει να γίνει μια εκτίμηση των ΑΦΘ που θα εκπέμπονταν αν δε γινόταν το έργο. Οι εκτιμήσεις αυτές είναι συχνά δύσκολες και πρέπει να βασίζονται σε κοινές παραδοχές για όλα τα έργα, ώστε το σύστημα να λειτουργεί σωστά. Προς το παρόν η εμπειρία από τέτοια έργα προέρχεται από πιλοτικά σχήματα. Το πιλοτικό σύστημα Activities Implemented Jointly του UNFCCC απαριθμούσε 145 έργα στο τέλος του 2000· κυρίως έργα για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας (π.χ. βελτίωση μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ή τηλεθέρμανσης, λαμπτήρες εξοικονόμησης ρεύματος) και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα). Άλλα πιλοτικά προγράμματα είναι το Prototype Carbon Fund της Παγκόσμιας Τράπεζας, η βάση δεδομένων του Παγκόσμιου Συμβουλίου Ενέργειας καθώς και το πιλοτικό σχήμα της κυβέρνησης της Ολλανδίας (ERU-PT).

Οι υποχρεώσεις της Ελλάδας

Η Ελλάδα είχε περιθώριο, όπως προκύπτει από το Κιότο και τις κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, να αυξήσει τις εκπομπές των συγκεκριμένων αερίων κατά 25% μέχρι το 2012, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Στην περίπτωση όμως που δε λαμβανόταν τα απαραίτητα μέτρα η αύξηση αναμενόταν να προσεγγίσει το 35%, καθώς ήδη το 2005 και το 2007 η αύξηση των ΑΦΘ ξεπέρασε το 25%, στοιχείο που φανερώνει την αναγκαιότητα της έγκαιρης λήψης ολοκληρωμένης δέσμης μέτρων, τα οποία θα συμβάλλουν στην επίτευξη του επιδιωκόμενου στόχου. Ειδικότερα ο ενεργειακός τομέας είναι εκείνος που παρουσιάζει τη σημαντικότερη αύξηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ο οποίος φτάνει το 45% το 2010. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή στην αύξηση των εκπομπών από τον κλάδο των βιομηχανικών διεργασιών, κυρίως λόγω της εκτεταμένης χρήσης συσκευών που περιέχουν αέρια με κύριο συστατικό το Φθόριο (f-gases, HFCs: Υδρο-φθορο-υδρογονάνθρακες, PFCs: Υπερφθορομεθάνιο, SF₆: εξαφθοριούχο Θείο). Ο άμεσος σχεδιασμός και η γρήγορη ολοκλήρωση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος περιορισμού των εκπομπών στο οποίο θα προσδιορίζονται άμεσοι αλλά και μακροπρόθεσμοι στόχοι συμπυκνώνονται στο 2^ο Εθνικό Πρόγραμμα, το οποίο επεξεργάστηκε το ΥΠΕΧΩΔΕ.

Η οικονομική ύφεση που πλήττει την χώρα από το 2008 συνέβαλε στη μείωση των ΑΦΘ καθώς το 2010 η παραγωγή τους ήταν σημαντικά μειωμένη σε σχέση με το 2007, ενώ σε σχέση με το 1990 ήταν αυξημένη κατά περίπου 13% (ΥΠΕΚΑ, *Annual Emission Inventory under the convention and the Kyoto Protocol for the Greenhouse and other gases for the years 1990-2010*, Απρίλιος 2012).

Σήμερα, οι στόχοι της Ε.Ε. για την προστασία από του κλίματος και για την ασφαλή ενεργειακή τροφοδοσία, γνωστοί ως στόχοι "20-20-20" περιλαμβάνουν:

- Μείωση κατά 20% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ε.Ε. σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.
- Αύξηση του ποσοστού κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας από ΑΠΕ στο 20%.
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην Ε.Ε. κατά 20%.

Στα πλαίσια των ανωτέρω στόχων, οι στόχοι της χώρας μας για τις Α.Π.Ε. μέχρι το έτος 2020 καθορίζονται ως εξής:

- α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.
- β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%.
- γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.
- δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.

2.2. Ελάττωση του στρατοσφαιρικού όζοντος

Το όζον συναντάται σε δύο επίπεδα της ατμόσφαιρας: στη στρατόσφαιρα (γύρω στα 15-50 km πάνω από το έδαφος) και στην τροπόσφαιρα (το χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας μέχρι και 15 km πάνω από το έδαφος). Το όζον συγκεντρώνεται στη στρατόσφαιρα σαν στρώμα που είναι σαν μια παχιά ζώνη γύρω από τη γη και δρα σαν φίλτρο που εμποδίζει την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία να φτάσει στη γη. Αυτή η συγκέντρωση είναι χρήσιμη, αφού προστατεύει τη γη απορροφώντας περίπου 80-90% της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος προκαλεί ανησυχία για την επίδραση της ηλιοθεραπείας και την πρόκληση καρκίνου του δέρματος. Αυτός ο καρκίνος μπορεί να διακριθεί σε δυο ειδών: καρκίνωμα και μελάνωμα. Το μελάνωμα μπορεί να είναι ολέθριο. Μείωση κατά 1% του στρατοσφαιρικού όζοντος οδηγεί σε 1-2% αύξηση της υπεριώδους ακτινοβολίας και σε 3-4% αύξηση στο καρκίνωμα του δέρματος. Ακόμη, αυτή η συγκεκριμένη μείωση στο όζον ισοδυναμεί με περίπου 150.000 αυξήσεις

συμπτωμάτων καταρράκτη παγκοσμίως. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει όρια προστασίας της υγείας σε $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ανά 8ωρο για 1 ώρα. Το όζον στη στρατόσφαιρα καταστρέφεται όταν χλώριο και βρώμιο εμφανίζονται στην ατομική τους μορφή (σαν ρίζες) ή σαν ενεργά ανόργανα σώματα.

Η καταστροφή στη στιβάδα του όζοντος της στρατόσφαιρας προκλήθηκε από τη συνεχή απελευθέρωση βιομηχανικών αλογονανθράκων (CFC). Επίσης και τα αεροπλάνα προκαλούν ζημία στη στιβάδα του O_3 αφού, όσο υψηλότερα πετούν, τόσο γρηγορότερα φθάνουν στον προορισμό τους και τόσο μεγαλύτερη είναι η ζημία στη στιβάδα του O_3 από τις εκπομπές NO_x .

Οι αλογονάνθρακες ταξιδεύουν στη ατμόσφαιρα προς τα επάνω και με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας διασπώνται και απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα χλωρίου που καταστρέφει εύκολα και γρήγορα τη στιβάδα του O_3 . Όταν τα CFCs φτάνουν πάνω από τη στιβάδα του O_3 , τα αλογόνα ελευθερώνονται. Η δυνατότητα αλογόνων να καταστρέφουν το O_3 είναι συνάρτηση της ευκολίας με την οποία οι ενεργές ρίζες μπορούν να ελευθερώνονται από τις μεγάλες ποσότητες αερίων, όπως φθόριο και υδροφθόριο εξαιτίας της συνεχούς απελευθέρωσης CFCs. Η φωτόλυση και η οξειδωση στην ατμόσφαιρα απομακρύνουν μεγάλες ποσότητες CFCs.

Το 50% της παγκόσμιας κατανάλωσης CFCs χρησιμοποιείται στον κλιματισμό, στις αντλίες θερμότητας, στην ψύξη (συντήρηση τροφίμων) και στην παραγωγή ορισμένων πλαστικών.

2.3. Φωτοχημικό νέφος

Το φωτοχημικό νέφος χαρακτηρίζεται από το φωτοχημικό σχηματισμό δευτερογενών ατμοσφαιρικών ρύπων με οξειδωτικές ιδιότητες, όπως είναι το O_3 , το NO_2 , το νιτρικό υπεροξυ-ακετύλιο (PAN), κ.ά.

Το τροποσφαιρικό όζον είναι δευτερογενής ρύπος που παράγεται μετά από πολύπλοκες αντιδράσεις. Το όζον είναι σημαντικό συστατικό του νέφους (φωτοχημικής αιθαλομίχλης) που δημιουργείται όταν η ηλιακή ακτινοβολία επιδράσει σε μίγμα CO, VOC και NO_x . Η ποσότητα στρατοσφαιρικού όζοντος που συγκεντρώνεται στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας είναι επιβλαβής στην υγεία, τη βλάστηση (π.χ. κηπευτικά), ενώ μπορεί να είναι θανατηφόρα για φυτά και ζώα όταν ξεπερνά τα $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα και ευπάθεια σε φυτά (κιτρίνισμα ή και πτώση φύλλων).

Για να δημιουργηθεί φωτοχημικό νέφος σε μια περιοχή πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να επικρατεί άπνοια και ταυτόχρονη θερμοκρασιακή αναστροφή.
- Να εκπέμπονται πρωτογενείς ρύποι, όπως VOC, NO_x , κ.ά.
- Να υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία μεγάλης έντασης.

Το φωτοχημικό νέφος μελετήθηκε για πρώτη φορά στο Los Angeles. Στο νέφος της περιοχής αυτής αναφέρεται ένας τεράστιος όγκος διεθνούς βιβλιογραφίας. Αργότερα διαπιστώθηκε ότι το φαινόμενο αυτό αποτελεί κοινό πρόβλημα των περισσότερων αστικών περιοχών. Η αιτία που το προκαλεί είναι η εκπομπή NO_x και VOC με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Αυτό αποδείχτηκε από πειράματα μέσα σε ειδικούς θαλάμους, όπου γίνεται προσομοίωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών (π.χ. της ηλιακής ακτινοβολίας) και παρακολούθηση της μετατροπής των πρωτογενών ρύπων (πχ από καυσαέρια αυτοκινήτων) σε δευτερογενείς.

Στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις των πρωτογενών ρύπων VOC και NO εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές νωρίς το πρωί από τις εκπομπές αυτοκινήτων. Με την ανατολή του ηλίου και την έναρξη των φωτοχημικών αντιδράσεων μειώνονται οι συγκεντρώσεις VOC και NO, ενώ παράλληλα αρχίζει σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεων των δευτερογενών ρύπων NO_2 , O_3 και αλδευδών. Η μέγιστη συγκέντρωση του O_3 εμφανίζεται κατά κανόνα, το απόγευμα. Ο χρόνος σχηματισμού της μέγιστης συγκέντρωσης O_3 εξαρτάται από το λόγο VOC /NO, το είδος των VOC καθώς και από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, κ.ά.).

Το είδος των VOC έχει πολύ σημαντική επίδραση τόσο στο χρόνο σχηματισμού του μέγιστου O₃, όσο και στην παραγόμενη ποσότητα O₃. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι VOC διαφέρουν ως προς τη φωτοχημική τους δραστηριότητα. Η φωτοχημική δραστηριότητα των VOC εκφράζεται από την ταχύτητα αντίδρασής τους. Πιο δραστικοί φωτοχημικά VOC είναι οι βιογενούς προέλευσης (π.χ. από τα δάση), τα αλκένια, τα αλκαδιένια και τα κυκλοπεντένια.

Επιδράσεις του φωτοχημικού νέφους

Τα συστατικά του φωτοχημικού νέφους έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου, τη βλάστηση, τα διάφορα υλικά και τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (ορατότητα). Ο βαθμός στον οποίο η έκθεση στο φωτοχημικό νέφος επιδρά στην υγεία του ανθρώπου δεν είναι επακριβώς γνωστός, αν και πολλά από τα συστατικά του έχουν τοξικές επιδράσεις.

Το O₃ είναι γνωστό ότι είναι τοξικό, το PAN και οι αλδεΐδες είναι ισχυρά ερεθιστικά των ματιών και του λαιμού, ενώ το HNO₃ και το H₂SO₄ είναι ερεθιστικά των πνευμόνων.

Τα συστατικά του νέφους επιδρούν δυσμενώς και στα διάφορα υλικά. Η φθορά του ελαστικού (cracking) από το O₃ είναι γνωστή από παλιά και μάλιστα χρησιμοποιήθηκε και ως διαγνωστικό του σχηματισμού O₃ σε πρώιμες μελέτες του φωτοχημικού νέφους. Επίσης τα σχηματιζόμενα οξέα, HNO₃ και κυρίως το H₂SO₄ προκαλούν διάβρωση σε πολλά υλικά.

Σημαντικές είναι οι επιδράσεις του φωτοχημικού νέφους και στην ορατότητα της ατμόσφαιρας, που οφείλεται στο σχηματισμό αεροζόλ από τον πολυμερισμό μικρότερων μορίων που παράγονται από τις φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι περισσότερες από αυτές είναι αντιδράσεις οξειδωσης VOC γι' αυτό και τα αεροζόλ αυτά αποτελούνται κυρίως από οξυγονούχες οργανικές ενώσεις (αλκοόλες, αλδεΐδες, κετόνες, οργανικά οξέα, εστέρες και οργανικά νιτρικά).

Ιδιαίτερα μεγάλη σημασία έχουν οι καταστροφικές επιδράσεις του φωτοχημικού νέφους στη βλάστηση. Οι καταστροφικές επιδράσεις οφείλονται στα οξειδωτικά, όπως το O₃, το PAN και το NO₂. Τη μεγαλύτερη φυτοτοξικότητα εμφανίζει το PAN, το οποίο προσβάλλει τα νεαρά φύλλα προσδίδοντας τους μπρούτζινη, γυαλιστερή επιφάνεια. Η τοξικότητα του PAN οφείλεται στην καταστροφή των σουλφυδριλικών ομάδων των πρωτεϊνών των φυτών. Έκθεση για αρκετές ώρες σε ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις PAN μόλις 20-50 ppb προκαλεί ανεπανόρθωτες βλάβες στα φυτά. Ευτυχώς το PAN υπάρχει συνήθως στην ατμόσφαιρα σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Το NO₂ βρίσκεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, αλλά η φυτοτοξικότητά του είναι πολύ μικρότερη. Έτσι το O₃ αποτελεί τη μεγαλύτερη οξειδωτική απειλή για τη βλάστηση.

Πίνακας 2-5: Τοξική δράση O₃ και άλλων συστατικών του φωτοχημικού νέφους.

Συνθήκες έκθεσης	Επιδράσεις
Συγκέντρωση O ₃ 200 µg/m ³	Βήχας. Δυσμενείς επιδράσεις στη λειτουργία των πνευμόνων
Συγκέντρωση οξειδωτικών 200-500 µg/m ³ για 1h	Αύξηση της συχνότητας ασθματικών προσβολών. Ερεθισμός ματιών
Συγκέντρωση οξειδωτικών 400-1.400 µg/m ³ για 1h	Stress σε ασθενείς με χρόνιες πνευμονικές παθήσεις
Συγκέντρωση O ₃ 700-800 µg/m ³ για 2h	Δύσπνοια σε υγιή άτομα

Η φυτοτοξικότητα του O₃ εκδηλώνεται συχνά με χαρακτηριστικές κίτρινες κηλίδες στην επιφάνεια των φύλλων (π.χ. των εσπεριδοειδών) ή με αναστολή της ανάπτυξης των φυτών χωρίς άλλα συμπτώματα.

Γενικά έκθεση σε συγκέντρωση O₃ περίπου 60 ppb μπορεί προσωρινά να μειώσει στο μισό την ταχύτητα φωτοσύνθεσης σ' ένα φυτό. Οι καταστροφές που προκαλεί το O₃ στις σοδειές σε πολλές περιοχές έχουν μεγάλο οικονομικό κόστος. Για την προστασία της βλάστησης από το O₃ έχουν θεσπιστεί και αντίστοιχα όρια (200 µg/m³ ως μέση ωριαία τιμή και 65 µg/m³ ως μέση τιμή 24ώρου).

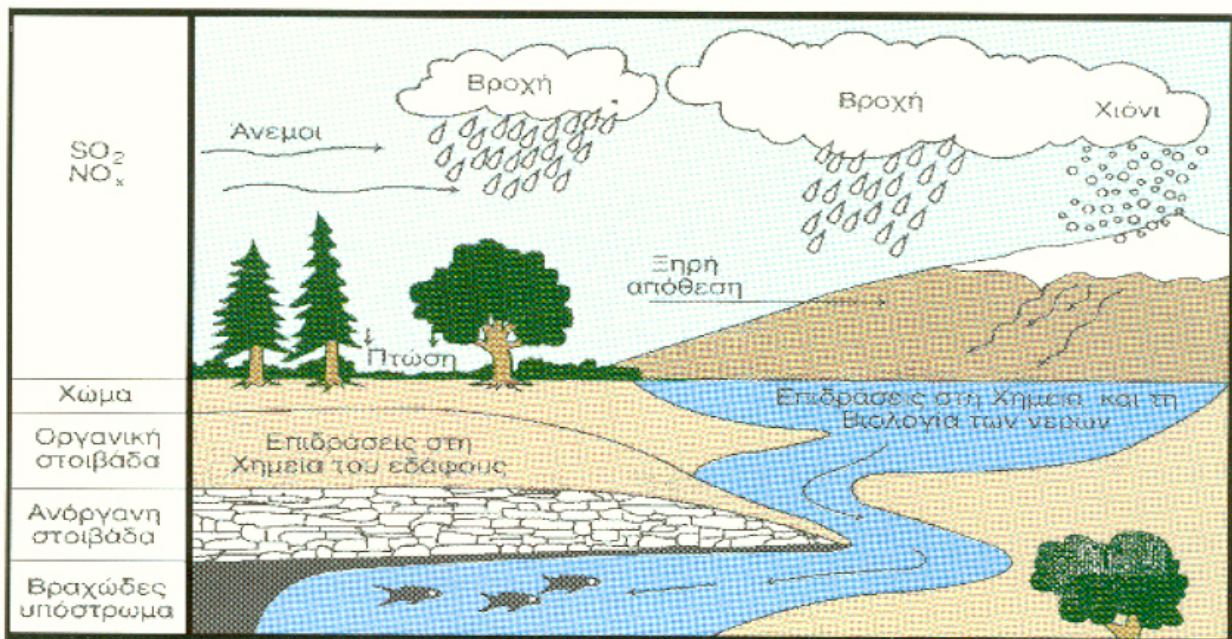
2.4. Όξινη βροχή

Με τον όρο όξινη βροχή εννοούμε τη βροχή με pH χαμηλότερου του φυσιολογικού. Ως φυσιολογικό pH για την καθαρή βροχή θεωρείται η τιμή 5,6, η οποία αντιστοιχεί στο pH του αποσταγμένου νερού που βρίσκεται σε ισορροπία με το CO₂. Ανάλογος ορισμός ισχύει και για τα άλλα μετεωρικά κατακρημνίσματα (χιόνι, χαλάζι, ομίχλη).

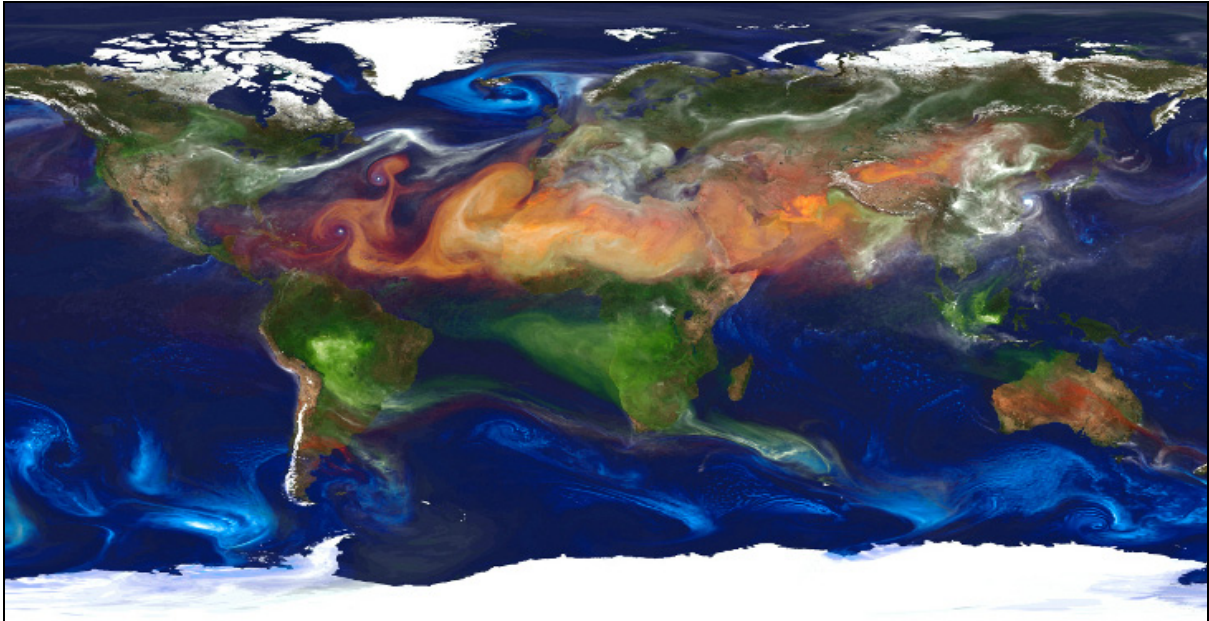
Η οξύτητα του νερού της βροχής οφείλεται στην παρουσία κυρίως ισχυρών οξέων, H₂SO₄ και HNO₃. Σε μερικές περιπτώσεις συνυπάρχουν και άλλα ανόργανα (HCl, H₃PO₄) ή οργανικά οξέα (HCOOH, CH₃COOH), συνήθως όμως όχι σε σημαντικές ποσότητες. Τα χλωριούχα ανιόντα βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις και προκύπτουν κυρίως από ουδέτερα άλατα, συνήθως θαλάσσιας προέλευσης, παρά από το HCl.

Έχει διαπιστωθεί ότι το φαινόμενο της όξινης βροχής έχει επιπτώσεις σ' όλα σχεδόν τα συστατικά της βιόσφαιρας: το έδαφος, τα δάση και τις καλλιέργειες, τις λίμνες και την υδρόβια ζωή, τα διάφορα υλικά, τα κτίρια, τους σωλήνες ύδρευσης και τα μνημεία. Στην εικόνα 2-4 φαίνονται παραστατικά οι τρόποι με τους οποίους η όξινη βροχή συμμετέχει στους διάφορους βιογαιοχημικούς κύκλους.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της όξινης βροχής είναι το γεγονός ότι μεγάλο τμήμα των όξινων χημικών ενώσεων/ρύπων που παράγονται σε μια χώρα μπορεί να μεταφερθούν σ' άλλες χώρες μέσω των ανέμων (διασυνοριακή ρύπανση). Για παράδειγμα, πάνω από το 75% των όξινων αποθέσεων στη Νορβηγία, Ελβετία, Αυστρία, Σουηδία, Ολλανδία και Φινλανδία μεταφέρονται μέσω του ανέμου σ' αυτές τις χώρες από τις βιομηχανικές περιοχές της Δυτικής και Ανατολικής Ευρώπης. Η απόθεση οξέων επίσης αποτελεί μεγάλο πρόβλημα στην Κίνα, την Ουκρανία, τη Ρωσία, την Ινδία, τη Νιγηρία, τη Βραζιλία, τη Βενεζουέλα και στην Κολομβία.



Εικόνα 2-4: Ο κύκλος της όξινης βροχής.



Εικόνα 2-5: Πλανητικές εκπομπές σωματιδίων: σκόνη (κόκκινο), καπνός δασικών πυρκαγιών (πράσινο), θειούχες ενώσεις ηφαιστειών και καυσίμων (άσπρο), αλάτι θάλασσας (μπλε)
 (<http://news.softpedia.com/news/NASA-Releases-Gorgeous-Map-of-Global-Airborne-Particles-307071.shtml>).

Κεφάλαιο 3^ο – Γενική μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών¹

3.1. Γενικά

Αν εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις, όπου οι εκπομπές είναι γνωστές μέσω άμεσων επί τόπου μετρήσεων στις καπνοδόχους ή με ισοζύγια μάζας, ο πιο γενικός τρόπος υπολογισμού των εκπομπών είναι η χρήση συντελεστών εκπομπής σύμφωνα με τη γενική σχέση <3-1>:

$$\text{Εκπομπή} = \text{Συντελεστής Εκπομπής} \times \text{Επίπεδο Δραστηριότητας} \quad <3-1>$$

Ο υπολογισμός των εκπομπών βασίζεται σε τουλάχιστον τρεις ξεχωριστές ομάδες δεδομένων και εκτιμήσεων:

1. Συντελεστές εκπομπής.
2. Επίπεδο δραστηριότητας (π.χ. οι δραστηριότητες του ενεργειακού συστήματος: παραγωγή, μεταφορά/διανομή, χρήση ενέργειας).
3. Σχετική κατανομή τεχνολογιών ανά δραστηριότητα.

3.2. Εκπομπές SO₂ και CO₂

Οι εκπομπές SO₂ και CO₂ από κάθε κατηγορία καύσης υπολογίζονται στη βάση των ισοζυγίων μάζας.

Οι εκπομπές SO₂ υπολογίζονται από την καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου, την περιεκτικότητα του καυσίμου σε Θείο και την ύπαρξη στην τέφρα ενώσεων που δεσμεύουν το θείο, ή γενικότερα με τη δυνατότητα συγκράτησης του θείου κατά τη διεργασία της καύσης.

$$Q_{s,j,SO_2} = \frac{64}{32} \times \Delta_{s,j} \times C_s \times (1-r) \times (1-\eta_{sec} \times \beta) \quad [t/an] \quad <3-2>$$

όπου	s	δείκτης που αναφέρεται στο θεωρούμενο κλάδο (Βιομηχανία, κεντρική θέρμανση, οδικές μεταφορές, κτλ)
	j	δείκτης που αναφέρεται στη θεωρούμενη δραστηριότητα καύσης (άνθρακα, λιγνίτη, πετρελαίου diesel, πετρελαίου Μαζούτ, φυσικού αερίου, LPG, κτλ),
	C _s	η περιεκτικότητα σε Θείο του καυσίμου [κ.β.],
	r	το ποσοστό φυσικής συγκράτησης του θείου.
	η _{sec}	η απόδοση των δευτερευόντων μέτρων αντιρρύπανσης
	β	η διαθεσιμότητα των δευτερευόντων μέτρων αντιρρύπανσης
	Q _{s,j,SO₂}	εκπεμπόμενη ποσότητα SO ₂ σε τόνους ανά έτος [t/an], από τον κλάδο s και τη δραστηριότητα j
	Δ _{s,j}	μέγεθος δραστηριότητας, εκφραζόμενο σε τόνους ανά έτος [t/an], για τον κλάδο s και τη δραστηριότητα j.

¹ Η ενότητα βασίζεται στον οδηγό για την απογραφή αέριων εκπομπών «EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook». Ο πλήρης οδηγός μπορεί να βρεθεί εδώ: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.

Για υγρά και αέρια καύσιμα το r θεωρείται μηδέν. Για τα στερεά καύσιμα δεν υπάρχει ενιαία τιμή γιατί οι ιδιότητες συγκράτησης εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε ξεχωριστού κοιτάσματος. Για την Ελλάδα το ποσοστό συγκράτησης για τους λιγνίτες της περιοχής Πτολεμαΐδας εκτιμήθηκε σε $r = 0,8$ ενώ για τους λιγνίτες της Μεγαλόπολης σε $r = 0,2$.

Οι εκπομπές CO_2 υπολογίζονται από την καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου και την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα. Γίνεται η παραδοχή ότι το σύνολο του οξειδούμενου άνθρακα μετατρέπεται τελικά σε CO_2 (και όχι σε CO ή/και HC).

$$Q_{s,j,CO_2} = \frac{44}{12} \times \Delta_{s,j} \times C_c \times F_o \quad [t/αν] \quad <3-3>$$

όπου C_c η περιεκτικότητα σε Άνθρακα του καυσίμου [κ.β.]. Για την περίπτωση των λιγνιτών και των άλλων ανθράκων το ποσοστό του άνθρακα αφορά τον ολικό άνθρακα (οργανικό και αλάτων),
 F_o το κλάσμα του καυσίμου που οξειδώνεται ($F_o = 98\%$ για στερεά καύσιμα, 99% για υγρά, $99,5\%$ για αέρια, 90% για βιομάζα - καυσόξυλα, ξυλοκάρβουνα, κτλ).

3.3. Συντελεστές εκπομπής

Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι διαθέσιμοι συντελεστές εκπομπής από την εξεταζόμενη πηγή. Κατά συνέπεια πρέπει να χρησιμοποιηθούν αποδεκτοί τυπικοί συντελεστές εκπομπής (Default Emission Factors).

Οι συντελεστές αυτοί είναι μέσοι όροι μετρήσεων για κάθε ένα συγκεκριμένο τύπο δραστηριότητας ή τεχνολογίας, που χρησιμοποιείται σε διαφορετικά μέρη κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Οι συντελεστές εκπομπής όλων των αερίων, εκτός των SO_2 και CO_2 , από τις δραστηριότητες καύσης διαφοροποιούνται λιγότερο ή περισσότερο ανάλογα με:

- το είδος του καυσίμου,
- την εφαρμοζόμενη τεχνολογία,
- τις συνθήκες λειτουργίας,
- τη συντήρηση και την ηλικία της τεχνολογίας.

Είναι δηλαδή άμεσα εξαρτώμενοι από τον τύπο και την κατάσταση της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας καθώς και από τις αντιρρυθπαντικές πολιτικές, στο βαθμό που εφαρμόζονται τέτοιες.

Συντελεστές εκπομπής SO_2 και CO_2

Οι συντελεστές εκπομπής του SO_2 και του CO_2 υπολογίζονται από τις σχέσεις <3-4> και <3-5>, που ανάγουν τις σχέσεις <3-2> και <3-3> ανά μονάδα ενέργειας.

$$EF_{SO_2} = 10^9 \times \frac{64}{32} \times \frac{C_s}{H_u} \times (1-r) \times (1-\eta_{sec} \times \beta) \quad [g/GJ] \quad <3-4>$$

$$EF_{CO_2} = 10^9 \times \frac{44}{12} \times \frac{C_c}{H_u} \times F_o \quad [g/GJ] \quad <3-5>$$

όπου H_u είναι η μέση κατώτερη θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ) του καυσίμου [kJ/kg].

Συντελεστές εκπομπής λοιπών αερίων

Στην Ελλάδα μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ενιαίο σύνολο συντελεστών εκπομπής για NO_x , NMVOC, CH_4 , N_2O , CO, NH_3 και PM, που να στηρίζεται σε αποκλειστικά ελληνικά δεδομένα. Μπορούν να υιοθετηθούν οι τιμές των τυπικών συντελεστών εκπομπής της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook*), που αντανακλούν ικανοποιητικά την ελληνική πραγματικότητα, καθώς μεγάλος αριθμός μετρήσεων έχουν γίνει και στη χώρα μας, κυρίως για την οδική κυκλοφορία, αλλά και διότι η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι παρόμοια σε διεθνές επίπεδο.

3.4. Εκπομπές από σταθερές πηγές καύσης

Στις σταθερές πηγές καύσης περιλαμβάνονται η ηλεκτροπαραγωγή (λέβητες, αεριοστρόβιλοι, ΜΕΚ), η παραγωγή θερμότητας στη βιομηχανία (λέβητες, φούρνοι) και τη βιοτεχνία (καυστήρες, φούρνοι) καθώς και η θέρμανση χώρου (κεντρικές θερμάνσεις, θερμάστρες).

Οι εκπεμπόμενες ποσότητες SO_2 έχουν άμεση σχέση με την καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου, την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, την παρουσία ενώσεων που μπορούν να δεσμεύσουν θείο, τις πολιτικές ελέγχου ρύπανσης και δεν εξαρτώνται από την εφαρμοζόμενη τεχνολογία καύσης. Οι εκπεμπόμενες ποσότητες CO_2 έχουν άμεση σχέση με την καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου, την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα και το ποσοστό του καυσίμου που οξειδώνεται και δεν εξαρτώνται από την εφαρμοζόμενη τεχνολογία. Αντιθέτως οι εκπομπές των λοιπών αερίων ρύπων εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, την τεχνολογία καύσης και τις πολιτικές ελέγχου ρύπανσης. Πιο ειδικά οι εκπομπές διαφοροποιούνται και με το μέγεθος της ισχύος του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, τη συντήρηση και την κατάσταση λειτουργίας του. Κατά συνέπεια η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών SO_2 και CO_2 μπορεί να βασιστεί σε συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία καταναλώσεων (προσέγγιση “top-down”), ενώ η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών των λοιπών αερίων πρέπει να είναι αναλυτική ανά κατηγορία πηγής εκπομπών (προσέγγιση “bottom-up”).

Το κύριο πρόβλημα στις απογραφές εκπομπών από πηγές καύσης είναι τα NO_x . Ο λόγος είναι ότι ο σχηματισμός NO_x είναι μια σύνθετη διεργασία. Οι εκπομπές NO_x εξαρτώνται κατά ένα μέρος από το περιεχόμενο στο καύσιμο άζωτο (NO_x καυσίμου - fuel NO_x) και κατά ένα άλλο από το μοριακό άζωτο του αέρα καύσης ή των αερίων καυσίμων (θερμικά NO_x - thermal NO_x). Το 20 με 70% του αζώτου των καυσίμων μετατρέπεται σε NO_x και επομένως οι εκπομπές NO_x από καύση πετρελαίου ή άνθρακα αποτελούνται κατά το μεγαλύτερο μέρος από NO_x καυσίμου (μέχρι 80%). Ο ρυθμός σχηματισμού θερμικών NO_x εξαρτάται από το διαθέσιμο οξυγόνο, από τη θερμοκρασία της φλόγας και το χρόνο παραμονής. Περίσσεια αέρος και υψηλές θερμοκρασίες θαλάμου καύσης συμβάλλουν σε υψηλές εκπομπές NO_x . Χαμηλή ποσότητα αέρα, ανακύκλωση καυσαερίων, μη στοιχειομετρική καύση και λειτουργία σε μειωμένο φορτίο έχουν σαν γενική επίπτωση τη μείωση των εκπομπών. Το μέγεθος του λέβητα επιδρά στο ρυθμό εκπομπής NO_x λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών των μικρών μονάδων.

Οι VOC (CH_4 και NMVOC) και το CO είναι αέρια, που εκπέμπονται λόγω ατελούς καύσης. Σε αντίθεση με τα NO_x οι συνθήκες καύσης σε μεγάλες μονάδες ευνοούν λιγότερο το σχηματισμό και την απελευθέρωση CO και VOC (του CH_4 συμπεριλαμβανομένου). Οι εκπομπές VOC και CO επηρεάζονται άμεσα από τη χρήση, τον τύπο και το μέγεθος της τεχνολογίας, την ηλικία και την κατάσταση συντήρησής της. Η κακή λειτουργία ή/και η ελλιπής συντήρηση μπορούν να επηρεάσουν τις εκπομπές ακόμα και σε τάξη μεγέθους. Επίσης κατά την έναρξη λειτουργίας, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών οι εκπομπές είναι υψηλότερες απ’ ότι κατά τη μόνιμη λειτουργία σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας. Στις μικρές μονάδες οι ρυθμοί εκπομπής CO και VOC είναι συνήθως μεγαλύτεροι, λόγω της έλλειψης ελέγχου. Οι ξυλόσομπες έχουν ιδιαίτερα αυξημένους ρυθμούς εκπομπής CO και VOC λόγω των πολύ κακών συνθηκών καύσης σε αυτές.

Το CH_4 , λόγω της άμεσης σημασίας του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και της χαμηλής δραστηριότητάς του, ξεετάζεται ξεχωριστά από τους λοιπούς VOC (Non-Methane VOC, NMVOC). Οι

εκπομπές VOC από σταθερές πηγές καύσης αποτελούνται κατά 30 - 50% από CH₄.

Το N₂O δημιουργείται άμεσα κατά τις δραστηριότητες καύσης. Ο μηχανισμός σχηματισμού του δεν είναι ακόμη πλήρως διευκρινισμένος και υπάρχει δυσκολία στην ανάπτυξη περιεκτικής μεθοδολογίας υπολογισμού του. Κατά συνέπεια, και σε συνδυασμό με την έλλειψη μετρήσεων εκπομπών N₂O, τα δεδομένα για συντελεστές N₂O είναι περιορισμένα.

Μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών από σταθερές πηγές καύσης

Ο υπολογισμός των εκπομπών αερίων ρύπων μπορεί να περιγραφεί σύμφωνα με τη σχέση <3-6>:

$$Q_{s,i,j,k} = 10^6 \times EF_{i,j,k} \times \Delta_{s,i,j} \quad [t/an] \quad <3-6>$$

όπου s	δείκτης που αναφέρεται στο θεωρούμενο κλάδο (Βιομηχανία, μικρές μονάδες καύσης, κεντρική θέρμανση, κτλ)
i	δείκτης που αναφέρεται στη θεωρούμενη τεχνολογία/σταθερή πηγή εκπομπής (σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλη βιομηχανική μονάδα, σύνολο κλάδου, κτλ),
j	δείκτης που αναφέρεται στη θεωρούμενη δραστηριότητα καύσης (άνθρακα, λιγνίτη, πετρελαίου diesel, πετρελαίου Μαζούτ, φυσικού αερίου, LPG, κτλ),
k	δείκτης, που αναφέρεται στον εκπεμπόμενο ρύπο (NO _x , NMVOC, CH ₄ , N ₂ O, CO, PM, κ.ά.),
Q _{s,i,j,k}	εκπεμπόμενη ποσότητα του ρύπου k σε τόνους ανά έτος [t/an], από τον κλάδο s, την τεχνολογία i και τη δραστηριότητα j
EF _{i,j,k}	συντελεστής εκπομπής για τον ρύπο k, την τεχνολογία i και τη δραστηριότητα j εκφραζόμενος σε g/GJ
Δ _{s,i,j}	μέγεθος δραστηριότητας, εκφραζόμενο σε GJ/an, για τον κλάδο s, την τεχνολογία i και τη δραστηριότητα j.

3.5. Εκπομπές από κινητές πηγές καύσης

Οι εκπομπές από κινητές πηγές υπολογίζονται ανά κύρια κατηγορία μεταφορών (οδικές, σιδηροδρομικές, θαλάσσης, αέρος και κίνηση οχημάτων εκτός οδικού δικτύου - γεωργικών, χωματοουργικών, κτλ). Οι οδικές μεταφορές καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της κατανάλωσης καυσίμων στις μεταφορές και για το λόγο αυτό συγκεντρώνουν το κύριο ενδιαφέρον μελέτης.

Οι εκπομπές NO_x (σε g/km), όταν δεν υπάρχει αντιρρυπαντική τεχνολογία, είναι γενικά χαμηλότερες στα πετρελαιοκίνητα οχήματα απ' ό,τι στα βενζινοκίνητα. Επίσης είναι γενικά χαμηλότερες στα μικρά φορτηγά (LDV) απ' ό,τι στα μεγάλα (HDV).

Οι εκπομπές CO είναι συνάρτηση της απόδοσης της καύσης και της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας μετά την καύση. Είναι υψηλότερες σε λειτουργία κινητήρων σε χαμηλό φορτίο, στα πλούσια μίγματα, και σε κινητήρες σε κατάσταση ψυχρής εκκίνησης.

Οι εκπομπές VOC είναι συνάρτηση του ποσοστού τους στο καύσιμο, του ποσοστού άκαυστου καυσίμου και της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Σε κινητήρες χωρίς αντιρρυπαντική τεχνολογία οι εκπομπές NMVOC εξαρτώνται από το λόγο αέρος. Είναι γενικά μεγαλύτερες σε χαμηλό φορτίο. Ο τύπος του κινητήρα, η ρύθμισή του και το είδος του καυσίμου έχουν σοβαρή επίδραση.

Όπως και στις σταθερές/ακίνητες πηγές καύσης, ο σχηματισμός N₂O στις ΜΕΚ δεν είναι ακόμη καλά

κατανοητός και τα δεδομένα εκπομπών N₂O είναι λίγα. Είναι όμως διαπιστωμένο, ότι τα οχήματα με τριοδικό καταλυτικό μετατροπέα εκπέμπουν πολλαπλάσιες ποσότητες N₂O από ότι τα οχήματα συμβατικής τεχνολογίας, που έχουν ουσιαστικά αμελητέες ποσότητες N₂O.

Μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών από κινητές πηγές καύσης

Ο υπολογισμός εκπομπών από κινητές πηγές είναι σύνθετος και απαιτεί συνυπολογισμό πολλών παραμέτρων, μεταξύ των οποίων είναι:

- η κατηγορία μεταφοράς,
- το είδος του καυσίμου,
- τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των κινητήρων,
- η τεχνολογία ελέγχου εκπομπών,
- οι διαδικασίες συντήρησης,
- η ηλικία του στόλου των οχημάτων.

Η ανάγκη τόσων δεδομένων και το πλήθος των συνθηκών, που μπορεί να επιδρούν στη λειτουργία κάθε κατηγορίας μεταφοράς, καθιστούν πολύ δύσκολη τη γενίκευση της υπολογιστικής διαδικασίας. Ο υπολογισμός των εκπομπών NO_x, NMVOC, CH₄, N₂O και CO μπορεί να περιγραφεί σύμφωνα με τη σχέση <3-7>:

$$Q_{s,i,j,k} = 10^{-6} \times EF_{s,i,j,k} \times \Delta_{s,i,j} \quad [t/an] \quad <3-7>$$

όπου	s	δείκτης που αναφέρεται στη θεωρούμενη κατηγορία μεταφοράς,
	i	δείκτης που αναφέρεται στη θεωρούμενη τεχνολογία (για τις οδικές μεταφορές τύπο οχήματος, για τις αεροπορικές μεταφορές τύπο αεροπλάνου),
	j	δείκτης που αναφέρεται στη θεωρούμενη δραστηριότητα (καταναλισκόμενη ποσότητα βενζίνης, πετρελαίου diesel, LPG, μαζούτ, διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα, προσγειώσεις/απογειώσεις αεροπλάνων-LTO cycles, κτλ),
	k	δείκτης που αναφέρεται στον εκπεμπόμενο ρύπο (NO _x , NMVOC, CH ₄ , N ₂ O, CO, PM, κ.ά.),
	Q _{s,i,j,k}	εκπεμπόμενη ποσότητα [t/an] του ρύπου k, από την κατηγορία μεταφοράς s, την τεχνολογία i και τη δραστηριότητα j,
	EF _{s,i,j,k}	συντελεστής εκπομπής για το ρύπο k, από την κατηγορία μεταφοράς s, την τεχνολογία i και τη δραστηριότητα j, εκφραζόμενος σε [g/km/vh] ή [kg/t] ή [kg/LTO] ή [g/GJ],
	Δ _{s,i,j}	μέγεθος δραστηριότητας για την κατηγορία μεταφοράς s, την τεχνολογία i και τη δραστηριότητα j, εκφραζόμενος σε [vh*km/an] ή [t/an] ή [GJ/an] ή αριθμό προσγειώσεων/απογειώσεων [LTO/an].

Οδικές μεταφορές

Για τις οδικές μεταφορές οι συνολικές εκπομπές εκτιμώνται με ειδικές μεθοδολογίες, που έχουν αναπτυχθεί και τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων. Στη χώρα μας εφαρμόζεται η μεθοδολογία COPERT² που παίρνει υπ' όψη:

- τον αριθμό των κυκλοφορούντων οχημάτων ανάλογα με το είδος τους, το καύσιμο που καταναλώνουν, τον κυβισμό τους και την τεχνολογία του κινητήρα τους,
- συντελεστές εκπομπής [g/km] για κάθε κατηγορία οχημάτων και συνθήκες κυκλοφορίας, που προέρχονται από μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί σε κυκλοφορούντα οχήματα στις

² (<http://www.emisia.com/copert>)

- περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες,
- στοιχεία που σχετίζονται με τη χρήση των οχημάτων στη συγκεκριμένη περιοχή που γίνονται οι υπολογισμοί (διανυθέντα χιλιόμετρα, ποσοστά κίνησης σε αστικούς δρόμους, επαρχιακούς δρόμους και αυτοκινητοδρόμους, μέσες αντιπροσωπευτικές ταχύτητες για καθένα από τα παραπάνω είδη δρόμων, ποσοστά των διαδρομών που διεξάγονται με κρύο κινητήρα, ιδιότητες των καυσίμων που χρησιμοποιούνται, κ.ά.).

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται σε ποσότητα εκπεμπόμενου ρύπου ανά έτος [kt/αη] και την περιοχή υπολογισμού, ανά κατηγορία οχημάτων, ανά είδος εκπομπών (εκπομπές εν θερμώ ή εν ψυχρώ λειτουργίας του οχήματος και αναθυμιάσεις) και ανά είδος κίνησης (σε αστικούς δρόμους, επαρχιακούς δρόμους και αυτοκινητοδρόμους).

Μεταφορές αέρος

Οι αεροπορικές μεταφορές συμβάλλουν κατά μικρό μόνο μέρος στις συνολικές εκπομπές για τους περισσότερους ρύπους. Επί παραδείγματι έχει υπολογιστεί ότι οι εκπομπές NO_x από την κίνηση αεροπλάνων συνέβαλλαν μόλις κατά 1,5% στο σύνολο των παγκοσμίων εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων και των φυσικών πηγών, ενώ στην περίπτωση του CO₂ η συμβολή ήταν περίπου 2% του συνόλου των εκπομπών από ορυκτά καύσιμα. Όμως, αν και η συμμετοχή των αεροπορικών μεταφορών στις συνολικές εκπομπές είναι μικρή, ένα σημαντικό μέρος αυτών εκπέμπεται σε ύψη 10-12 km, όπου δεν υπάρχουν άλλες πηγές άμεσων εκπομπών. Κατά συνέπεια οι επιπτώσεις των εκπομπών από τις αεροπορικές μεταφορές στη χημεία της ανώτερης ατμόσφαιρας σε αυτά τα ύψη είναι διαφορετική από τις επιπτώσεις αντίστοιχων ποσοτήτων ρύπων, που εκπέμπονται στην επιφάνεια του εδάφους.

Για απογραφή εκπομπών τοπικού ή εθνικού επιπέδου των αερίων SO₂, NO_x, NMVOC, CH₄, N₂O, PM και CO ενδιαφέρουν οι εκπομπές σε ύψος μέχρι 3.000 πόδια (914 m), ήτοι στις περιοχές των αεροδρομίων. Οι εκπομπές ρύπων από τους κινητήρες των αεροπλάνων στις περιοχές των αεροδρομίων προσδιορίζονται από τον κύκλο προσγείωσης/απογείωσης (LTO - Landing/Take-Off cycle). Ο κύκλος αυτός αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά στάδια/τρόπους λειτουργίας που παραρτηρούνται στον επόμενο πίνακα (πίνακας 3-1).

Πίνακας 3-1: Τα στάδια του κύκλου LTO.

Στάδιο	Ισχύς κινητήρα (% max)	Διάρκεια σταδίου (min)
Απογείωση (take-off)	100	0,7
Ανάβαση (climb-out)	85	2,2
Προσέγγιση (approach)	30	4,0
Δραστηριότητες εδάφους (idle)	7	26,0

Για απογραφή εκπομπών CO₂ εθνικού επιπέδου ενδιαφέρον έχουν οι εκπομπές από τη συνολική κυκλοφορία στη χώρα.

3.6. Εκπομπές από άλλες ενεργειακές δραστηριότητες

Οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνουν την παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας (εξόρυξη ορυκτών καυσίμων), την αποθήκευση, καθώς και τη μεταφορά και διανομή των διάφορων μορφών ενέργειας.

Έχουμε δύο διαφορετικές κατηγορίες πηγών:

1. το σύστημα πετρελαίου/φυσικού αερίου,
2. την εξόρυξη στερεών καυσίμων

1. Εκπομπές από το σύστημα πετρελαίου/φυσικού αερίου

Οι εκπομπές στα συστήματα πετρελαίου/φυσικού αερίου είναι κυρίως NMVOC και CH₄, αν και είναι δυνατές εκπομπές μικρών ποσοτήτων SO₂, NO_x, N₂O, CO και CO₂. Προέρχονται από διαρροές, από ατυχήματα ή καταστροφές, κατά τη συντήρηση, κτλ.

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τις εξής επιμέρους διεργασίες:

- Διαδικασίες πριν την παραγωγή (γεωτρήσεις, κτλ).
- Παραγωγή και κεντρική επεξεργασία (άντληση αργού πετρελαίου/φυσικού αερίου, απομάκρυνση συμπυκνωμάτων από το φυσικό αέριο, διύλιση, κτλ).
- Εκτονώσεις/διαφυγές και τοπικές καύσεις (διαφυγές αερίων κατά τη συντήρηση πηγαδιών, καύση αερίων στα πηγάδια).
- Μεταφορά (μεταφορά πετρελαιοειδών και επεξεργασμένου φυσικού αερίου με οχήματα, αγωγούς ή πλοία).
- Διανομή (διανομή σε τελικούς καταναλωτές με οχήματα ή δίκτυα αγωγών).

2. Εκπομπές από την εξόρυξη στερεών καυσίμων

Ο σχηματισμός άνθρακα (ανθρακοποίηση) εγγενώς δημιουργεί και μεθάνιο και άλλες ενώσεις. Ο σχηματισμός αυτός είναι σύνθετη φυσικοχημική διεργασία, που συμβαίνει κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών. Ο βαθμός ανθρακοποίησης, το βάθος του κοιτάσματος, η υγρασία και άλλοι παράγοντες προσδιορίζουν την ποσότητα του δημιουργούμενου μεθανίου και στη συνέχεια την ποσότητα του μεθανίου, που συγκρατείται στο κοίτασμα ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Με την πτώση της πίεσης στο κοίτασμα (π.χ. κατά την εξόρυξη) το μεθάνιο αποδεσμεύεται και δια μέσου του κοιτάσματος απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Υψηλότερες κλάσεις άνθρακα και μεγαλύτερα βάθη κοιτάσματος συντελούν στη δημιουργία μεγαλύτερων ποσοτήτων CH₄. Για το λόγο αυτό η υπόγεια εξόρυξη άνθρακα απελευθερώνει μεγαλύτερες ποσότητες CH₄ απ' ό,τι η επιφανειακή. Κάθε επεξεργασία μετά την εξόρυξη του άνθρακα, που έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της ελεύθερης επιφάνειάς του (θραύση, κονιορτοποίηση) ή βελτίωση των χαρακτηριστικών του (ξήρανση) οδηγεί στην εκπομπή πρόσθετων ποσοτήτων CH₄.

3.7. Εκπομπές από άλλες πηγές

Στις άλλες πηγές εκπομπών αέριων ρύπων περιλαμβάνονται οι δραστηριότητες:

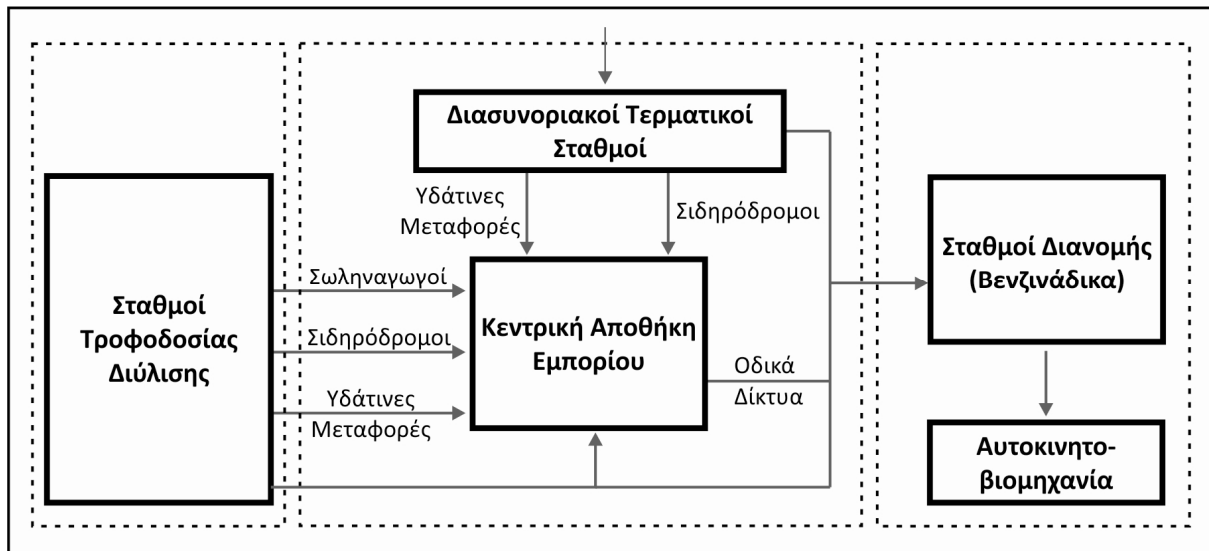
1. η διακίνηση υγρών καυσίμων (βενζίνης),
2. τα αστικά απορρίμματα,
3. οι διεργασίες παραγωγής,
4. η χρήση διαλυτών,
5. η γεωργία και η κτηνοτροφία,
6. οι βιογενείς εκπομπές (δάση).

Η γενική μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών ισχύει και για τις δραστηριότητες των πηγών αυτών.

3.8. Διακίνηση βενζίνης (Διανομή, Μεταφορά και Αποθήκευση)

Οι εκπομπές NMVOC από τη διακίνηση βενζίνης προέρχονται από τρεις τομείς:

1. Εκπομπές που απελευθερώνονται στους σταθμούς παράδοσης των διυλιστηρίων
2. Εκπομπές που απελευθερώνονται κατά την αποθήκευση και μεταφορά του καυσίμου. Αναφερόμαστε στη μετακίνηση της βενζίνης από τα διυλιστήρια μέχρι τις δεξαμενές αποθήκευσης των εταιριών διακίνησης ή των πρατηρίων υγρών καυσίμων και
3. Εκπομπές που απελευθερώνονται κατά τον ανεφοδιασμό των πρατηρίων καθώς και κατά τον ανεφοδιασμό των οχημάτων



Εικόνα 3-1: Το σύστημα διακίνησης της βενζίνης.

Τεχνικές πλήρωσης δεξαμενών και αποθήκευσης υγρών καυσίμων

Οι τεχνικές πλήρωσης των δεξαμενών ποικίλουν και έχουν διαφορετικό επίπεδο εκπομπών ρύπων μεταξύ τους. Οι τρόποι πλήρωσης χωρίζονται ως εξής:

- Φόρτωμα από κάτω (Bottom Loading): Σύστημα για φόρτωση υγρών καυσίμων σε δεξαμενή βυτιοφόρου οχήματος από τον πυθμένα, διαμέσου ενός συστήματος από αγωγούς, βαλβίδες, αποσυνδεόμενες επαφές (φλάντζες).
- Φόρτωμα από πάνω (Splash Loading): Σύστημα στο οποίο ο βραχίονας φόρτωσης καταλήγει στην πάνω επιφάνεια της δεξαμενής, ούτως ώστε η βενζίνη να πέφτει πάνω στην επιφάνεια του υγρού. Αυτό οδηγεί σε υψηλό μετασχηματισμό βενζίνης σε ατμό.
- Καταβυθιζόμενη φόρτωση (Submerged Top Loading): Σύστημα για τη φόρτωση υγρών καυσίμων σε κάθε δεξαμενή μέσα από σωληνώσεις υπό την προϋπόθεση ότι η είσοδος γίνεται κάτω από την επιφάνεια του υγρού, και ως εκ τούτου ελαχιστοποιείται ο παφλασμός και η δημιουργία ατμού.

Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση καυσίμων είναι οι εξής:

- Δεξαμενές σταθερής οροφής: Αποτελούνται από ένα κυλινδρικό ατσάλινο κέλυφος, στην κορυφή καλύπτεται από μια κωνική οροφή η οποία μπορεί να είναι εφοδιασμένη με ένα εσωτερικό κάλυμμα που επιπλέει, από αλουμίνιο ή ατσάλι. Είναι συνήθως εφοδιασμένες με αγωγό Πίεσης/Κενού αέρος (PV vent), ώστε να μπορεί να υπάρξει ισορροπία ατμών.
- Δεξαμενές πλωτής οροφής: Δεξαμενή που χρησιμοποιείται σε σταθμούς παράδοσης

διυλιστηρίων, τελικούς συνοριακούς σταθμούς όπως και σε αποθήκες εμπορίας μακριά από διυλιστήρια. Η οροφή επιπλέει πάνω από τη βενζίνη και είναι εφοδιασμένη με στεγανοποιητικό στα πλευρικά τοιχώματα για να ελαχιστοποιεί τις απώλειες ατμού βενζίνης.

Απλή μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών

Η πολύ απλή μεθοδολογία βασίζεται σε γενικούς μέσους συντελεστές εκπομπής οι οποίοι πολλαπλασιάζονται με πληροφορίες σχετικά με την συνολική κατανάλωση βενζίνης στη χώρα.

Η απλή μεθοδολογία βασίζεται σε συντελεστές εκπομπής οι οποίοι πολλαπλασιάζονται με την συνολική προωθούμενη ποσότητα βενζίνης στα διάφορα σημεία του συστήματος διακίνησης (σταθμοί παράδοσης διυλιστηρίων, μεταφορά και αποθήκες, πρατήρια, διανομή βενζίνης)

Λεπτομερής μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών

Η λεπτομερής μεθοδολογία απαιτεί γνώσεις συγκεκριμένων παραμέτρων του συστήματος διανομής της βενζίνης. Επιπρόσθετα, πρέπει να είναι γνωστές φυσικές και χημικές παράμετροι της διανεμημένης βενζίνης.

Βασίζεται στην ανάλυση της ροής της βενζίνης από εισαγωγείς και διυλιστήρια σε σταθμούς βενζίνης αυτοκινήτων και στις ποικίλες τεχνικές πλήρωσης ή εκκένωσης που χρησιμοποιούνται. Από τη ροή βενζίνης προκύπτει ένα μοντέλο ροής αερίου, το οποίο αναλύεται σε σχέση με τις τεχνικές χειρισμού του αερίου για να δώσει αφενός τις εκπομπές από τη διακίνηση βενζίνης και αφετέρου να προσδιορίσει τις εκπομπές αποθήκευσης. Περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- α) Προσδιορισμός της ροής βενζίνης (σε t/a) από τις πηγές παραγωγής (διυλιστήρια και εισαγωγείς) στους σταθμούς ανεφοδιασμού (πρατήρια).

Δεξαμενές αποθήκευσης.

Πλήρωση (Αγωγοί, Δεξαμενόπλοια, Σιδηροδρομικά βαγόνια - κλειστά στην οροφή, μερικώς παφλάζοντα - Βυτιοφόρα οχήματα - Παφλάζον γέμισμα, Μερικώς παφλάζον γέμισμα, Κλειστό στην οροφή, Από τον πυθμένα).

Πρατήρια (πλήρωση/αποθήκευση - πλήρωση από πυθμένα, παφλάζουσα πλήρωση - γέμισμα αυτοκινήτου, στάξιμο).

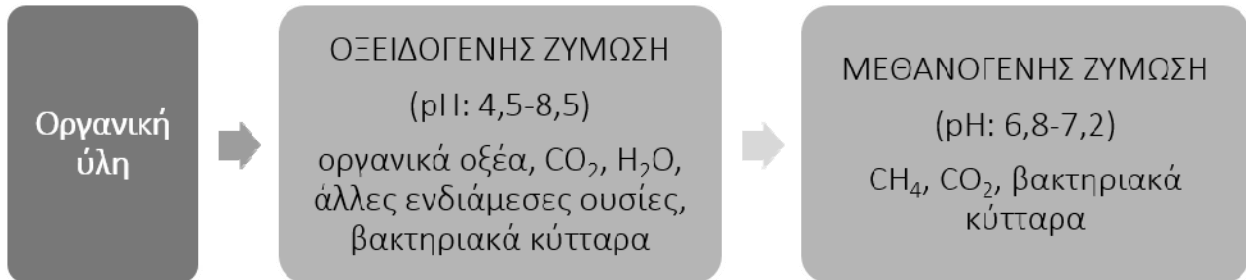
- β) Προσδιορισμός των εκπομπών VOC για τη διανομή βενζίνης.
- γ) Προσδιορισμός των εκπομπών VOC για την αποθήκευση βενζίνης.

Πλεονεκτήματα λεπτομερούς μεθοδολογίας:

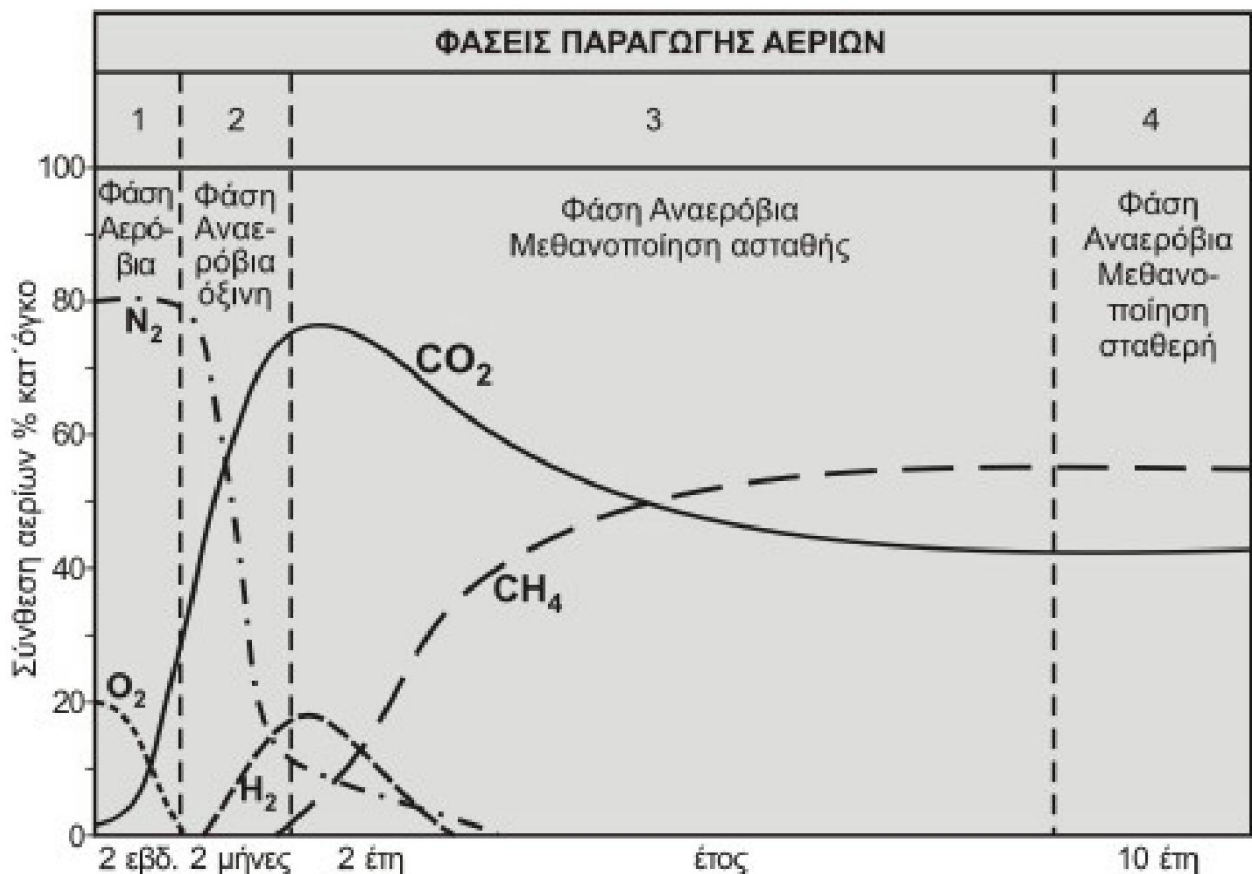
- Εκφράζει την πραγματική κατάσταση εκπομπών καλύτερα από τους μέσους συντελεστές εκπομπής,
- Η λεπτομερής μεθοδολογία είναι ένα μοντέλο υπολογισμού το οποίο επιτρέπει μια ανάλυση της αποδοτικότητας διάφορων μετρήσεων ελέγχου και έτσι είναι ένα εργαλείο για τον σχεδιασμό των τεχνικών ελέγχου της ρύπανσης.

3.9. Εκπομπές σε χώρους υγειονομικής ταφής - απόθεσης απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

Στο εσωτερικό του χώρου ταφής απορριμμάτων λαμβάνει χώρα η αποσύνθεση οργανικής ύλης κάτω από τη δραστηριότητα μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, μύκητες, κ.ά., που έχουν ως υπόστρωμα διατροφής την οργανική αυτή ύλη. Στην επιφάνεια της απόθεσης έχουμε την αερόβια ζύμωση που δίνει σαν κύρια προϊόντα H_2O και CO_2 . Αντίθετα στα βαθύτερα στρώματα της απόθεσης η έλλειψη αέρα οδηγεί γρήγορα σε συνθήκες αναερόβιας ζύμωσης. Αυτή δίνει σαν κύρια προϊόντα CH_4 και CO_2 .



Εικόνα 3-2: Αναερόβια αποδόμηση της οργανικής ύλης



Εικόνα 3-3: Μοντέλο παραγωγής αερίων σε ΧΥΤΑ³.

³ Farquhar C., Rovers F., "Gas production during refuse decomposition". *Water Air Soil Pollut.*, 2, 1973, 483-495.

Μοντέλο παραγωγής αερίων

Διακρίνουμε τέσσερις φάσεις στη διαδικασία της ζύμωσης (εικόνα 3-3):

- Φάση I: Αερόβια
- Φάση II: Αναερόβια όχι μεθανογενής
- Φάση III: Αναερόβια μεθανογενής ασταθής
- Φάση IV: Αναερόβια μεθανογενής σταθερή

Σε κάθε χώρο ταφής ή απόθεσης διαφοροποιούνται οι συγκεκριμένες συνθήκες που επηρεάζουν την παραγωγή μεθανίου και κατ' επέκταση τη σύσταση του αερίου. Οι κυριότερες συνθήκες-παράγοντες είναι:

- Υγρασία
- Διείσδυση
- Θερμοκρασία
- Αλκαλικότητα, δυναμικό οξειδο-αναγωγής, pH
- Χημική σύσταση των απορριμμάτων.

Εκτίμηση των εκπομπών αερίων

Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων δεδομένων η μεθοδολογία υπολογισμού μπορεί να είναι απλή ή αναλυτική. Η απλή μεθοδολογία βασίζεται σε συντελεστές εκπομπής με συνολικούς ετήσιους μέσους όρους οι οποίοι σχετίζονται με πληροφορίες που αφορούν τη συνολική ποσότητα απορριμμάτων που κατ' έτος απορροφά η χωματερή. Η αναλυτική βασίζεται σε αναλυτικά στοιχεία από όλα τα στάδια της μεθόδου διαχείρισης ή της μονάδας επεξεργασίας.

Εκπομπές αερίων από την καύση απορριμμάτων

Στην καύση απορριμμάτων σε μονάδα καύσης οι συνθήκες είναι τελείως διαφορετικές απ' ότι η καύση στο ύπαιθρο. Στη μονάδα συνήθως η καύση είναι τέλεια. Τα απορρίμματα θεωρείται ότι καίγονται τελείως όταν η διάρκεια της καύσης ξεπεράσει τις 12 ώρες. Στο ύπαιθρο η ανεξέλεγκτη καύση μπορεί να διαρκέσει πολύ περισσότερο και η παρουσία του αέρα οδηγεί σε συνθήκες καύσης εντελώς διαφορετικές. Για τις συνθήκες αυτές δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία.

Εκπομπές αερίων από τα απορρίμματα στους ΧΥΤΑ

Για οργανωμένους χώρους υγειονομικής ταφής οι εκπομπές VOC αναφέρονται αποκλειστικά σε εκπομπές CH₄. Θεωρείται ότι οι εκπομπές λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια 5 ετών, ενώ μετά την πάροδο 5 ετών οι εκπομπές θεωρούνται πολύ χαμηλές.

Εκπομπές αερίων από τα απορρίμματα στις χωματερές

Στην περίπτωση αυτή έχουμε εκπομπές αερίων τόσο από την αποσύνθεση των απορριμμάτων κατά την απόθεσή τους στη χωματερή όσο και από την καύση τους σε αυτήν.

Για μη ελεγχόμενους χώρους διάθεσης απορριμμάτων δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα εκπομπών. Στους χώρους αυτούς επικρατεί συνήθως ανεξέλεγκτη καύση κατά χρονικά διαστήματα, άλλοτε τακτικά άλλοτε όχι, με αποτέλεσμα να έχουμε εκπομπές από ανεξέλεγκτη καύση, ή εκπομπές σε συνθήκες αερόβιες ή/και αναερόβιες. Η σύσταση των απορριμμάτων μεταβάλλεται σημαντικά λόγω τις πλήρους έκθεσής τους στις διάφορες κλιματολογικές αλλαγές.

Εκτός από το παραγόμενο αέριο μέσα στην απόθεση έχουμε και μία ποσότητα αέρα. Δεχόμαστε 20% αέρα μέσα στο αέριο της απόθεσης οπότε η ποσότητα του παραγόμενου αερίου (της ζύμωσης) μέσα στο αέριο της απόθεσης θα είναι το 80%.

3.10. Εκπομπές NMVOC από τη χρήση διαλυτών

Με τον όρο διαλύτες προσδιορίζονται οι χημικές εκείνες ενώσεις που κυρίως χρησιμοποιούνται για την αραίωση άλλων χημικών ουσιών και που χαρακτηρίζονται από πτητικότητα και την χαρακτηριστική, συνήθως έντονη, οσμή κατά την εξάτμισή τους (π.χ. βενζίνη). Είναι συνήθως κατώτεροι και μέσοι υδρογονάνθρακες, αλκοόλες, κετόνες, εστέρες, αιθέρες, γλυκόλες, αρωματικές ενώσεις, αλοιφατικές ενώσεις, χλωριωμένα παράγωγα των υδρογονανθράκων. Στον πίνακα 3-2 δίνονται οι σημαντικότερες κατηγορίες ενώσεων και χαρακτηριστικοί διαλύτες. Στον πίνακα 3-3 δίνονται οι σημαντικότεροι διαλύτες στην Ελλάδα, και οι δραστηριότητες που χρησιμοποιούνται.

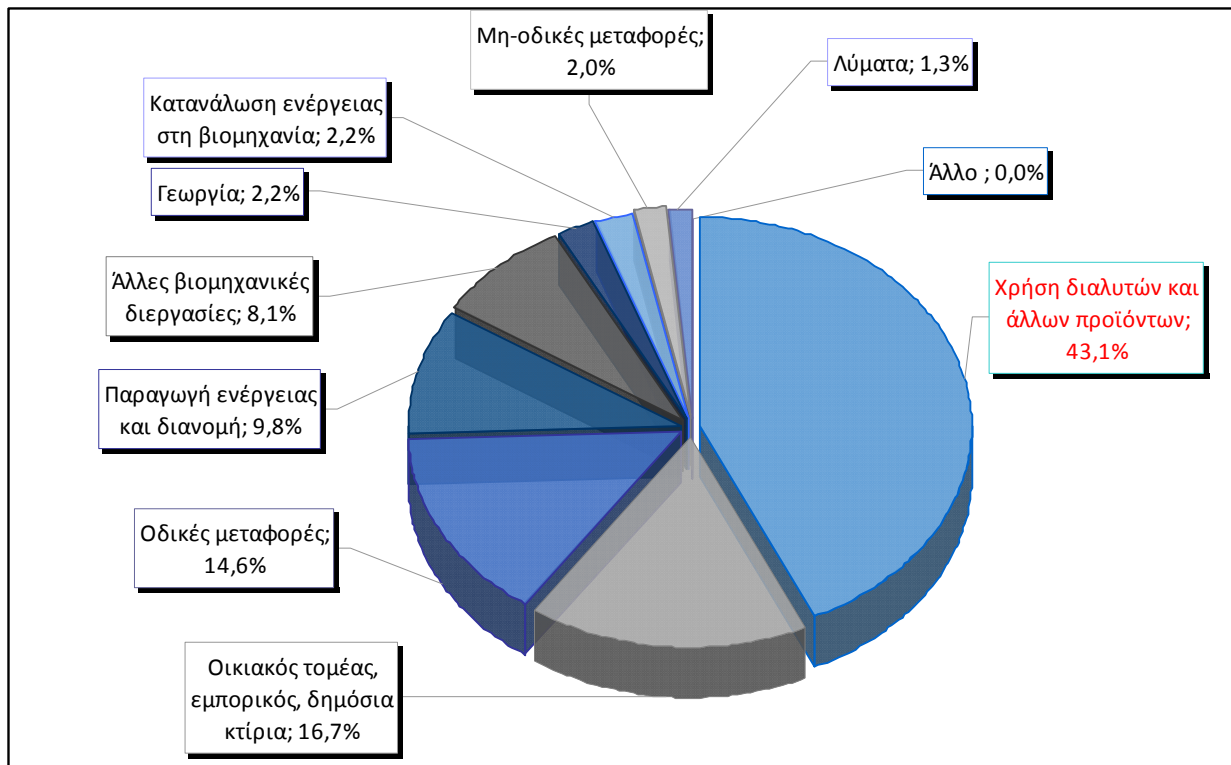
Πίνακας 3-2: Οι σημαντικότερες κατηγορίες ενώσεων και αντιπροσωπευτικοί διαλύτες

Κατηγορίες Ενώσεων	Αντιπροσωπευτικοί διαλύτες
Αλοιφατικές	Διαλύτης SBP, Επτάνιο, Κυκλοεξάνιο, White spirit (ελαφρύ πετρέλαιο)
Αρωματικές	Αίθυλο-Βενζόλιο, Βενζόλιο, Ξυλένιο, Στυρένιο, Τολουένιο
Αλκοόλες	Μεθανόλη, Αιθανόλη, Βουτανόλη, Ισοπροπανόλη, Ισοβουτανόλη, Βουτανοδιόλη
Εστέρες	Οξικός Αιθυλεστέρας, Οξικός Βινυλεστέρας, Οξικός Βουτυλεστέρας
Γλυκόλες & Αιθέρες	Αιθυλενο-γλυκόλη, Προπυλενο-γλυκόλη
Κετόνες	Ακετόνη, Κυκλοεξανόνη, Μέθυλο-Αίθυλο-Κετόνη, Μεθυλο-Ισοβούτυλο-Κετόνη
Αλογονομένοι HC	PER, R113, TCA, TRI, MC
ΛΟΙΠΕΣ	Κρεόζωτο, Νέφτι

Πίνακας 3-3: Οι 5 σημαντικότεροι διαλύτες στην Ελλάδα

Διαλύτης	Εφαρμογή
White spirit	Απολίπανση μετάλλων, Στεγνό Καθάρισμα, Βαφές & Βερνίκια
Μεθανόλη	Χημική Βιομηχανία
Στυρένιο	Χημική Βιομηχανία
Τολουένιο	Χημική Βιομηχανία, Βαφές & Βερνίκια
Κρεόζωτο	Συντήρηση ξύλου

Η χρήση των διαλυτών αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή ανθρωπογενών εκπομπών NMVOC στη χώρα μας. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο σήμερα βρίσκεται στην πρώτη θέση έχοντας ξεπεράσει το 40% (εικόνα 3-4) του συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών NMVOC. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών εκπέμπεται στις αστικές περιοχές και ιδίως σε κλειστούς χώρους. Οι εκπομπές NMVOC παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον επειδή ορισμένοι από αυτούς είναι τοξικοί, δηλαδή χρόνιες εκθέσεις ακόμη και σε μικρές ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία.



Εικόνα 3-4: Εκπομπές NMVOC ανά κατηγορία στην Ευρώπη (EEA-33 group of countries) το 2011. (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-non-methane-volatile-1/assessment-4>)

Για να διευκολυνθεί η μελέτη των διαλυτών, ως προς τις εκπομπές τους μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες κατηγορίες ως προς την χρήση τους:

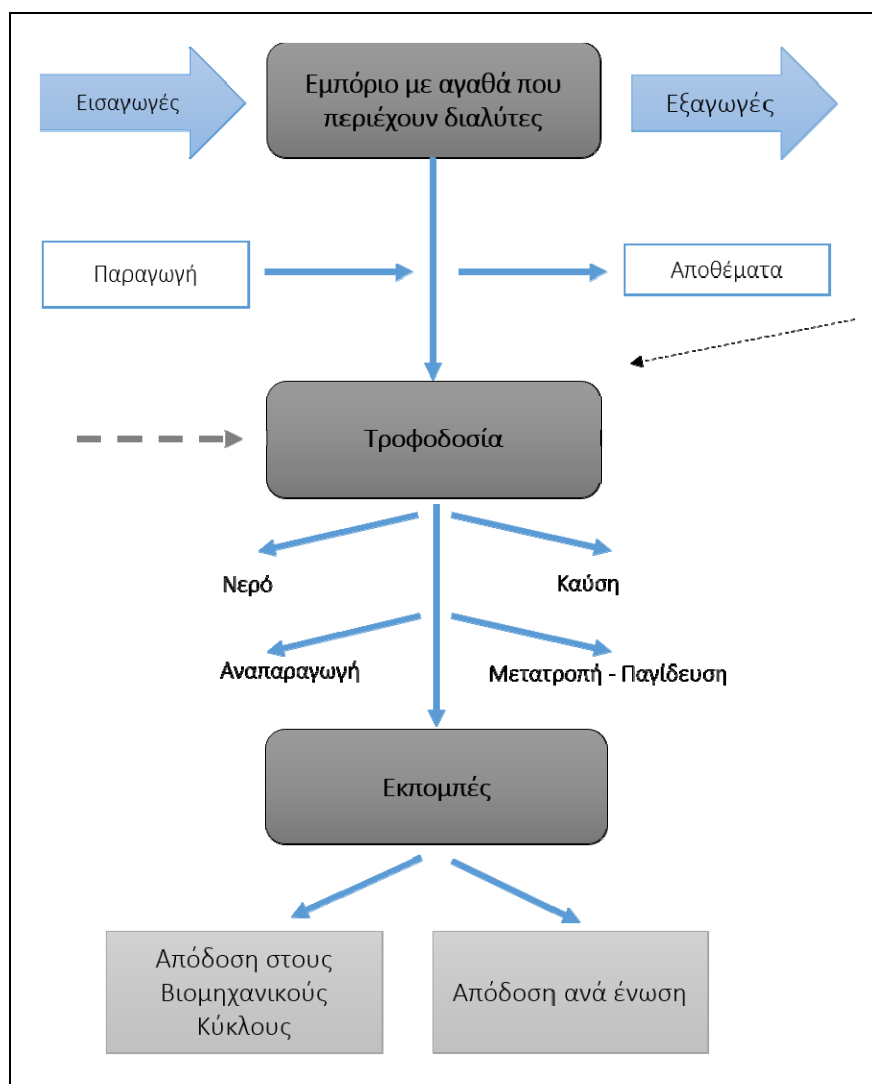
- 1η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:** Διαδικασίες βαφής (paint applications): κατασκευή οχημάτων, κατασκευές και οικοδομική, οικιακή χρήση, άλλες βιομηχανικές χρήσεις βαφής.
- 2η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:** Απολίπανση και στεγνό καθάρισμα (metal degreasing and dry cleaning): απολίπανση μετάλλων, στεγνό καθάρισμα
- 3η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:** Παραγωγή ή επεξεργασία χημικών προϊόντων (chemical products manufacturing or processing): επεξεργασία - παραγωγή αφρού πολυουρεθάνης, επεξεργασία - παραγωγή αφρού πολυστυρενίου, επεξεργασία ασφάλτου, επεξεργασία άλλων χημικών προϊόντων.
 Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται επίσης οι διεργασίες επεξεργασίας πολυεστέρα, επεξεργασίας PVC, επεξεργασίας ελαστικών-καουτσούκ, παρασκευής φαρμακευτικών προϊόντων, παρασκευής μελάνης, παρασκευής κόλλας, κατασκευής κολλοειδών ταινιών, παρασκευής και χρήσης μπογιάς και λούστρου. Ωστόσο δεν υπάρχουν στοιχεία για την εκτίμηση των εκπομπών NMVOC για τις παραπάνω διεργασίες, πιθανώς γιατί είναι πολύ μικρές έως αμελητέες.
- 4η ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:** Διάφορες χρήσεις διαλυτών και άλλες σχετικές δραστηριότητες (other use of solvent and related activities): βιομηχανία τύπωσης, εξαγωγή λιπών και ελαίων, συντήρηση ξύλου, οικιακή χρήση διαλυτών εκτός από χρήσεις βαφής (απορρυπαντικά, καλλυντικά), άλλες χρήσεις διαλυτών.

Μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών

Οι εκπομπές των NMVOC από τη χρήση διαλυτών εκτιμώνται με βάση το ισοζύγιο του διαλύτη (εικόνα 3-4). Θεωρώντας ότι η συνολική ποσότητα του χρησιμοποιούμενου, είτε σαν καθαρό προϊόν, είτε σαν περιεχόμενο άλλων προϊόντων, διαλύτη εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, οι εκπομπές NMVOC υπολογίζονται από το γινόμενο της χρησιμοποιούμενης ποσότητας προϊόντος (συνολικά, ανά κατηγορία χρήσης, ανά εργασία παραγωγής), της περιεκτικότητας σε διαλύτη, του συντελεστή εκπομπής και του συντελεστή χρήσης της κατηγορίας χρήσης.

Τα στατιστικά στοιχεία δραστηριότητας αφορούν την εγχώρια παραγωγή, τις εισαγωγές και εξαγωγές προϊόντων που φέρουν διαλύτες, καθώς και χρήσεις σε σχετικές βιομηχανικές μονάδες. Η ολική κατανάλωση των αγαθών που περιέχουν διαλύτες υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Ολική Κατανάλωση} = \text{Παραγωγή} + \text{Εισαγωγή} - \text{Εξαγωγή}$$



Εικόνα 3-5: Το ισοζύγιο του διαλύτη

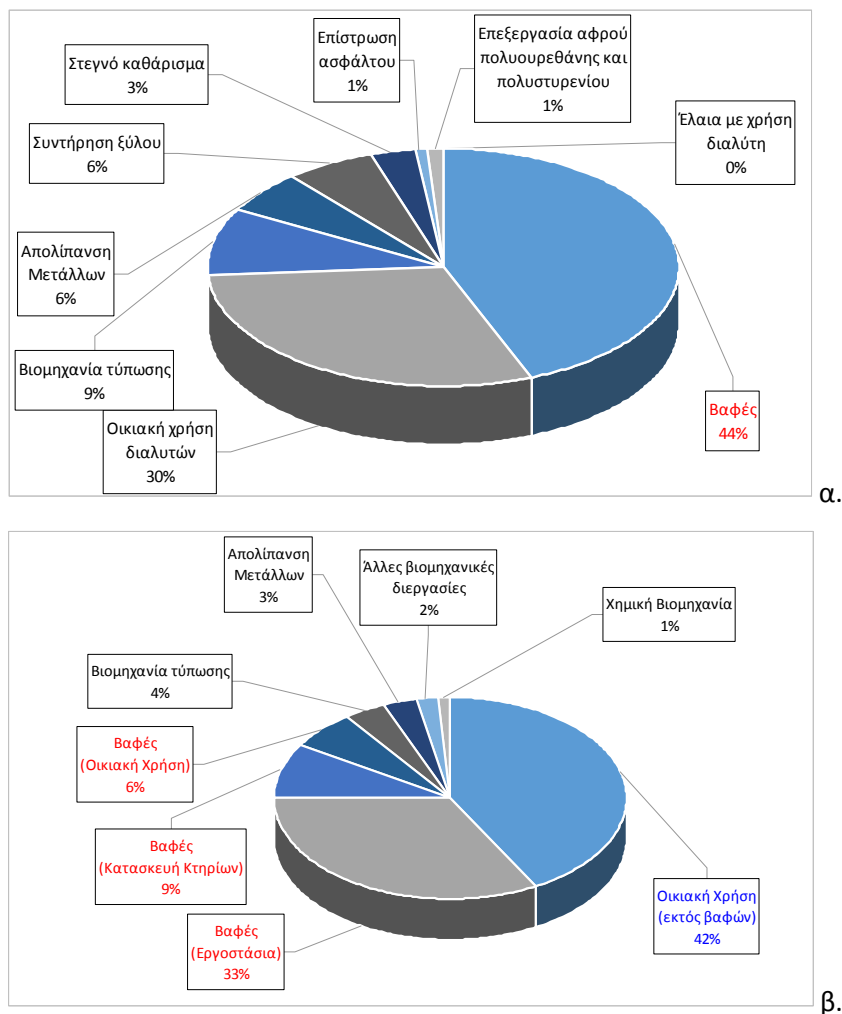
Η περιεκτικότητα των χρησιμοποιούμενων προϊόντων σε διαλύτη στηρίζεται στη βιβλιογραφία και σε έρευνα αγοράς.

Οι συντελεστές χρήσης των προϊόντων που περιέχουν διαλύτη ανά κατηγορία χρήσης για την Ελλάδα εκτιμούνται από έρευνα αγοράς ικανοποιώντας παράλληλα και το ισοζύγιο ολικής κατανάλωσης.

Ο συντελεστής εκπομπής, ο οποίος εκφράζει την ικανότητα του χρησιμοποιούμενου διαλύτη στο να εκπέμπει NMVOC, εξαρτάται από το περιεχόμενο σε διαλύτη των διαφόρων προϊόντων που χρησιμοποιούνται και που αποτελούν πηγές εκπομπής NMVOC, καθώς και τα διάφορα μέτρα ελέγχου και μείωσης των εκπομπών, που ενδεχομένως έχουν ληφθεί. Ο συντελεστής εκπομπής εκφράζεται ανά ποσότητα προϊόντος ή ποσότητα διαλύτη, ανά κάτοικο ή ανά εργασία. Οι συντελεστές εκπομπής που χρησιμοποιούνται είναι οι προτεινόμενοι από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook), δεδομένου ότι σε ευρωπαϊκό επίπεδο τα χρησιμοποιούμενα προϊόντα στη συντριπτική πλειοψηφία τους είναι τα ίδια ή παρόμοια, αλλά και από την Ελλάδα που λαμβάνουν υπόψη πιθανά διαφοροποιημένα εθνικά χαρακτηριστικά. Δεδομένου ότι πολλοί διαλύτες χρησιμοποιούνται σε περισσότερες από μία δραστηριότητες είναι σημαντικό να εκτιμηθεί το ποσοστό του διαλύτη που χρησιμοποιείται στην κάθε δραστηριότητα. Το ποσοστό αυτό εκφράζεται με το συντελεστή χρήσης και η σωστή εκτίμησή του επιδρά στην ακρίβεια και αξιοπιστία των υπολογιζόμενων εκπομπών. Οι τιμές των συντελεστών χρήσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκύπτουν από βιβλιογραφική και βιομηχανική έρευνα.

Ανάλογα με τον όγκο των διαθέσιμων στοιχείων η μεθοδολογία είναι είτε προσεγγιστική, στην οποία δεν λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές, είτε απλή, στην οποία οι παράγοντες λαμβάνονται υπόψη σε αθροιστικό επίπεδο, είτε λεπτομερής, στην οποία όλοι οι παράγοντες λαμβάνονται υπόψη αναλυτικά ανά φάση εργασίας.

Στη χώρα μας οι κατηγορίες με την μεγαλύτερη συνεισφορά σε εκπομπές NMVOC είναι οι βαφές και η οικιακή χρήση των προϊόντων που περιέχουν διαλύτες με συμμετοχή 44% και 30% αντίστοιχα κατά το 1996, και 42% και 42% κατά το 2003 (εικόνα 3-6).



Εικόνα 3-6: Εκπομπές NMVOC στην Ελλάδα ανά κατηγορία (α. 1996, β. 2003)

3.11. Εκπομπές από τη γεωργία

Η γεωργία είναι πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (NO, N₂O) και αμμωνίας (NH₃).

Η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών από τη γεωργία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις καλλιέργειες με λιπάσματα, ακόμη και σ' αυτές όπου καλλιεργείται ζωοτροφή και λαμβάνει υπόψη τόσο τον τύπο του αζωτούχου (N-) λιπάσματος, όσο και τις διαφορές κλίματος, αλλά και τύπου και σύστασης του εδάφους μεταξύ διαφόρων χωρών.

Οι σχέσεις υπολογισμού των εκπομπών είναι οι ακόλουθες:

$$NH_3 = \Sigma (\text{μάζα N-λιπάσματος τύπου } i \text{ [kg N/a]}) \times (\text{συντελεστής εκπομπής για το λίπασμα τύπου } i \text{ [kg NH}_3\text{/kg N]}), \quad [\text{kg/a}] \quad <3-8>$$

$$N_2O = (0,9 \times \text{μάζα N-λιπάσματος [kg N/a]}) \times (0,0125 \text{ [kg N}_2\text{O/kg N]}), \quad [\text{kg/a}] \quad <3-9>$$

$$NO = \text{μάζα N-λιπάσματος [kg N/a]} \times (0,003 \text{ [kg NO/kg N]}), \quad [\text{kg/a}] \quad <3-10>$$

Ο συντελεστής εκπομπής NH₃ εξαρτάται από τον τύπο i του λιπάσματος και την κατηγορία στην οποία κατατάσσεται η συγκεκριμένη χώρα, σύμφωνα με τον πίνακα:

Πίνακας 3-4: Συντελεστές εκπομπής NH₃ σε kg/kg N-λιπάσματος.

Τύπος (i) λιπάσματος	1 ^η κατηγορία	2 ^η κατηγορία	3 ^η κατηγορία
θειικό αμμώνιο (AS)	0,15	0,10	0,05
νιτρικό αμμώνιο (AN)	0,03	0,02	0,01
μίγμα ασβεστίου και νιτρικού αμμωνίου	0,03	0,02	0,01
άνυδρη αμμωνία	0,04	0,04	0,04
ουρία	0,20	0,15	0,15
φωσφορικά άλατα του αμμωνίου	0,05	0,05	0,05
μίγματα αζώτου-καλίου, αζώτου-φωσφόρου-καλίου	0,03	0,02	0,01
μίγμα ουρίας και νιτρικού αμμωνίου	0,08	0,08	0,08

Οι χώρες της Ευρώπης κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, ως εξής:

1η κατηγορία: θερμό-εύκρατο κλίμα με μεγάλο ποσοστό ασβεστίου στο χώμα (Ελλάδα, Ισπανία)

2η κατηγορία: εύκρατο και θερμό-εύκρατο κλίμα με εδάφη σε μικρό ποσοστό ασβεστούχα και σε μεγάλο ποσοστό όξινα (Ιταλία, Γαλλία, Αγγλία, Βέλγιο, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Πορτογαλία)

3η κατηγορία: εύκρατο και ψυχρό-εύκρατο κλίμα με όξινα εδάφη σε ευρεία κλίμακα (βόρειες χώρες, Γερμανία, Αυστρία, Ελβετία)

3.12. Εκπομπές από την κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία είναι πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (NO, N₂O, CH₄), αμμωνίας (NH₃) και σωματιδίων (PM).

Πίνακας 3-5: Η κτηνοτροφία ως πηγή εκπομπής NO, NH₃, N₂O, CH₄, PM.

Κτηνοτροφική δραστηριότητα	NO	N ₂ O	CH ₄	NH ₃	PM
Εντερικές ζυμώσεις			+		
Σταυλισμός ζώων		+	+	+	+
Αποθήκευση έκτος στάβλων	+	+	+	+	
Επιφανειακή διασπορά λυμάτων		+		+	
Ελευθέρα βοσκή		+		+	

Εκπομπές CH₄ από τις εντερικές ζυμώσεις

Το CH₄ παράγεται στον οργανισμό των φυτοφάγων ζώων ως ένα παραπροϊόν της εντερικής ζύμωσης (κατά τη διαδικασία πέψης) κατά την οποία οι υδρογονάνθρακες διασπώνται από μικροοργανισμούς σε απλά μόρια, τα οποία ακολούθως απορροφώνται από το αίμα του κυκλοφοριακού συστήματος του ζώου. Μεθάνιο παράγεται τόσο από μηρυκαστικά ζώα (πρόβατα, βοοειδή), όσο και από κάποια μη-μηρυκαστικά ζώα (γουρούνια).

Η ποσότητα του εκλυόμενου μεθανίου εξαρτάται από:

- το είδος,
- την ηλικία,
- το βάρος του ζώου,
- την ποιότητα και
- την ποσότητα τροφής του,
- την κατανάλωση ενέργειας από το ίδιο το ζώο.

Εκπομπές CH₄ από τη διαχείριση ζωικών εκκρίματων

Το CH₄ παράγεται και κατά την αποσύνθεση οργανικών ενώσεων μέσα στα ζωικά εκκρίματα και η εκλυόμενη ποσότητά του εξαρτάται από

- τη συνολική ποσότητα των ζωικών εκκρίματων και
- από το ποσοστό αυτής της ποσότητας που αποσυντίθεται αναερόβια

Όταν τα ζωικά εκκρίματα συσσωρεύονται σε λάκκους, διατηρούμενα σε υγρή μορφή, τότε αποσυντίθενται αναερόβια παράγοντας μεθάνιο. Αντίθετα, όταν συσσωρεύονται σε στεγνούς σωρούς ή εναποτίθενται στα βοσκοτόπια, αποσυντίθενται αερόβια, παράγοντας CO₂ και ελάχιστο ή καθόλου μεθάνιο.

Εκπομπές NH₃ από τη διαχείριση της κοπριάς

Ο υπολογισμός των εκπομπών NH₃ από την διαχείριση της κοπριάς βασίζεται στην ακόλουθη σχέση:

$$Em_{NH_3} = \sum_T EF_{NH_3,T} \times N_T, \text{ [kg/yr]} \quad <3-11>$$

όπου T είναι η κατηγορία ζώων,
 N_T ο πληθυσμός ζώων κατηγορίας T ,
 Em_{NH_3} οι ετήσιες εκπομπές NH_3 από την διαχείριση της κοπριάς [kg/yr],
 $EF_{NH_3,T}$ ο μέσος ετήσιος συντ. εκπομπής NH_3 για την κατηγορία ζώου T [kg/animal,yr].

Πίνακας 3-6: Συντελεστής εκπομπής (σε kg CH_4 /ζώο).

Είδος ζώου	Εντερική ζύμωση		Ζωικά εκκρίματα			
	Δυτική Ευρώπη	Ανατολική Ευρώπη	Δ. Ευρώπη		Α. Ευρώπη	
			Ψυχρό κλίμα	Εύκρατο κλίμα	Ψυχρό κλίμα	Εύκρατο κλίμα
Αγελάδες γαλακτοπαραγωγής	100	81	14	44	6	19
Άλλα βοοειδή (νεαρής ηλικίας, που προορίζονται για τροφή και για αναπαραγωγή)	48	56	6	20	4	13
Χοντρά και θηλυκά γουρούνια	1,5	1,5	3	10	4	7
Πρόβατα	8	8	0,19	0,28	0,19	0,28
Κατσίκες	5	5	0,12	0,18	0,12	0,18
Άλογα	18	18	1,39	2,08	1,39	2,08
Μουλάρια και γαϊδούρια	10	10	0,76	1,14	0,76	1,14
Πουλερικά (πάπιες, χήνες, γαλοπούλες, κοτόπουλα)	-	-	0,078	0,117	0,078	0,117

Εκπομπές PM από την κτηνοτροφία

Ο υπολογισμός των εκπομπών PM από την κτηνοτροφία βασίζεται στην ακόλουθη σχέση:

$$Em_{PM} = \sum_{T,i} EF_{PM,T,i} \times N_{T,i} \times t_T, \text{ [kg/yr]} \quad <3-12>$$

όπου T είναι η κατηγορία ζώων
 i τύπος σταυλισμού ζώων (στεγνό ή υγρό σύστημα διαχείρισης κοπριάς)
 $N_{T,i}$ ο πληθυσμός ζώων κατηγορίας T σε τύπο σταυλισμού i
 t_T ο χρόνος σταυλισμού ζώων κατηγορίας T [%]
 Em_{PM} οι ετήσιες εκπομπές PM από την κτηνοτροφία [kg/yr]
 $EF_{PM,T,i}$ ο μέσος ετήσιος συντ. εκπομπής PM για την κατηγορία ζώου T [kg/animal,yr]

3.13. Εκπομπές από δάση

Οι βιογενούς προέλευσης VOC παράγονται από φυσικές διεργασίες (αυτές που χαρακτηρίζουν την ανάπτυξη και ζωή φυτικών οργανισμών) και χαρακτηρίζονται, ως προς τη σύσταση τους, από το ισοπρένιο, διάφορα τερπένια και από την απουσία μεθανίου και αλκανίων. Είναι δηλαδή «μη μεθανικοί VOC» (NMVOC). Έχει δειχθεί ότι τόσο σε τοπική όσο και ευρύτερη χωρική κλίμακα, καθώς επίσης και σε παγκόσμια κλίμακα, οι εκπεμπόμενες ποσότητες βιογενών NMVOC είναι συγκρίσιμες ή και μεγαλύτερες των NMVOC που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες ή (ανθρωπογενείς NMVOC).

Εργαστηριακές μελέτες και προσομοιώσεις με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων έδειξαν ότι τόσο το ισοπρένιο όσο και τα μονοτερπένια συμπεριφέρονται σαν χημικά δραστικές ενώσεις στην τροπόσφαιρα, σε αντίθεση με υδρογονάνθρακες ανθρωπογενούς προέλευσης που οξειδώνονται πολύ δυσκολότερα. Υπό την επίδραση οξειδίων του αζώτου (NO_x), παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας, οι ενώσεις αυτές συνεισφέρουν στον σχηματισμό όζοντος και άλλων δευτερογενών αερίων ρύπων. Στον **πίνακα 3-7** παρουσιάζεται η διάρκεια ζωής χαρακτηριστικών NMVOC βιογενούς προέλευσης καθώς και υδρογονανθράκων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς πηγές, όπως προσδιορίστηκε μετά από μελέτη των αντιδράσεων των αναφερόμενων ενώσεων με όζον και ρίζες OH και NO_3^- .

Στην Ελλάδα ιδιαίτερης σημασίας είναι ο ρόλος των NMVOC στις φωτοχημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα λόγω των παρατεταμένων περιόδων ηλιοφάνειας, όπως αυτές συσχετίζονται με τις παρατηρούμενες υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Η εκπόνηση μιας πλήρους και ορθολογικά δομημένης απογραφής των εκπομπών αυτών θεωρείται κεφαλαιώδους σημασίας για το σχεδιασμό οποιουδήποτε προγράμματος ελέγχου της αέριας ρύπανσης.

Πίνακας 3-7: Διάρκειες ζωής στην τροπόσφαιρα βιογενών NMVOC και αντιπροσωπευτικών υδρογονανθράκων που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς πηγές.

Ένωση	OH	O_3	NO_3^-
Βιογενείς πηγές			
Ισοπρένιο	1,8 ώρες	1,2 ημέρες	20 ώρες
α-Πινένιο	3,4 ώρες	4,6 ώρες	2,0 ώρες
β-Πινένιο	2,3 ώρες	1,1 ημέρες	4,9 ώρες
Δ3-Καρένιο	2,1 ώρες	10 ώρες	1,1 ώρες
d-Λεμονένιο	1,1 ώρες	1,9 ώρες	53 λεπτά
Μυρκένιο	52 λεπτά	49 λεπτά	1,1 ώρες
Ανθρωπογενείς πηγές			
n-Βουτάνιο	6,1 ημέρες	> 4500 έτη	20 έτη
n-Οκτάνιο	1,8 ημέρες	> 4,5 έτη	7,3 έτη
Αιθένιο	1,8 ημέρες	9,2 ημέρες	6,3 ημέρες
Προπένιο	7,0 ώρες	1,5 ημέρες	51 ημέρες
Βενζόλιο	13 ημέρες	> 4,5 έτη	> 19 έτη
Τολουόλιο	2,6 ημέρες	> 4,5 έτη	22 έτη

Μεθοδολογία υπολογισμού εκπομπών από τα Δάση

Για τον υπολογισμό των εκπομπών χρησιμοποιείται η αναλυτική μεθοδολογία. Για όλους τους τύπους βλάστησης, ένα κατάλληλο σύστημα που περιγράφει την εκπομπή υδρογονανθράκων (HC) είναι αυτό που περιγράφεται με τη σχέση (αλγόριθμος Guenther):

$$\text{Ροή HC (}\mu\text{g m}^{-2}\text{ yr}^{-1}\text{)} = \int \varepsilon \cdot D \cdot \gamma \cdot dt \quad <3-13>$$

όπου ε είναι ο μέσος συντελεστής εκπομπής του δασοπονικού είδους σε ($\mu\text{g} \times \text{g}^{-1} \times \text{h}^{-1}$),
 D είναι η πυκνότητα βιομάζας (g ξηρού φυλλώματος $\times \text{m}^{-2}$),
 γ είναι ο αδιάστατος περιβαλλοντικός συντελεστής που εκφράζει την επίδραση της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας στις εκπομπές.

Για τις εκπομπές ισοπρενίου ο συντελεστής γ είναι συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας και δίνεται από την εξίσωση:

$$\gamma_{iso} = C_L \cdot C_T \quad <3-14>$$

όπου C_L αδιάστατος συντελεστής που εκφράζει την εξάρτηση από την ηλιακή ακτινοβολία
 C_T αδιάστατος συντελεστής που εκφράζει την εξάρτηση από τη θερμοκρασία

Ο συντελεστής C_L δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_L = (\alpha \cdot C_{L1} \cdot L) \cdot (1 + \alpha^2 \cdot L^2)^{-0.5} \quad <3-15>$$

όπου L είναι η ροή ακτινοβολίας φωτοσύνθεσης (μmol φωτόνια $\{400-700\} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$) και $\alpha = 0,0027$, $C_{L1} = 1,066$ είναι εμπειρικές σταθερές

Ο συντελεστής C_T δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C_T = \{ \exp[C_{T1} \cdot (T - T_s) \cdot (R \cdot T_s \cdot T)^{-1}] \} \cdot \{ 1 + \exp[C_{T2} \cdot (T - T_M) \cdot (R \cdot T_s \cdot T)^{-1}] \}^{-1} \quad <3-16>$$

όπου $C_{T1} = 95.000$ ($\text{J} \times \text{mol}^{-1}$), $C_{T2} = 230.000$ ($\text{J} \times \text{mol}^{-1}$), $R = 8.314$ ($\text{J} \times \text{K}^{-1} \times \text{mol}^{-1}$), $T_s = 303$ (K) και $T_M = 314$ (K) είναι εμπειρικές σταθερές που έχουν βασιστεί σε μετρήσεις τριών ειδών βλάστησης (ευκάλυπτος, λεύκη και φασολιά), τα οποία μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά και για άλλα είδη βλάστησης.

Για να διευκολυνθεί η σύγκριση των τιμών των εκπομπών ισοπρενίου από διαφορετικά εργαστήρια στα οποία μετρώνται ποικίλα δασοπονικά είδη κάνοντας χρήση διαφορετικών μετρητικών θόλων σε διαφορετικές τοποθεσίες, εποχές του έτους κτλ, οι εκπομπές ισοπρενίου κανονικοποιούνται σε σταθερά επίπεδα τιμών θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$I = I_s \cdot \gamma_{iso} \quad <3-17>$$

όπου I είναι ο ρυθμός εκπομπής ισοπρενίου ($\mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$ ξηρού βάρους φυλλώματος $\times \text{h}^{-1}$) που απαντάται σε θερμοκρασία T (K) και ακτινοβολία L ($\mu\text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$)
 I_s είναι η βασική εκπομπή ισοπρενίου

Ο περιβαλλοντικός συντελεστής διόρθωσης για τις εκπομπές μονοτερπενίων από τα περισσότερα φυτά παραμετροποιείται βάσει της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\gamma_{ms} = \exp[\beta \cdot (T - T_s)] \quad <3-18>$$

όπου $\beta = 0.09 \text{ (K}^{-1}\text{)}$ είναι μια εμπειρική σταθερά που βασίζεται σε μη γραμμική ανάλυση μεγάλου πλήθους μετρήσεων που απαντώνται στη βιβλιογραφία.

Το ίδιο ισχύει και για τα μονοτερπένια:

$$M = M_{Ts} \cdot \gamma_{mts} \quad <3-19>$$

όπου M είναι ο ρυθμός εκπομπής μονοτερπενίων ($\mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$ ξηρού βάρους φυλλώματος $\times \text{h}^{-1}$) που προβλέπεται σε θερμοκρασία T (K) και ακτινοβολία L ($\mu\text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$)

M_{Ts} είναι η βασική εκπομπή μονοτερπενίων

Προσφάτως έχει δειχθεί ότι όσον αφορά τις εκπομπές μονοτερπενίων από κάποια είδη αειθαλών βελανιδιών και το νορβηγικό έλατο ότι έχουν εξάρτηση από την ηλιακή ακτινοβολία. Τουλάχιστον για τις αειθαλείς βελανιδιές της οικογένειας *Quercus ilex* αυτή η εξάρτηση φαίνεται ότι περιγράφεται ικανοποιητικά από τον αλγόριθμο Guenther (εξίσωση 3-13). Συμβολίζοντας αυτή τη συμπεριφορά με mtl λαμβάνουμε την εξής σχέση:

$$\gamma_{mtl} = \gamma_{iso} \quad <3-20>$$

Συντελεστές εκπομπής

Οι συντελεστές εκπομπής (ϵ -iso, ϵ -mtl, ϵ -mts, ϵ -OVOC) που χρησιμοποιούνται προέρχονται από βιβλιογραφία της ευρωπαϊκής βλάστησης (και ιδιαίτερα της μεσογειακής). Ο πίνακας 3-8 συνοψίζει τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

Πίνακας 3-8: Έκταση, πυκνότητα βιομάζας και συντελεστές εκπομπής ανά δασοπονικό είδος στην Ελλάδα.

Δασοπονικό είδος	Λατινική ονομασία	Έκταση	D	ε-iso	ε-mtl	ε-mts	ε-OVOC
		(km ²)	(g x m ⁻²)	(μg x g ⁻¹ x h ⁻¹)			
Ελάτη	<i>Abies</i>	5.433	1.400	18,4	0	3	1,5
Πεύκη χαλέπιος	<i>Pinus halepensis</i>	5.677	700	0	0	0,65	1,5
Πεύκη μαύρη	<i>Pinus nigra</i>	2.817	700	0	0	3	1,5
Πεύκη δασική	<i>Pinus sylvestris</i>	210	700	0	0	1,5	1,5
Πεύκη λευκόδερμος	<i>Pinus leucodermis</i>	83	700	0	0	3	1,5
Πεύκη ήμερος	<i>Pinus pinea</i>	1	700	0	0	6	1,5
Ελάτη-Πεύκη	<i>Abies-pinus nigra</i>	48	1.050	0	0	3	1,5
Οξιά	<i>Fagus</i>	3.366	320	0	0	0,65	1,5
Καστανιά	<i>Castanea vesca-sativa</i>	331	320	0	0	13,66	1,5
Βελανιδιά	<i>Default deciduous oak</i>	14.718	320	60	0	0,2	1,5
Αειθαλή δέντρα		31.539					
Kermes oak/grain tree	<i>Quercus coccifera</i>		500	0	20	0	1,5
Αειθαλής βελανιδιά	<i>Quercus ilex</i>		500	0	20	0	1,5
Narrow leaved phillyrea	<i>Phillyrea media (angustifolia)</i>			0	0	0,5	1,5
Strawberry tree	<i>Arbutus species (unedo)</i>			0	0	0,1	1,5
Φιστικιά	<i>Pistachia species</i>			0	0	3	1,5
Χαρουπιά	<i>Ceratonia siliqua</i>			0	0	0,5	1,5
Δάφνη	<i>Laurus nobilis</i>				0	0,93	1,5
Πλάτανος	<i>Platanus orientalis</i>	866	320	34	0	0	1,5
Ερυθρελάτη	<i>Picea sitchensis</i>	28	1.400	6	0	3	1,5
Σημύδα	<i>Betula</i>	14	320	0	0	0,2	1,5

Κεφάλαιο 4^ο – Απογραφές εκπομπών αέριων ρύπων

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος απογραφής εκπομπών αέριων ρύπων. Παράλληλα γίνεται περιγραφή των βασικών κατευθυντήριων γραμμών για την υλοποίηση αξιόπιστων απογραφών εκπομπών αερίων ρύπων βασισμένων στην τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS). Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βασική πηγή πληροφοριών για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή τη χάραξη πολιτικής περιορισμού της. Όμως το πιο σημαντικό πλεονέκτημα από την ανάπτυξη εφαρμογών σε περιβάλλον ΓΣΠ είναι η δυνατότητά τους να παρέχουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου σε μοντέλα ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Ο εντοπισμός των πηγών προέλευσης των αέριων ρύπων, καθώς και η ποσοτικοποίηση των εκπομπών τους είναι αναγκαία με τελικό σκοπό:

- Την ενημέρωση του κοινού και όσων εμπλέκονται στη διαμόρφωση πολιτικών.
- Τον καθορισμό προτεραιοτήτων στη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής και την ανάδειξη δραστηριοτήτων υπεύθυνων για τα προβλήματα.
- Την οριοθέτηση στόχων και την αναγνώριση των εμποδίων προς την επίτευξη αυτών.
- Την εκτίμηση ύπαρξης ή μη πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απορρέουν από διαφορετικές στρατηγικές αντιρρύπανσης.
- Τον προσδιορισμό του κόστους/οφέλους των διαφορετικών πολιτικών.
- Την παρακολούθηση της κατάστασης του περιβάλλοντος για να διαπιστωθεί αν επιτυγχάνονται οι στόχοι που έχουν τεθεί.
- Τον έλεγχο της εφαρμοζόμενης πολιτικής για να διασφαλιστεί ότι έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα.
- Τον έλεγχο των υπεύθυνων για την εφαρμογή των στρατηγικών αντιρρύπανσης και τη διασφάλιση της συνέπειας στις υποχρεώσεις τους .

4.1. Βασικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος απογραφής εκπομπών αέριων ρύπων

Η αναγκαιότητα της χωρικής ανάλυσης είναι προφανής σε ενεργειακές/περιβαλλοντικές αναλύσεις και σχεδιασμό περιφερειακού επιπέδου, διότι ο χαρακτήρας μιας σειράς παραγόντων που συμμετέχουν σε ενεργειακούς ή περιβαλλοντικούς σχεδιασμούς είναι χωρικά προσδιορισμένος. Παράλληλα η διασπορά των αέριων ρύπων σε ευρύτερες της προέλευσής τους περιοχές κάτω από την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών καθιστά αναγκαία μεταξύ των άλλων και τη γνώση της ακριβούς θέσης των πηγών εκπομπής ρύπων, γεγονός που απαιτεί λεπτομερή γεωγραφική ανάλυση. Κατά συνέπεια για να είναι αποδοτική μια περιβαλλοντική διαχείριση σε περιφερειακή κλίμακα πρέπει να ξεκινά από απογραφές εκπομπών χωρικά προσδιορισμένες.

Η υλοποίηση της γεωγραφικής ανάλυσης των εκπομπών, λόγω της ποικιλομορφίας των πηγών (ως προς την έκταση, τη χωροθέτηση, τη διεργασία) και του μεγάλου αριθμού τους, της ανομοιόμορφης έκτασης των γεωγραφικών περιοχών της χώρας και της δυσκολίας να υπάρχει ακριβής χωροθέτηση των πηγών αερίων ρύπων σε κάθε περιοχή, απαιτεί μεγάλο αριθμό χωρικών, ενεργειακών, δημογραφικών,

κοινωνικών και άλλων σχετικών πληροφοριών. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν αποδοτικά με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων. Τα ΓΣΠ είναι τα πλέον κατάλληλα εργαλεία για συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση, επεξεργασία, ανάκτηση, μετασχηματισμό, ανάλυση και απόδοση της γεωγραφικής πληροφορίας.

Η απογραφή των εκπομπών των πηγών ρύπανσης οφείλει να εντάσσεται σε ένα συνολικό σύστημα απογραφής (*emissions inventory*) που θα καλύπτει όλες τις πηγές ρύπανσης με ενιαίο τρόπο, με οικονομία στην αποθήκευση και επεξεργασία της πληροφορίας, με χρησιμοποίηση του ίδιου περιβάλλοντος λογισμικού το οποίο θα εξασφαλίζει συμβατότητα, διαφάνεια και συγκρισιμότητα των εκπομπών στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Μόνον έτσι καθίσταται δυνατή η εξυπηρέτηση των αναγκών σε εκτιμήσεις εκπομπών, ανάγκες που εκτείνονται από μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μέχρι προσομοιώσεις της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και υποστήριξη λήψης μέτρων αντιρρύπανσης.

Ένα συνολικό Σύστημα Απογραφής Εκπομπών (ΣΑΕ) οφείλει:

- (i) Να καλύπτει όλες τις γνωστές πηγές εκπομπών, ανθρωπογενών και βιογενών:
 - Καύση κατά την παραγωγή και μετασχηματισμό της ενέργειας
 - Καύση στη Βιομηχανία
 - Καύση σε μικρές εστίες (βιοτεχνίες, κεντρικές θερμάνσεις, θερμάστρες)
 - Διεργασίες Παραγωγής
 - Εξόρυξη και διακίνηση ορυκτών καυσίμων
 - Χρήση διαλυτών και άλλων προϊόντων
 - Οδικές Μεταφορές
 - Άλλες κινητές πηγές και μηχανήματα (μεταφορές σιδηροδρόμων, θαλάσσης, αέρος, κίνηση οχημάτων εκτός δρόμου)
 - Επεξεργασία και διάθεση των απορριμμάτων
 - Γεωργία
 - Κτηνοτροφία
 - Φύση (δάση)
- (ii) Να αναφέρεται σε όλους τους αέριους ρύπους:
 - Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
 - Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
 - Μη μεθανικοί υδρογονάνθρακες (NMVOC)
 - Μεθάνιο (CH₄)
 - Οξείδια του αζώτου (NO_x)
 - Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)
 - Αμμωνία (NH₃)
 - Διοξείδιο του θείου (SO₂)
 - Σωματίδια (Particulate matter - PM)
 - Βαρέα μέταλλα (Heavy Metals - HM) Μόλυβδος (Pb), Κάδμιο (Cd), Ψευδάργυρος (Zn), Χαλκός (Cu), Χρώμιο (Cr), Νικέλιο (Ni), Σελήνιο (Se)
 - Παραμένοντες Οργανικοί Ρύποι (POPs): Βενζο(α)ανθρακένιο, Βενζο(α)πυρένιο, Βενζο(b)φλουορανθένιο, Διβενζο(a,h)ανθρακένιο, Χρυσένιο, Φλουορανθένιο, Φενανθένιο.
 - Ανάλυση των NMVOC σε επιμέρους χημικές ενώσεις.
- (iii) Να ενσωματώνει τα εξής βασικά δομικά στοιχεία:
 - ✓ **Σχεσιακές βάσεις δεδομένων εισόδου:** Οι βάσεις δεδομένων αυτές οφείλουν να δομηθούν με τον ίδιο κατά το δυνατό τρόπο και να περιλαμβάνουν όλα τα δεδομένα εκείνα που είναι απαραίτητα για τους περαιτέρω υπολογισμούς για τις εκτιμήσεις των εκπομπών ρύπων. Δύο είναι τα βασικά συστατικά των βάσεων δεδομένων εισόδου:

- Τα δεδομένα δραστηριότητας (π.χ. πληθυσμός, αριθμός οχημάτων, αριθμός βιομηχανικών μονάδων, κατανάλωση καυσίμων, χρήση διαλυτών, στοιχεία χρήσης γης, κτλ).
- Κατάλληλοι συντελεστές εκπομπής.

Σημειώνεται ότι πολλά στοιχεία που απαιτούνται για την εκτίμηση των εκπομπών από μια δραστηριότητα μπορεί να απαιτούνται και για κάποια άλλη (λ.χ. ο αριθμός των αυτοκινήτων μπορεί να συσχετιστεί με τις εκπομπές διαλυτών κατά τη βαφή συντήρησής τους ή η χρήση των αγροτικών μηχανημάτων με στοιχεία κατανομής των γεωργικών καλλιεργειών, κτλ).

Ακόμα είναι απαραίτητο οι βάσεις δεδομένων των στοιχείων δραστηριότητας να περιέχουν χρονοσειρές, δηλαδή την εξέλιξη της δραστηριότητας από μια χρονική στιγμή και μετά. Αυτό είναι αναγκαίο για την υποστήριξη προβλέψεων εξέλιξης των εκπομπών μιας πηγής, με προεκβολή των δεδομένων του παρελθόντος ή άλλες μεθόδους.

- ✓ **Κατάλληλους αλγόριθμους για τον υπολογισμό των εκπομπών:** Η εκτίμηση των εκπομπών για κάθε μία πηγή θα πρέπει να γίνεται ξεχωριστά με βάση διεθνώς αποδεκτές μεθόδους υπολογισμού. Η εκτίμηση πρέπει να είναι διαφανής και εύκολα ενημερώσιμη με δυνατότητα επανεκτίμησης των εκπομπών του παρελθόντος σε περίπτωση τροποποίησης των μεθόδων ή των συντελεστών εκπομπής. Ακόμα οι αλγόριθμοι που θα χρησιμοποιηθούν οφείλουν να δίνουν τη δυνατότητα βραχυπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων προεκβολών (προβλέψεων).

Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν με τη σειρά τους να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

- Αλγόριθμοι μικροσκοπικού υπολογισμού των εκπομπών (*bottom-up approaches*). Αυτοί είναι απαραίτητοι στις περιπτώσεις εκείνες που η εκτίμηση των εκπομπών απαιτείται να γίνει με τη μεγαλύτερη δυνατή χωρική και χρονική ανάλυση (π.χ. ανά δρόμο και ώρα σε μια βεβαρυσμένη αστική περιοχή)
- Αλγόριθμοι μακροσκοπικού υπολογισμού των εκπομπών (*top-down approaches*). Αυτοί χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις εκείνες όπου μια ολική εκτίμηση των εκπομπών με μικρή χωρική και χρονική ανάλυση είναι αρκετή (π.χ. ετήσιες εκπομπές CO₂ για τη χώρα)
- Αλγόριθμοι για την άθροιση (*aggregation*) σε μεγαλύτερες χωρικές ή χρονικές μονάδες ή/και ανάλυση (*disaggregation*) των εκπομπών σε μικρότερες. Είναι σαφές ότι από τις ωριαίες εκπομπές των δρόμων μπορούν να προκύψουν οι ετήσιες εκπομπές της αστικής περιοχής. Αλλά και αντίθετα με κατάλληλα προφίλ είναι δυνατό από ετήσιες εκπομπές να εκτιμηθεί η εποχιακή, η ημερήσια ή η ωριαία διακύμανση τους.
- Αλγόριθμοι ισοζυγίων. Αυτοί οι αλγόριθμοι διασφαλίζουν τη συνεκτικότητα των εκτιμήσεων των εκπομπών ειδικά σε περιπτώσεις όπου η μίξη μικροσκοπικών και μακροσκοπικών μεθόδων είναι απαραίτητη. Στηρίζονται και αποσκοπούν στην αξιοποίηση στατιστικών στοιχείων που δεν χρησιμοποιήθηκαν άμεσα στους υπολογισμούς εκπομπών και εξασφαλίζουν την ορθή στάθμιση και συσχέτιση ενεργειακών δεδομένων και δεδομένων δραστηριότητας (π.χ. σύγκριση υπολογιζόμενης κατανάλωσης με τη στατιστικά γνωστή, ισοζύγιο των υπολογιζόμενων μικρο- και μακροσκοπικά οχηματοχιλιομέτρων, κτλ).
- ✓ **Σχεσιακές βάσεις δεδομένων με τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων των εκπομπών:** Είναι εύλογο ότι, ανάλογα με την πηγή, διαφορετικές χωρικές μονάδες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκπομπών (λ.χ. δρόμος ή τμήμα δρόμου για την αστική κυκλοφορία, εργοστάσιο ή καμινάδα για τη βιομηχανία και την παραγωγή ενέργειας, μονάδα επιφάνειας για τη γεωργία, κτλ). Έτσι τα αποτελέσματα των υπολογισμών πρέπει στη συνέχεια να αποθηκευθούν σε βάσεις δεδομένων, που αναλόγως της πηγής, του ρύπου και της δεδομένης χρήσης, πρέπει να εμπεριέχουν χωρική και χρονική ανάλυση.

Η ανάλυση αυτή διακρίνει χωρικά τριών ειδών πηγές:

- **Σημειακές πηγές:** Αυτές περιλαμβάνουν τις καμινάδες των σημαντικότερων βιομηχανιών

και μονάδων παραγωγής ενέργειας, τις μικρές πόλεις, τα δευτερεύοντα λιμάνια, κτλ.

- **Γραμμικές πηγές:** Αυτές περιλαμβάνουν σε επίπεδο μείζονος πολεοδομικού συγκροτήματος όλους τους δρόμους ή σε επίπεδο νομού ή της χώρας το εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο, το σιδηροδρομικό δίκτυο, κτλ.
- **Επιφανειακές πηγές:** Αυτές είναι όλες οι διάσπαρτες πηγές εκπομπής, λ.χ. εκπομπές από τα δάση, από τη γεωργία, από αλιευτικά σκάφη, ή εκπομπές διαλυτών οικιακής χρήσης, κτλ.

Όσον αφορά τη χρονική ανάλυση των εκπομπών, είναι δόκιμο να χρησιμοποιηθούν οι εξής μονάδες:

- Ώρα
- Ημέρα
- Εβδομάδα
- Μήνας
- Εποχή
- Έτος

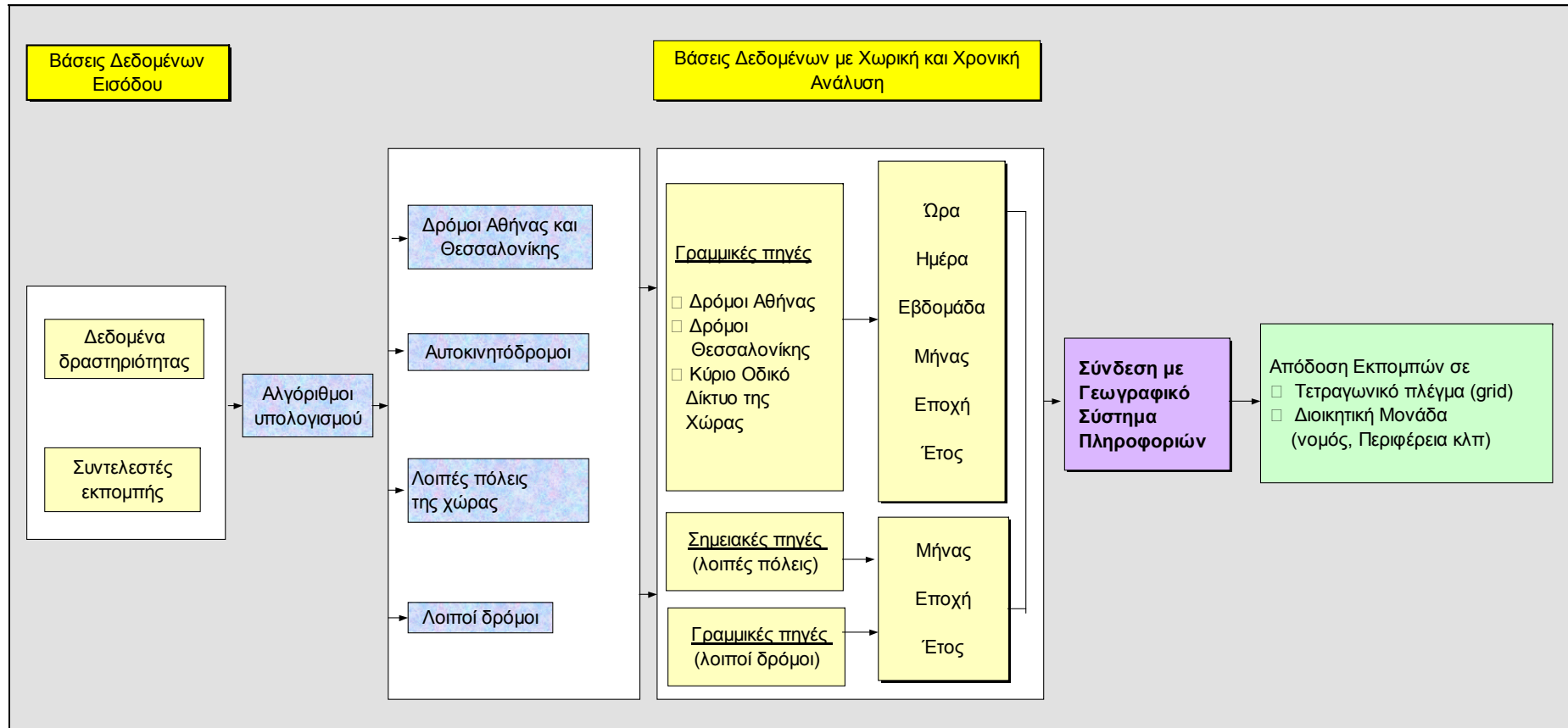
Όπως ήδη ειπώθηκε, για να επιτευχθεί οικονομία στη χρήση του υλικού (*hardware*) και του λογισμικού (*software*), η αποθήκευση της τελικής πληροφορίας πρέπει να γίνεται επιλεκτικά, ανάλογα με την πηγή και το ρύπο.

- ✓ **Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ):** Όλες οι παραπάνω βάσεις δεδομένων (εισόδου και αποτελεσμάτων) συνδέονται και αποτελούν την τροφοδοσία του ΓΣΠ. Στο ΓΣΠ γίνεται η απεικόνιση και υπέρθεση των πηγών και των εκπομπών τους σε πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες. Το ΓΣΠ δίνει τη δυνατότητα για τελική απόδοση των εκπομπών για κάθε επιθυμητή χρονική μονάδα:

- Σε τετραγωνικό πλέγμα (*grid*) κατάλληλων διαστάσεων, ανάλογα με την εφαρμογή.
- Σε διοικητική μονάδα (νομός, περιφέρεια, κτλ).

Παράλληλα το ΓΣΠ πρέπει να ενσωματώνει δυνατότητα εστίασης με μεγέθυνση (*zooming*) σε ιδιαίτερα βεβαρημένες περιοχές που θα έχουν ιδιαιτέρως προβλεφθεί (λ.χ. τα πολεοδομικά συγκροτήματα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης).

Για την εικονογράφηση των παραπάνω, η **εικόνα 4-1** παρουσιάζει λογικό διάγραμμα της σύνθεσης του Συστήματος Απογραφής Εκπομπών με εξειδίκευση στην Οδική Κυκλοφορία.



Εικόνα 4-1: Block Diagramme της δομής του Συστήματος Απογραφής Εκπομπών με βάση το παράδειγμα της οδικής κυκλοφορίας.

4.2. Καθορισμός της χρονικής και χωρικής διακριτότητας υπολογισμού των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων

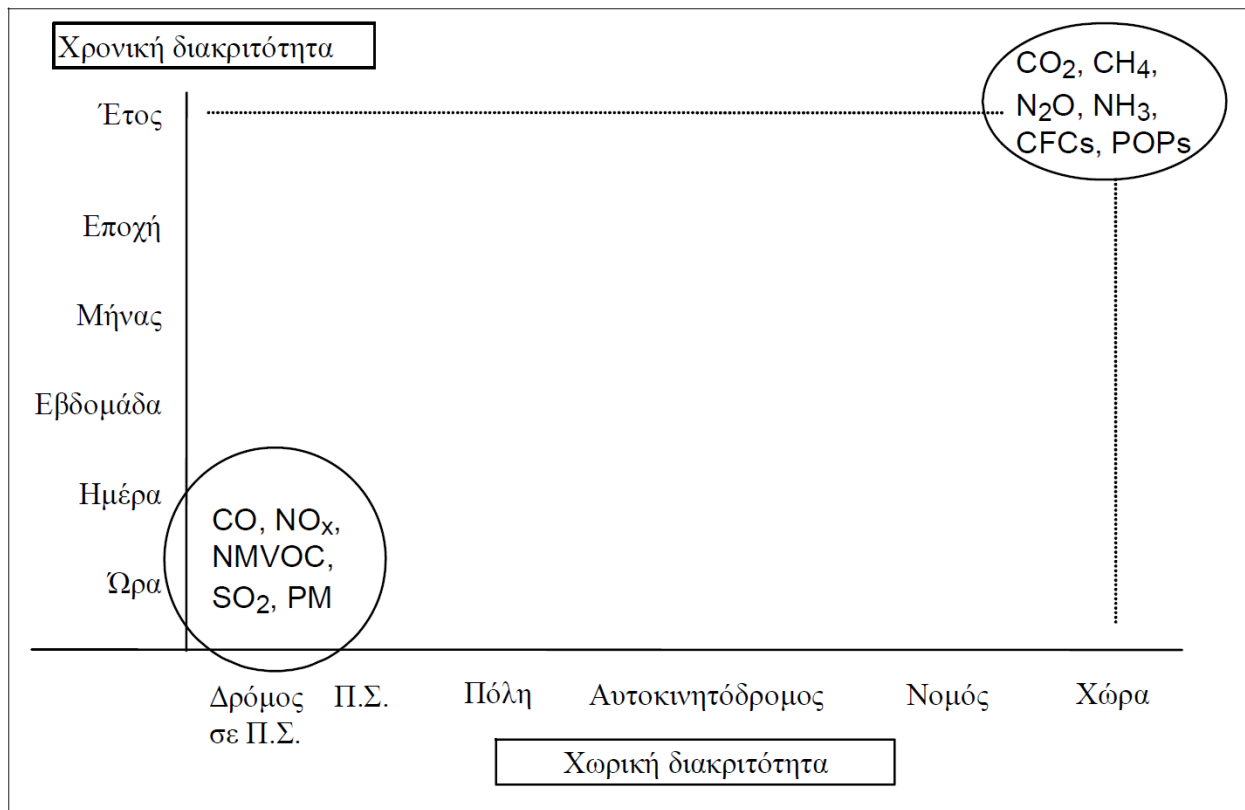
Σύμφωνα με τα προηγούμενα, για την προσομοίωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας αστικής περιοχής βεβαρημένης ατμοσφαιρικά, είναι απαραίτητη η γνώση της εκπομπής ρύπων σε κατάλληλο τετραγωνικό πλέγμα (π.χ. 500 x 500 m²) και σε ωριαία βάση. Είναι αυτονόητο ότι η άθροιση σε μεγαλύτερες χρονικές μονάδες μπορεί να γίνει άμεσα (δηλαδή με πολλαπλασιαστικούς συντελεστές). Παράλληλα βέβαια η ανάπτυξη ιδιαίτερων προφίλ είναι απαραίτητη για τη σχετική διαφοροποίηση ιδιαίτερων χρονικών μονάδων, π.χ. βράδυ από ημέρα, Σαββατοκύριακο από εργάσιμη ημέρα, καλοκαίρι από χειμώνα. Από την άλλη, είναι περιττή η παραγωγή και αποθήκευση πληροφορίας αντίστοιχης ανάλυσης για το σύνολο της χώρας. Η γνώση της εποχικής διακύμανσης των εκπομπών ρύπων στο σύνολο της επικράτειας είναι η πληροφορία μέγιστης ανάλυσης που είναι συνήθως απαραίτητη. Παρόλα αυτά η δυνατότητα ανάλυσης (*disaggregation*) των εκπομπών ρύπων με μεγαλύτερη χρονική διακριτότητα από την προβλεπόμενη είναι επίσης δυνατή και με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών. Εκείνο που σε κάθε περίπτωση απαιτείται και πρέπει να διασφαλίζεται από το συνολικό σύστημα απογραφής είναι η συμβατότητα των δύο προσεγγίσεων, της μακροσκοπικής (*top-down*) και της μικροσκοπικής (*bottom-up*).

Οι εκπομπές ρύπων από κινητές και σταθερές πηγές έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και στην ποιότητα ζωής, επιπτώσεις που εκτείνονται από τοπικές (αστική ρύπανση) ως ευρύτερης κλίμακας (*regional*) μέσω της μεταφοράς των ρύπων (όξινες αποθέσεις και τροποσφαιρικό όζον) και κλιματικές σε πλανητικό επίπεδο, που συνδέονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος. Ο **πίνακας 4-1** παρουσιάζει γραφικά τους κυριότερους ρύπους και την έκταση των επιπτώσεών τους.

Είναι επομένως αυτονόητο ότι η χωρική έκταση των επιπτώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων στο περιβάλλον ορίζει ταυτόχρονα τη χωρική και χρονική ανάλυση που απαιτείται για την καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων καθώς και για τη βέλτιστη υποστήριξη μέτρων αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έτσι η **εικόνα 4-2** παρουσιάζει την απαραίτητη χωρική και χρονική ανάλυση για τους διάφορους ρύπους:

- Είναι λ.χ. απαραίτητη η γνώση των εκπομπών του CO , των $NMVOC$ ή των NO_x σε ωριαία βάση και σε κάθε δρόμο (ή τμήμα δρόμου) μιας αστικής περιοχής που είναι βεβαρυσμένη ατμοσφαιρικά, καθώς η σημασία τους στην φωτοχημική ρύπανση είναι δεδομένη. Έτσι θα μπορούν να τροφοδοτούνται με αξιόπιστα δεδομένα εισόδου μοντέλα προσομοίωσης της διασποράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με σκοπό την πρόβλεψη των επιπέδων ρύπανσης και είτε την έγκαιρη λήψη μέτρων, είτε τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό στρατηγικών αντιρρύπανσης.
- Από την άλλη είναι άσκοπη σπατάλη δυναμικού ο ωριαίος υπολογισμός του N_2O σε κάθε ένα τμήμα δρόμου, όταν είναι δεδομένο ότι οι επιπτώσεις του ρύπου αυτού είναι αθροιστικές και σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Έτσι στην περίπτωση αυτή ο συνολικός υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών του N_2O για τη χώρα ικανοποιεί τις βασικές ανάγκες της επιστημονικής έρευνας.

Έχοντας παράλληλα υπόψη τις βασικές ανάγκες των χρηστών των απογραφών εκπομπών, ο **πίνακας 4-2** παρουσιάζει τυπικούς συνδυασμούς χωρικής και χρονικής ανάλυσης που καλύπτουν το μέγιστο μέρος των γνωστών εφαρμογών.



Εικόνα 4-2: Χωρική και χρονική διακριτότητα υπολογισμού των θεωρούμενων αερίων ρύπων.

Πίνακας 4-2: Τυπικοί συνδυασμοί χωρικής και χρονικής ανάλυσης (διακριτότητας).

	Ώρα	Ημέρα	Εβδομάδα	Μήνας	Εποχή	Έτος
Πλέγμα 500x500 m ²	◆	❖	❖	❖	❖	❖
Πλέγμα 25x25 km ²				◆	❖	❖
Πλέγμα 150x150 km ²					◆	❖
Νομός				◆	❖	❖
Περιφέρεια					◆	❖
Χώρα					◆	❖

◆ Πρωτογενής εκτίμηση μέγιστης διακριτότητας

❖ Άθροιση (aggregation)

Μικροσκοπική και μακροσκοπική προσέγγιση

Η δομή της μεθοδολογίας υπολογισμού των εκπομπών αερίων ρύπων παρουσιάζεται στην **εικόνα 4-3**. Η δομή που παρουσιάζεται αφορά την πλέον σύνθετη κατηγορία πηγών, αυτή της οδικής κυκλοφορίας.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που παρουσιάζεται στηρίζεται στην τήρηση του *ισοζυγίου* μεταξύ της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου από το σύνολο των οδικών μεταφορών της χώρας, όπως προκύπτει από στατιστικά στοιχεία (ελάχιστη χωρική και χρονική διακρίσιμότητα) και της ετήσιας - επίσης - κατανάλωσης καυσίμου όπως όμως αυτή υπολογίζεται από την άθροιση των επιμέρους καταναλώσεων που υπολογίζονται με τη μέγιστη χωρική και χρονική διακρίσιμότητα. Η μετάβαση από τιμές καταναλώσεων καυσίμου σε εκπομπές αερίων ρύπων γίνεται με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών εκπομπής (χρήση της βασικής σχέσης υπολογισμού των εκπομπών).

Η πρώτη φάση της τήρησης του ισοζυγίου (ζώνη «Ετήσια βάση» της εικόνας 4-3) αφορά τη χωροθέτηση (το γεωγραφικό καταμερισμό) των ολικών ετήσιων εκπομπών αερίων ρύπων σε εκπομπές που προέρχονται από συγκεκριμένα τμήματα όπως τα κύρια πολεοδομικά συγκροτήματα, οι άλλες πόλεις, οι κύριοι οδικοί άξονες και το λοιπό οδικό δίκτυο. Η φάση αυτή παριστάνεται με τα ευθύγραμμα βέλη της εικόνας 4-3.

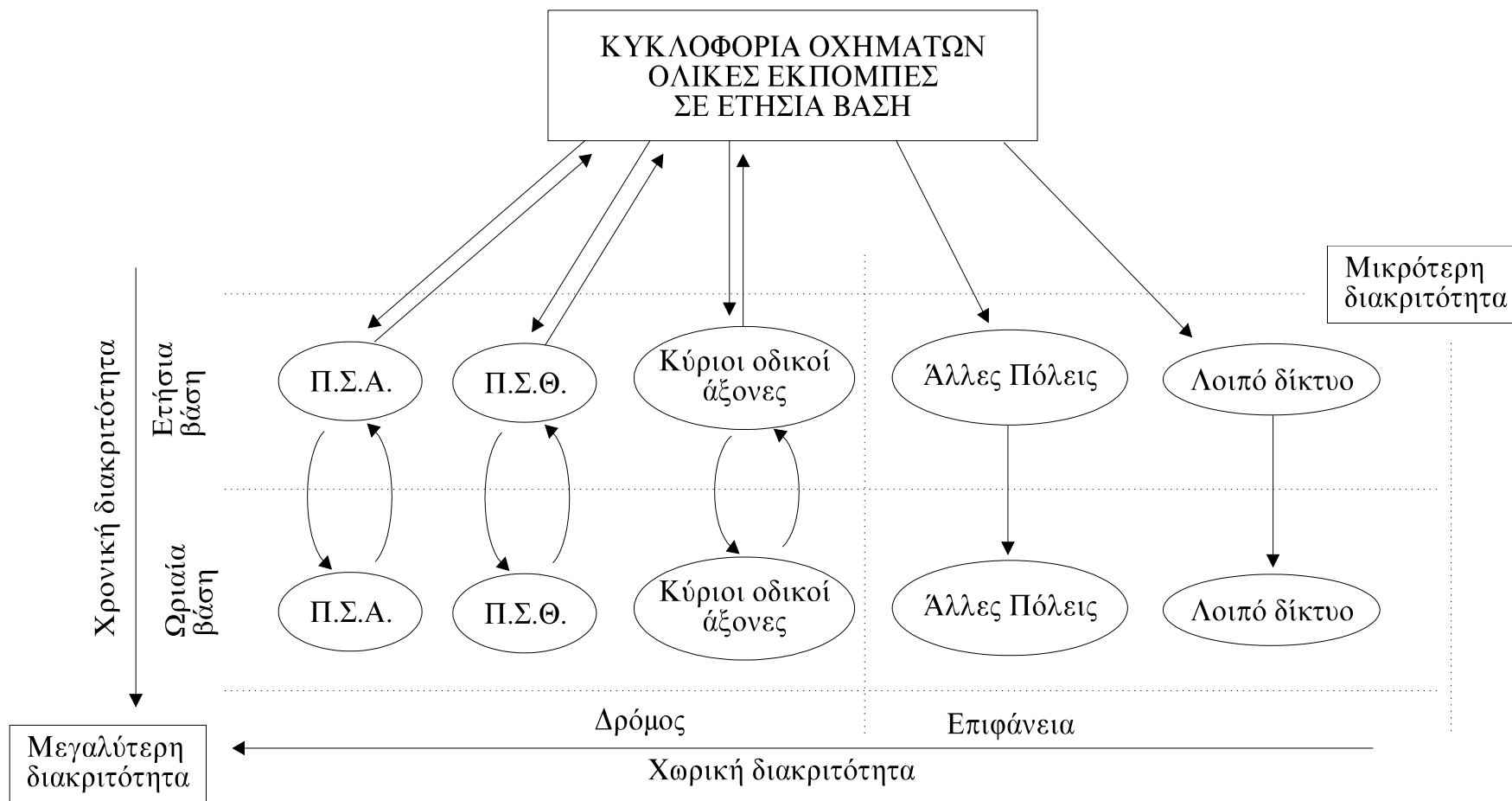
Η δεύτερη φάση (ζώνη «Ωριαία βάση» της εικόνας 4-3) αφορά τον καταμερισμό των εκπομπών ρύπων, για κάθε ένα από τα ανωτέρω τμήματα, σε ωριαία βάση είτε άμεσα είτε έμμεσα (χρονική διακρίσιμότητα).

Οι εκπομπές που προέρχονται από τα κύρια πολεοδομικά συγκροτήματα και τους κύριους οδικούς άξονες θεωρούνται οι πλέον σημαντικές τόσο ποσοτικά όσο και από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνεπάγονται. Για το λόγο αυτό ο υπολογισμός τους γίνεται με ιδιαίτερη μεθοδολογία, το συνδυασμό των μεθόδων «μακροκλίμακας» (προσέγγιση *top-down*) και «μικροκλίμακας» (προσέγγιση *bottom-up*). Αυτή παριστάνεται με τα καμπύλα βέλη της εικόνας 4-3.

Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει αφενός τον υπολογισμό των εκπομπών στη μέγιστη δυνατή χωρική και χρονική διακρίσιμότητα (μικροκλίμακα) αλλά και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της μεθόδου της μακροκλίμακας, που παρέχονται με τη μικρότερη δυνατή χρονική διακρίσιμότητα (ετήσιες τιμές). Από τη σύγκριση αυτή προκύπτουν διορθωτικοί όροι παραμέτρων που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη σύγκλιση των δύο αποτελεσμάτων. Πρόκειται δηλαδή για επαναληπτική διαδικασία που στοχεύει στην ταύτιση των υπολογιζόμενων εκπομπών από τις δύο χρησιμοποιούμενες μεθόδους με επιπλέον όφελος την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων στη μεγαλύτερη δυνατή διακρίσιμότητα.

Μεθοδολογία χωρικής ανάλυσης πηγών εκπομπών

Οι πηγές ρύπανσης μπορούν ανάλογα με την κλίμακα της συνολικής περιοχής να θεωρηθούν ότι είναι σημειακές, γραμμικές ή επιφανειακές. Έτσι μεγάλα εργοστάσια, μικρές πόλεις, αεροδρόμια, κτλ, μπορούν να θεωρηθούν σημειακές πηγές ρύπανσης στη μελέτη σχετικά μεγάλων γεωγραφικών περιοχών. Το οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές πηγές ρύπανσης. Τέλος, οι μεγάλες πόλεις, τα δάση, οι αγροτικές καλλιέργειες, κτλ, μπορούν να θεωρηθούν επιφανειακές πηγές. Στον πίνακα 4-3 δίνεται η ταξινόμηση των πηγών εκπομπών σε κατηγορίες με βάση χωρικά χαρακτηριστικά. Να τονίσουμε ότι η ίδια πηγή εκπομπής, ανάλογα με την κλίμακα εξέτασης, μπορεί να θεωρηθεί άλλοτε σημειακή, άλλοτε γραμμική και άλλοτε επιφανειακή. Το οδικό δίκτυο των Πατρών σε απογραφές εθνικού επιπέδου μπορεί να θεωρηθεί σημειακή πηγή εκπομπών, σε απογραφές περιφερειακού επιπέδου επιφανειακή πηγή εκπομπών, ενώ σε απογραφές τοπικού επιπέδου μπορεί να θεωρηθεί επιφανειακή ή γραμμική πηγή εκπομπών.



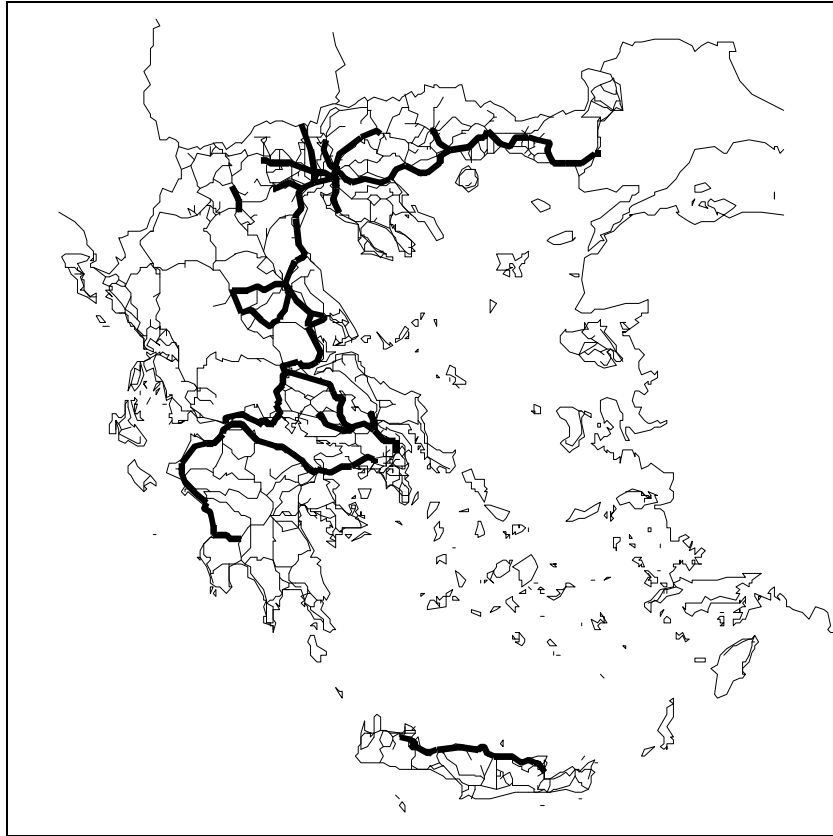
Π.Σ.Α. : Πολεοδομικό Συγκρότημα Αθηνών
 Π.Σ.Θ. : Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης

Εικόνα 4-3: Δομή της μεθοδολογίας υπολογισμού των εκπομπών αερίων ρύπων από την οδική κυκλοφορία.

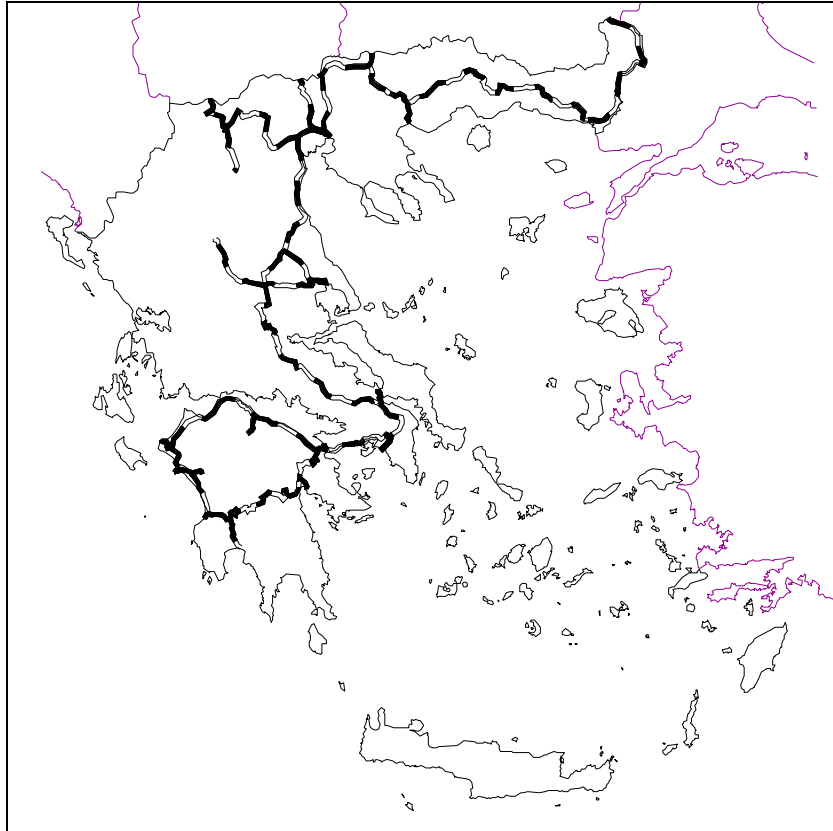
Πίνακας 4-3: Ταξινόμηση πηγών εκπομπών με βάση χωρικά χαρακτηριστικά.

Δραστηριότητα	Κατηγορία πηγής		
	Σημειακή	Γραμμική	Επιφανειακή
Παραγωγή Πρωτογενούς Ενέργειας (πηγές, ορυχεία)	+		+
Μετατροπές Ενέργειας (ΔΕΗ, διυλιστήρια)	+		
Αποθήκευση/ Διανομή καυσίμων (δεξαμενές, αγωγοί, πρατήρια, κλπ)	+	+	+
Τελικές Χρήσεις Ενέργειας			
<u>Βιομηχανία</u>	+		+
<u>Οικιακός, Εμπορικός Τομέας</u>	+		+
<u>Αγροτικός Τομέας</u>	+		+
<u>Οδικές Μεταφορές</u>			
<i>Εθνικό οδικό δίκτυο</i>		+	
<i>Επαρχιακό οδικό δίκτυο</i>		+	
<i>Οδικό δίκτυο μεγάλων πόλεων</i>	+	+	+
<i>Οδικό δίκτυο μικρών πόλεων</i>	+	+	+
<u>Κίνηση οχημάτων και μηχανημάτων εκτός δρόμου</u>	+	+	+
<u>Σιδηροδρομικές Μεταφορές</u>		+	
<u>Θαλάσσιες Μεταφορές</u>			
<i>Λιμάνια</i>	+		+
<i>Διαδρομές</i>		+	
<u>Εναέριες Μεταφορές</u>			
<i>Αεροδρόμια</i>	+		+
<i>Πτήσεις</i>		+	
Χρήση Διαλυτών	+		+
Βιομηχανικές διεργασίες	+		+
Γεωργία / Κτηνοτροφία			+
Διάθεση Απορριμμάτων	+		+
Φύση (Δάση)			+

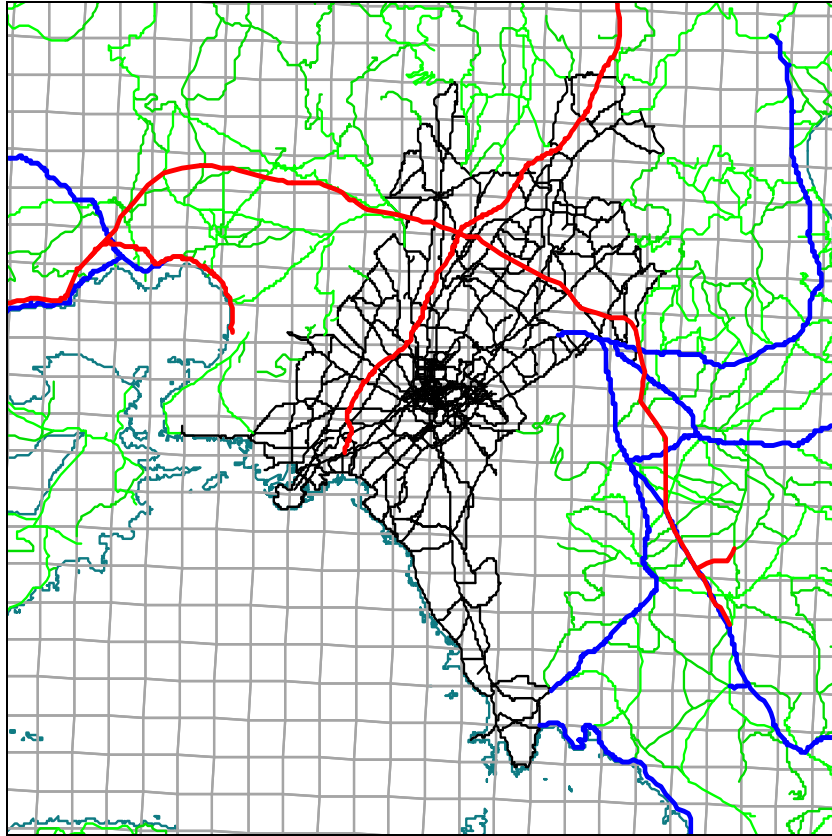
Στις **εικόνες 4-4** έως και **4-13** παρουσιάζονται παραδείγματα θεματικών χαρτών διάφορων κατηγοριών πηγών εκπομπών, όπως καταχωρήθηκαν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με βάση τα χωρικά τους χαρακτηριστικά και σύμφωνα με την ταξινόμηση των πηγών, που δημιουργήθηκαν με ψηφιοποίηση σε πραγματικές συντεταγμένες. Οι χάρτες αυτοί αφορούν γραμμικές πηγές (εθνικό και κύριο επαρχιακό οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικό δίκτυο, ακτοπλοϊκές γραμμές Ε/Ο πλοίων, κύριο οδικό δίκτυο Π.Σ. Αθηνών και Π.Σ. Θεσ/νίκης), σημειακές πηγές (αεροδρόμια, σημαντικότεροι λιμένες, Θερμικοί Ηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ), επιφανειακές (δάση, οικισμένες περιοχές) και την καταγραφή πηγών αέριων ρύπων στην Ευρύτερη Περιοχή Θεσσαλονίκης. Κάθε κατηγορία πηγής συνοδεύεται από βάσεις δεδομένων με πληροφορίες σχετικές με τεχνολογικά, περιβαλλοντικά και άλλα χαρακτηριστικά του επιπέδου δραστηριότητας κάθε ξεχωριστής πηγής.



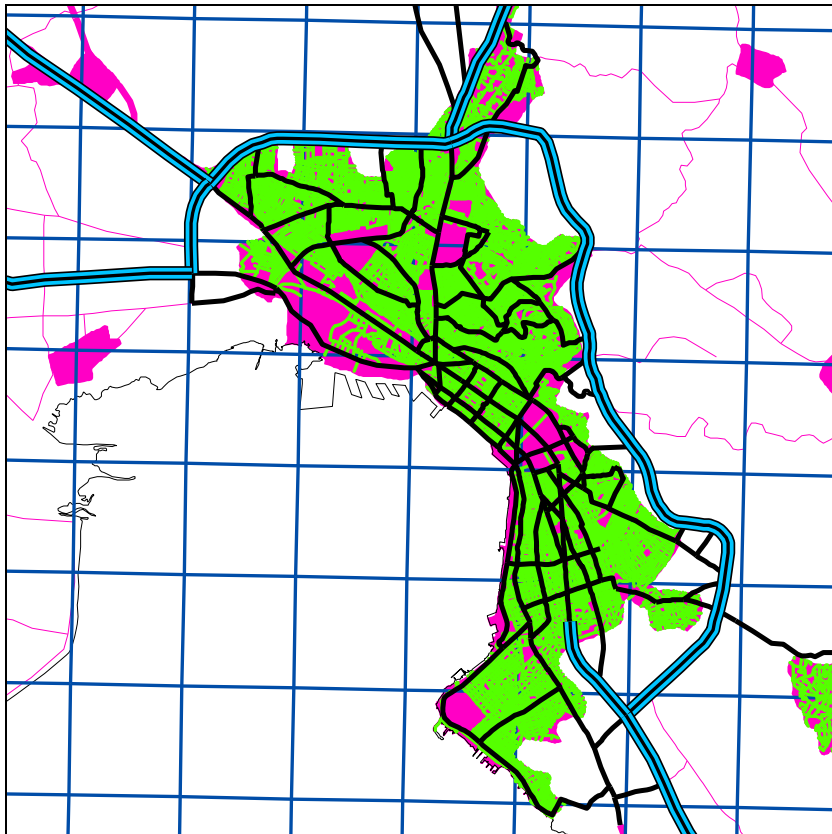
Εικόνα 4-4: Το εθνικό και κύριο επαρχιακό οδικό δίκτυο της Ελλάδας.



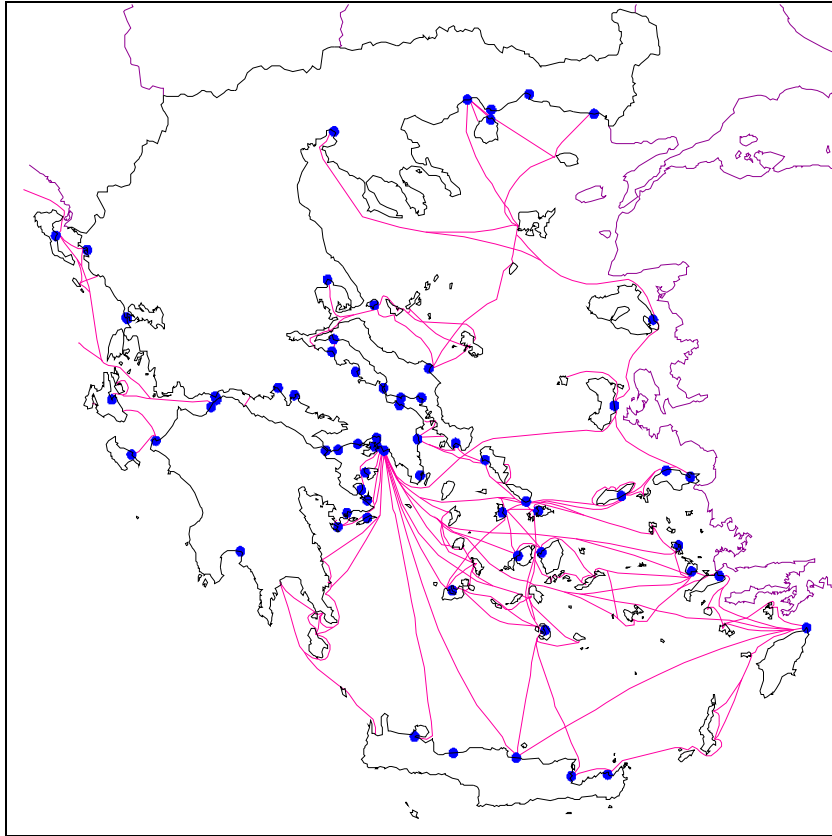
Εικόνα 4-5: Το σιδηροδρομικό δίκτυο της Ελλάδας.



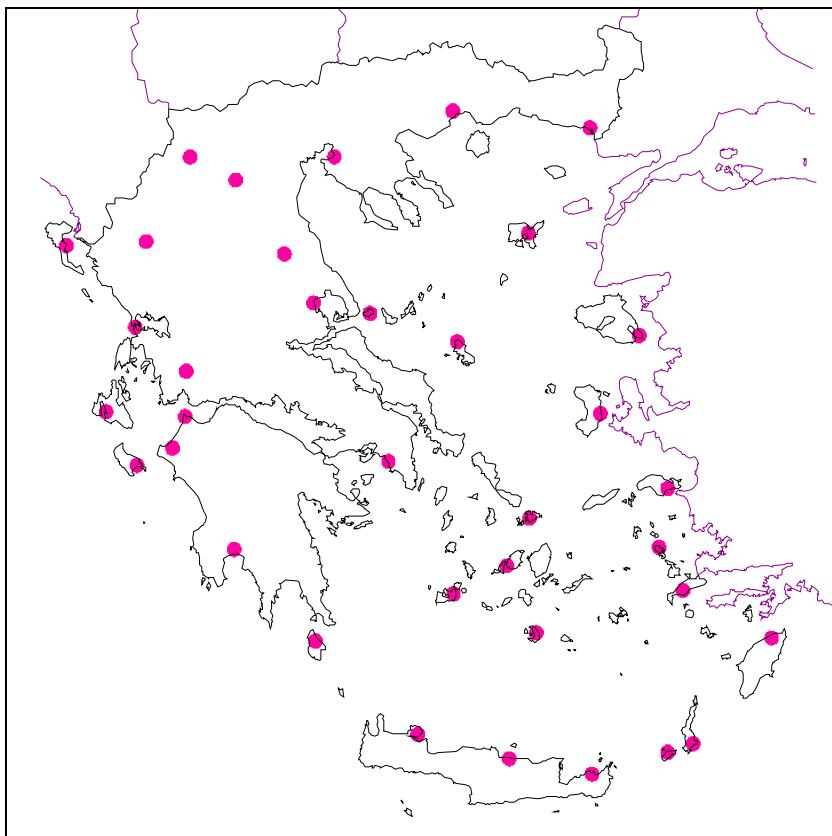
Εικόνα 4-6: Το κύριο οδικό δίκτυο του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Αθήνας.



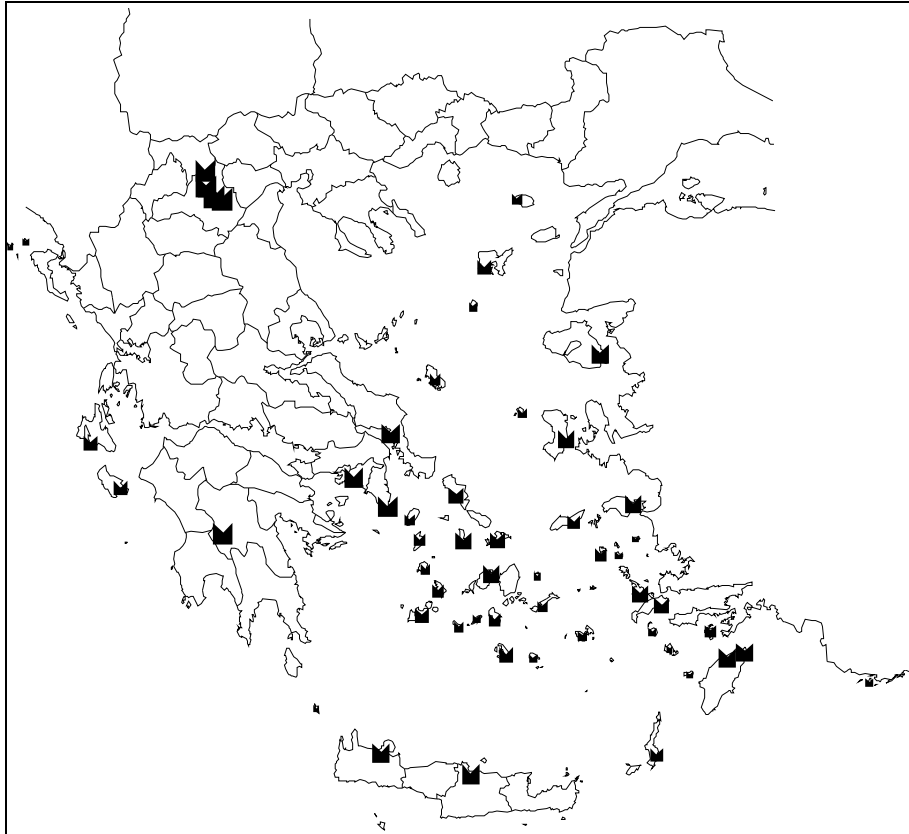
Εικόνα 4-7: Το κύριο οδικό δίκτυο του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.



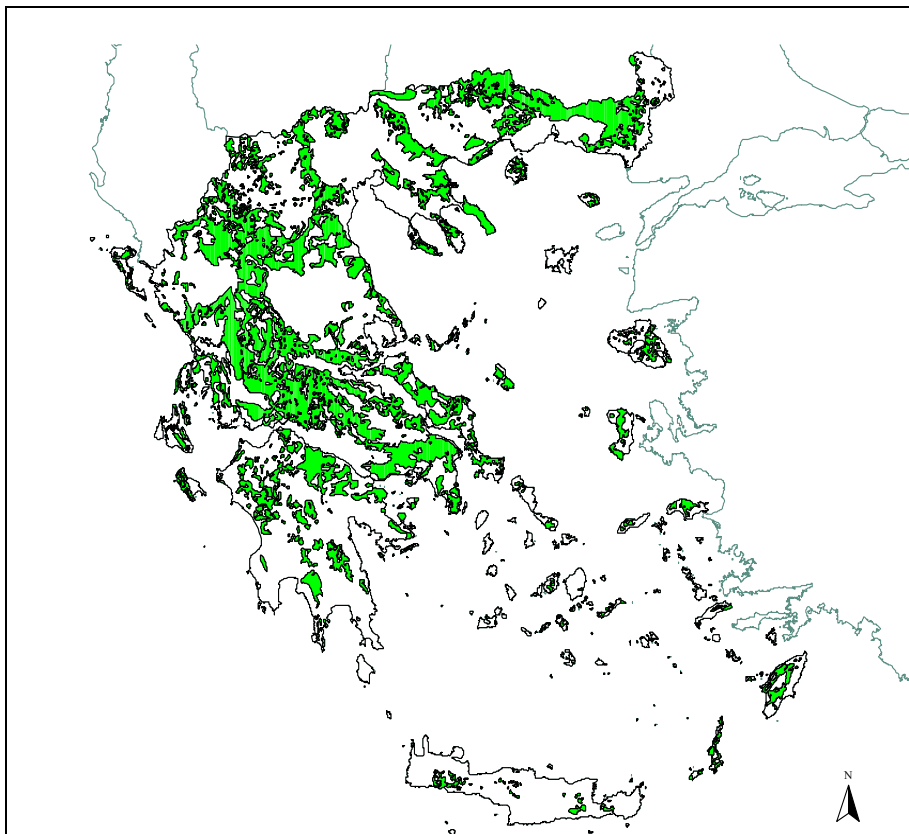
Εικόνα 4-8: Τα σημαντικότερα λιμάνια και ακτοπλοϊκές γραμμές Ε/Ο πλοίων.



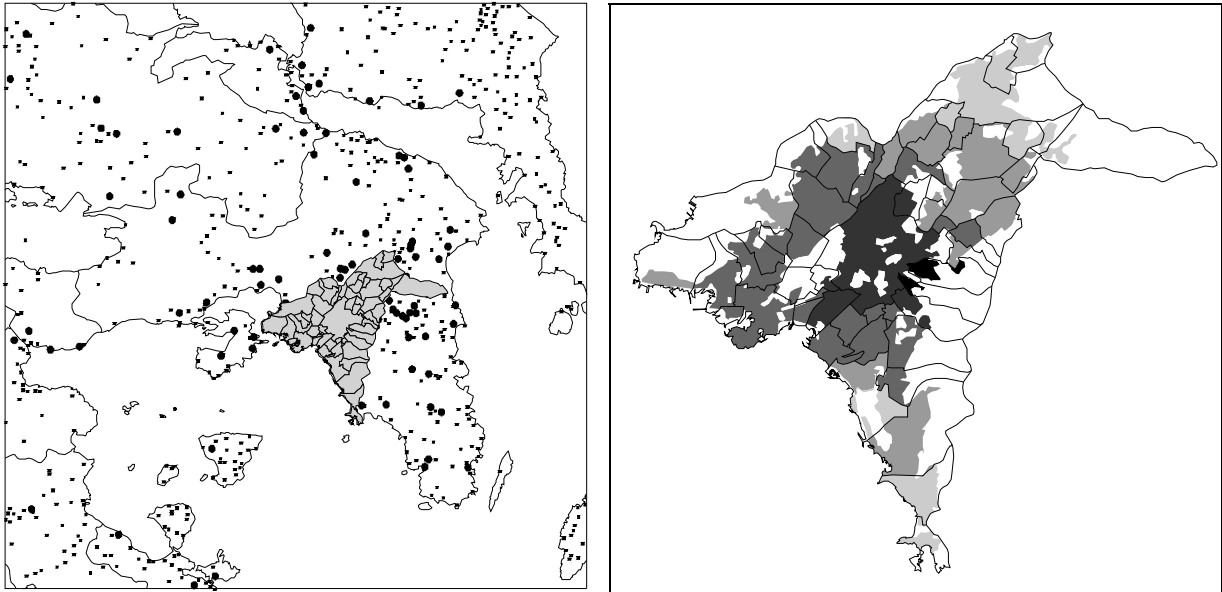
Εικόνα 4-9: Τα αεροδρόμια της Ελλάδας



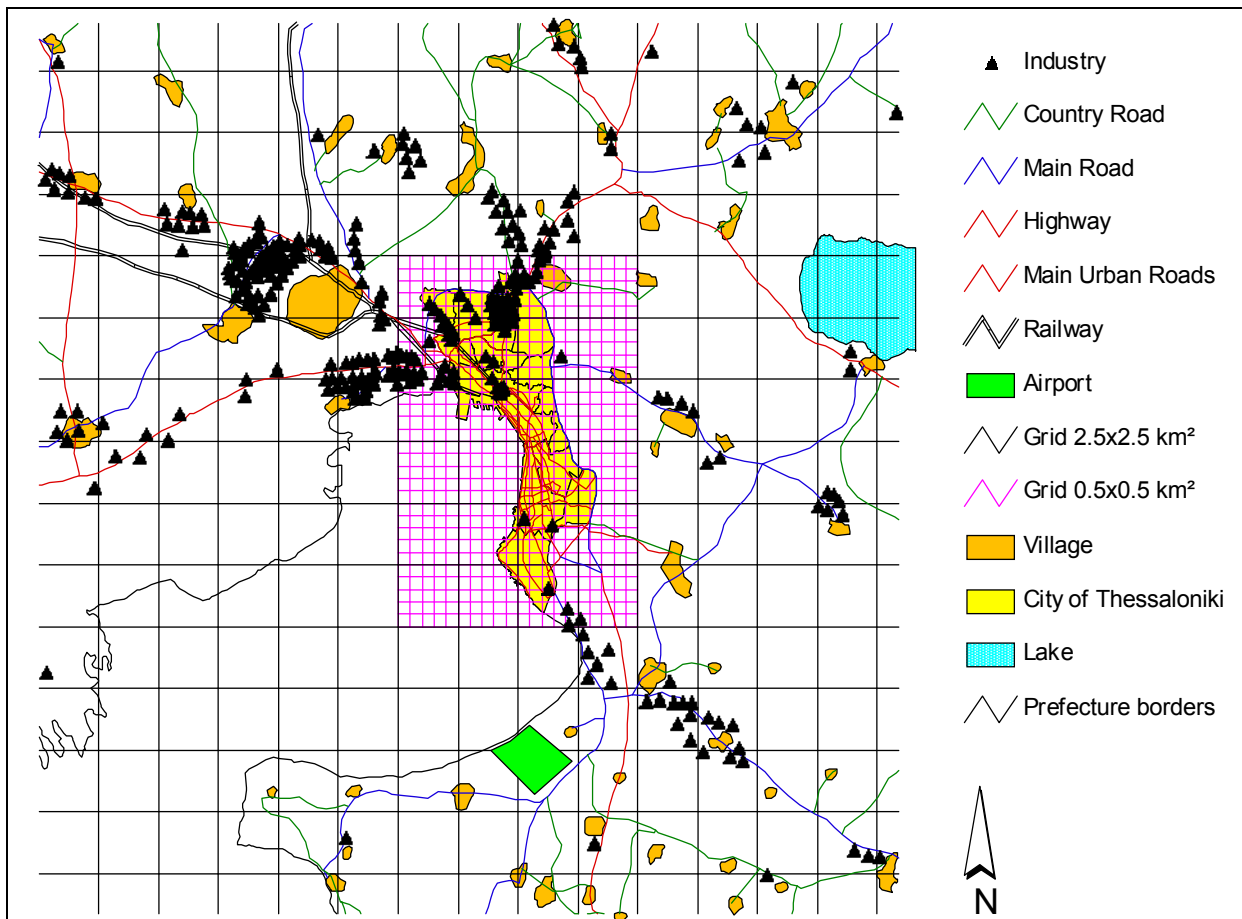
Εικόνα 4-10: Οι θερμικοί σταθμοί της ΔΕΗ



Εικόνα 4-11: Οι δασικές εκτάσεις της Ελλάδας.



Εικόνα 4-12: Οικισμένες περιοχές (α) εκτός Π.Σ. Αθηνών και (β) των Δήμων του Π.Σ. Αθηνών



Εικόνα 4-13: Χωρική κατανομή πηγών αέριων ρύπων στην Ευρύτερη Περιοχή Θεσσαλονίκης.

4.3. Απόδοση εκπομπών σε πλέγμα / κάναβο

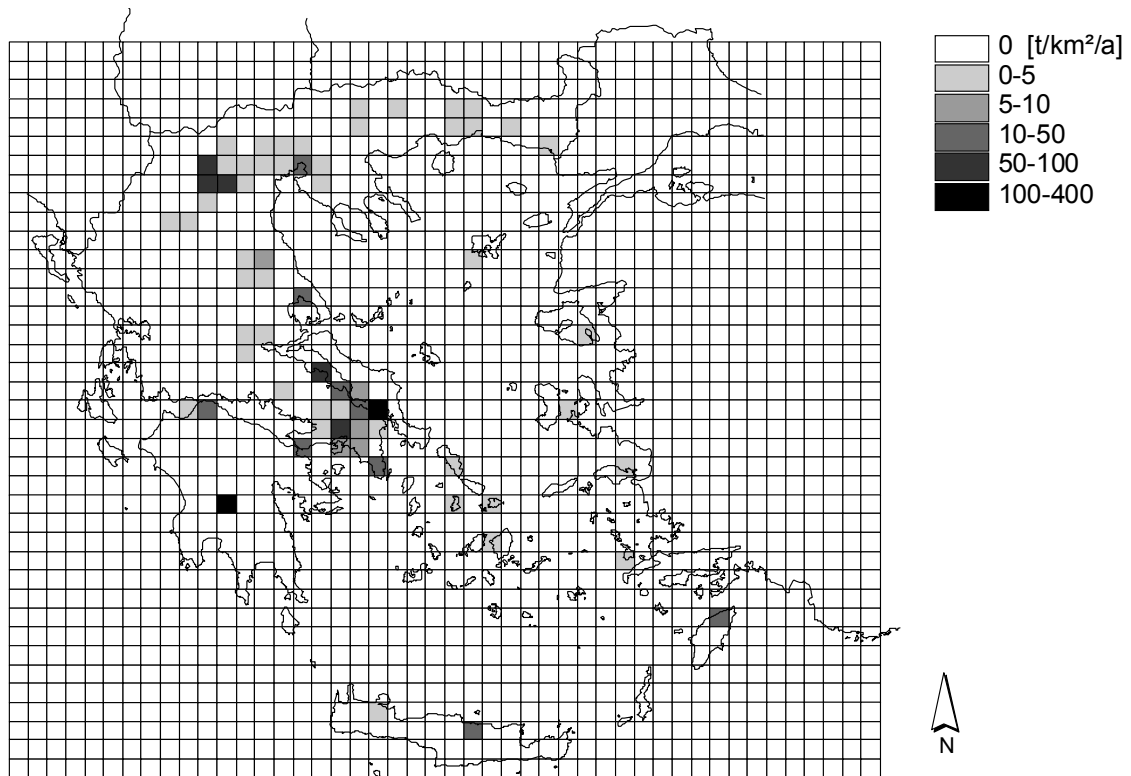
Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της σωστής και καθολικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την εφαρμογή ΓΣΠ στο μελετώμενο σύστημα, εκτός από τη χωροθέτηση πρέπει να γίνεται και σύνθεση των διαφορετικών πηγών με κοινό παράγοντα το χώρο στον οποίο ανήκουν. Η σύνθεση αυτή ανάλογα με το ζητούμενο μπορεί να επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει αφ' ενός η αναγωγή ανά νομό (ή άλλη διοικητική διαίρεση) όλων των σχετικών πληροφοριών και αφ' ετέρου η εφαρμογή πλέγματος (κανάβου) επιθυμητών διαστάσεων, στον οποίο ανάγονται τα αποτελέσματα. Με τη δεύτερη μεθοδολογία είναι δυνατόν να προστεθούν όλοι οι εκπεμπόμενοι ρύποι από κάθε κατηγορία πηγής που εκπέμπονται στο χώρο μίας ομοιόμορφης επιφανειακής μονάδας, την οποία επιλέγουμε εμείς, με τελικό αποτέλεσμα μια σύνθετη αλλά εύλογη εικόνα της πυκνότητας των εκπομπών στην εξεταζόμενη περιοχή. Έτσι για παράδειγμα μπορούν να προστεθούν τα NO_x που προέρχονται από τα κινούμενα στις διάφορες κατηγορίες οδών οχήματα, από τις βιομηχανικές μονάδες ή από τη θέρμανση των κτιρίων. Το σημαντικότερο όμως αποτέλεσμα είναι ότι παρέχεται η δυνατότητα οι τιμές των κυψελών του πλέγματος να χρησιμοποιηθούν σαν μέρος των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου σε μοντέλα υπολογισμού πεδίων συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δεδομένου ότι τα μοντέλα αυτά ανεξαρτήτως της χωρικής κλίμακας στην οποία εφαρμόζονται, "αντιλαμβάνονται" το χώρο με μορφή γεωμετρικού πλέγματος, με διαστάσεις κυψέλης καθοριζόμενες από τις απαιτήσεις της εφαρμογής τους και τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου. Αποτελέσματα ανάλογα με αυτά των εκπομπών μπορούν να προκύψουν για το σύνολο της θεματικής πληροφορίας που έχει καταχωρηθεί στη βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε. Οι διαστάσεις του πλέγματος που επιλέγονται βελτιστοποιούνται με βάση τις μέσες διαστάσεις της μονάδας χωρικής διακριτότητας της απογραφής εκπομπών που επεξεργάζονται, δηλαδή οι διαστάσεις του πλέγματος επιβάλλονται από τα διαθέσιμα χωρικά δεδομένα. Η θεώρηση κατά τους υπολογισμούς κυψέλης μικρότερων διαστάσεων, αν και εφικτή, δεν αυξάνει την πραγματική χωρική διακριτότητα της παρεχόμενης πληροφορίας.

Η απόδοση σε πλέγμα χρησιμοποιείται ευρέως σε απογραφές τοπικού, περιφερειακού ή εθνικού επιπέδου για την ομοιόμορφη απόδοση της πυκνότητας εκπομπών αέριων ρύπων, συγκεντρώσεων ή όξινων αποθέσεων.

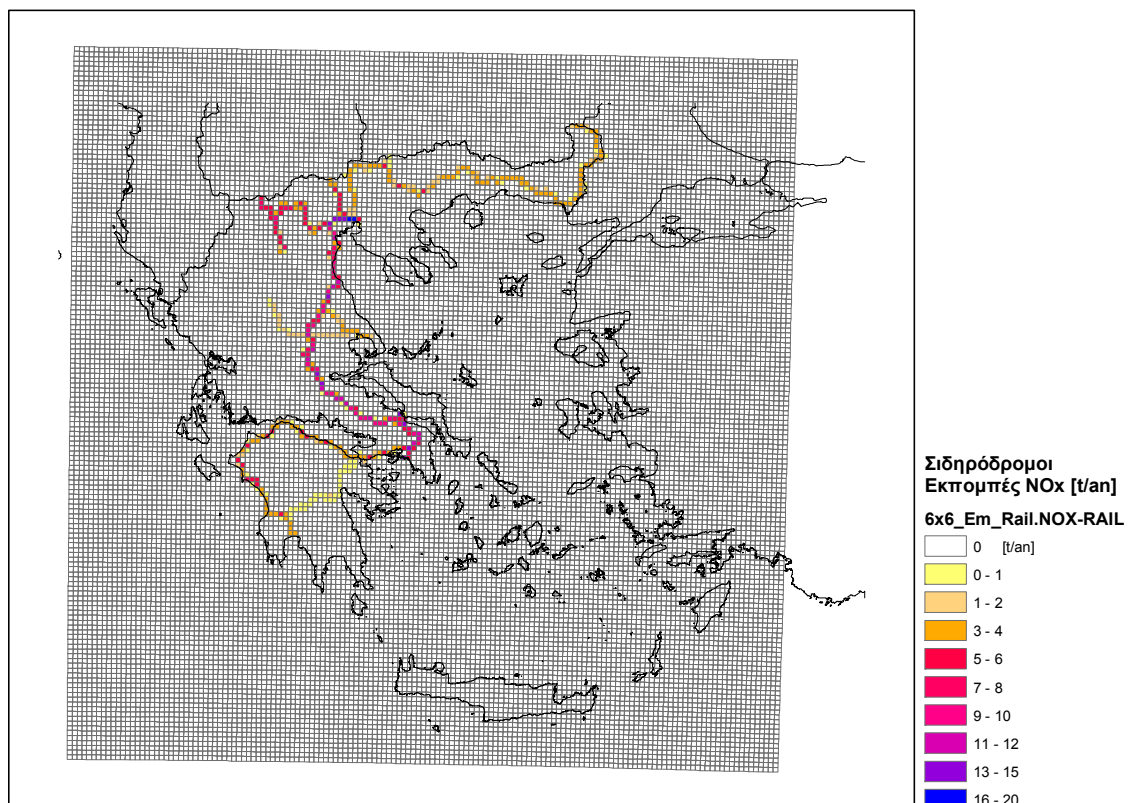
Στην **εικόνα 4-14** δίνεται για την περίπτωση της χώρας η χωρική κατανομή των συνολικών ετήσιων εκπομπών SO_2 για το έτος 1990, σε πλέγμα διαστάσεων $20 \times 20 \text{ km}^2$, που φαίνεται ότι συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με τη χωροθέτηση των ΘΗΣ της ΔΕΗ, ενώ στην **εικόνα και 4-15** δίνεται η χωρική κατανομή των συνολικών ετήσιων εκπομπών NO_x από τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Ελλάδα για το έτος 2002 σε πλέγμα διαστάσεων $6 \times 6 \text{ km}^2$.

Στις **εικόνες 4-16** και **4-17** παρουσιάζεται η δυνατότητα εστίασης - με μεγέθυνση (zooming) του ΓΣΠ που υποστηρίζει την απογραφή - στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής σε πλέγμα διαστάσεων $5 \times 5 \text{ km}^2$ και $6 \times 6 \text{ km}^2$.

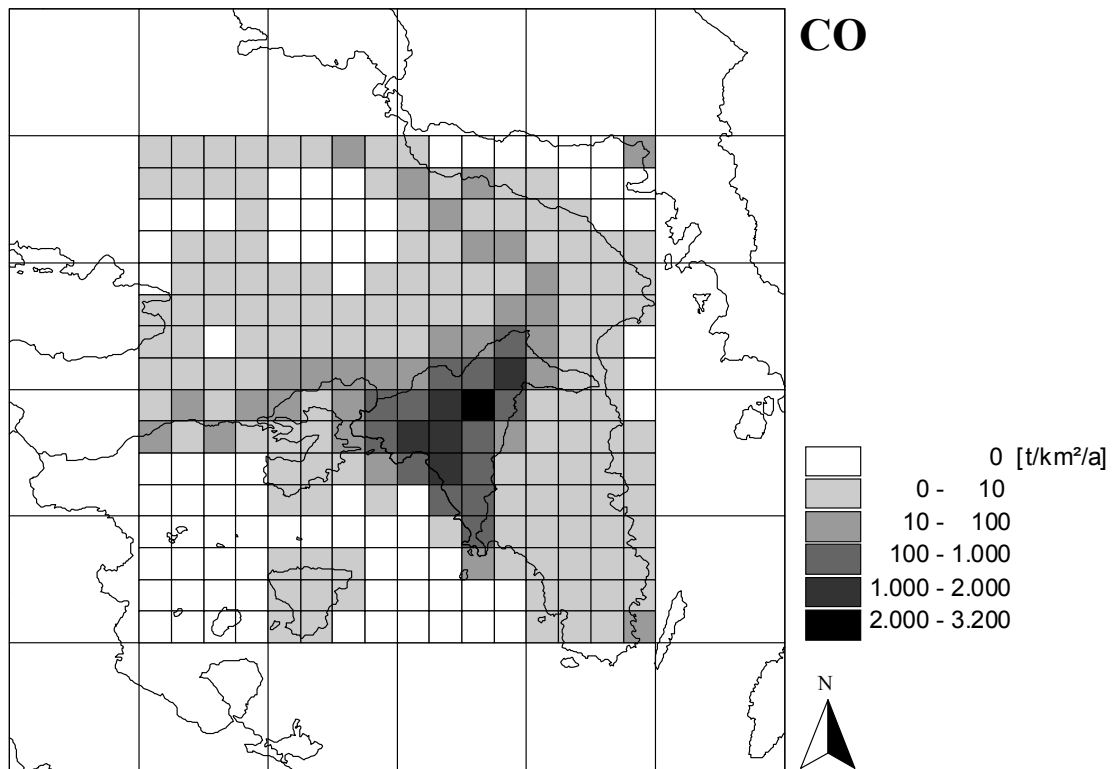
Στην **εικόνα 4-18** παρουσιάζεται η διακύμανση της δραστηριότητας και των αντίστοιχων εκπομπών αέριων ρύπων στη θέρμανση χώρου ανά μήνα, ημέρα εβδομάδας και ώρα 24ώρου.



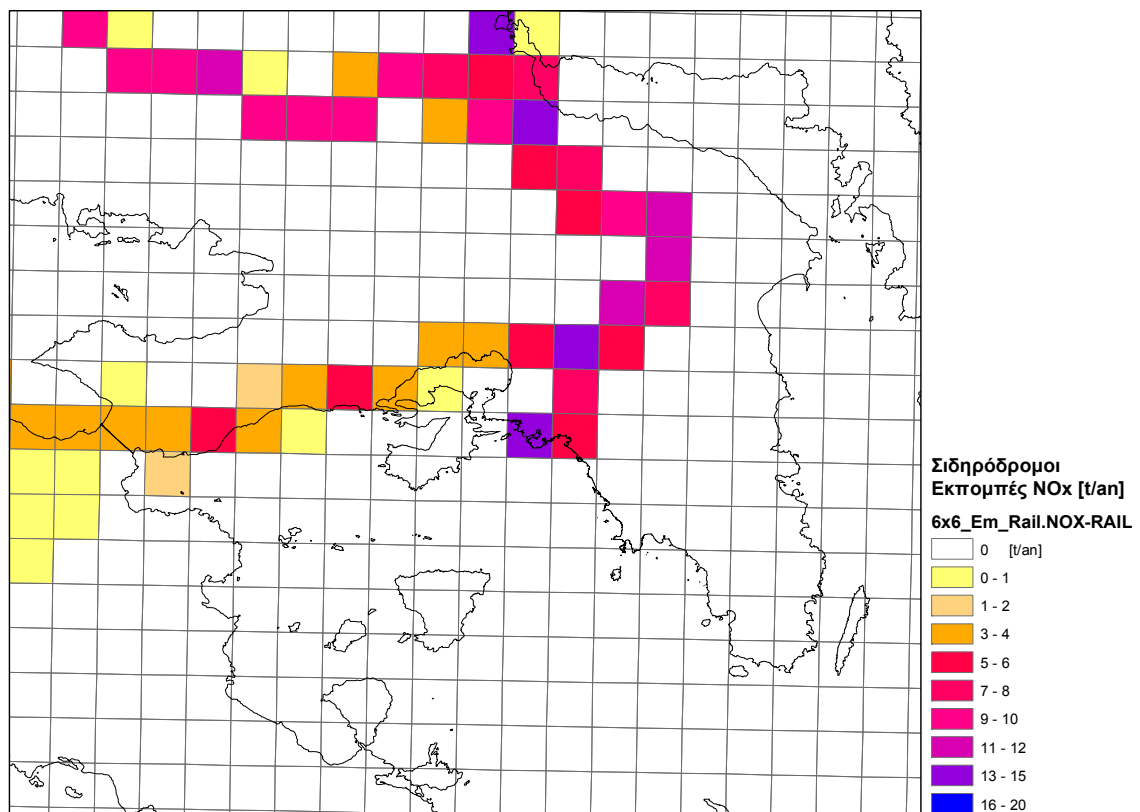
Εικόνα 4-14: Χωρική κατανομή συνολικών ετήσιων εκπομπών SO₂ στην Ελλάδα το 1990 σε κάναβο 20x20 km².



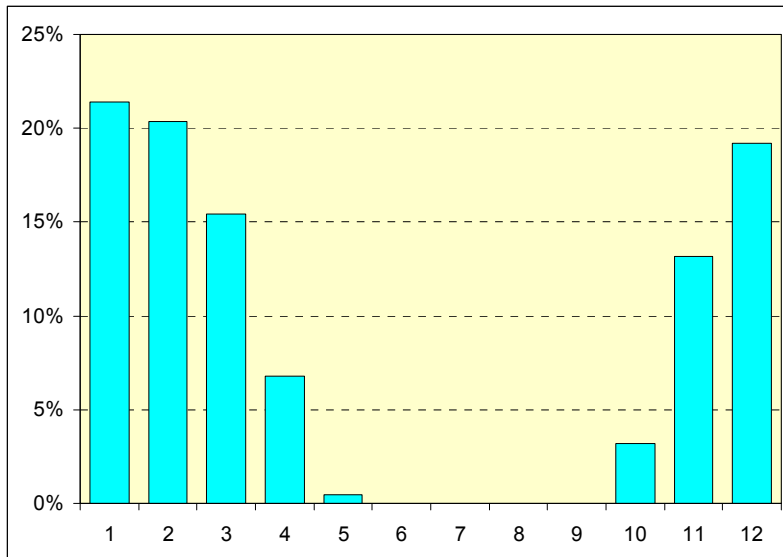
Εικόνα 4-15: Χωρική κατανομή των ετήσιων εκπομπών NO_x από τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην Ελλάδα το 2002 σε κάναβο 6x6 km².



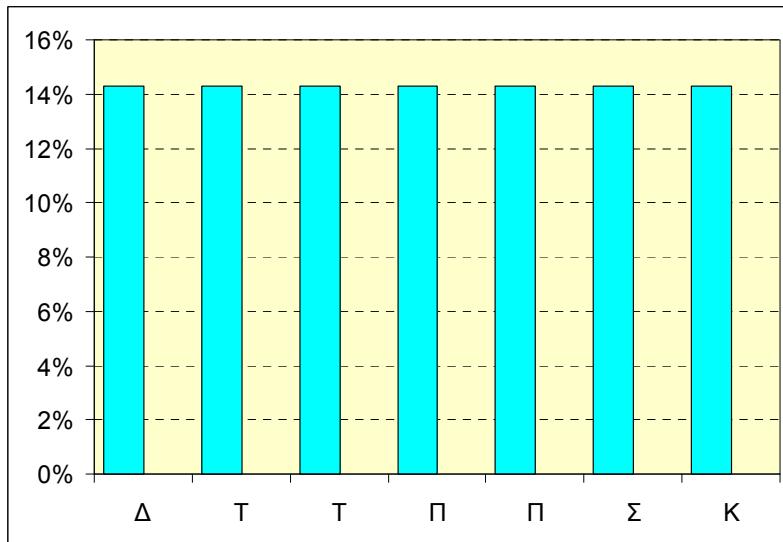
Εικόνα 4-16: Κατανομή των συνολικών ετήσιων εκπομπών CO στην Αττική το 1993 σε κάναβο 5x5 km².



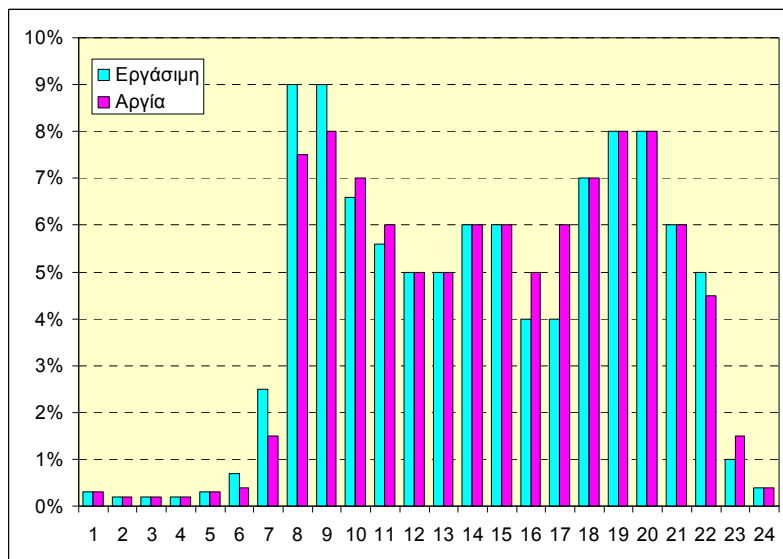
Εικόνα 4-17: Κατανομή ετήσιων εκπομπών NO_x από τις σιδηροδρομικές μεταφορές στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής το 2002 σε κάναβο 6x6 km².



α.



β.



γ.

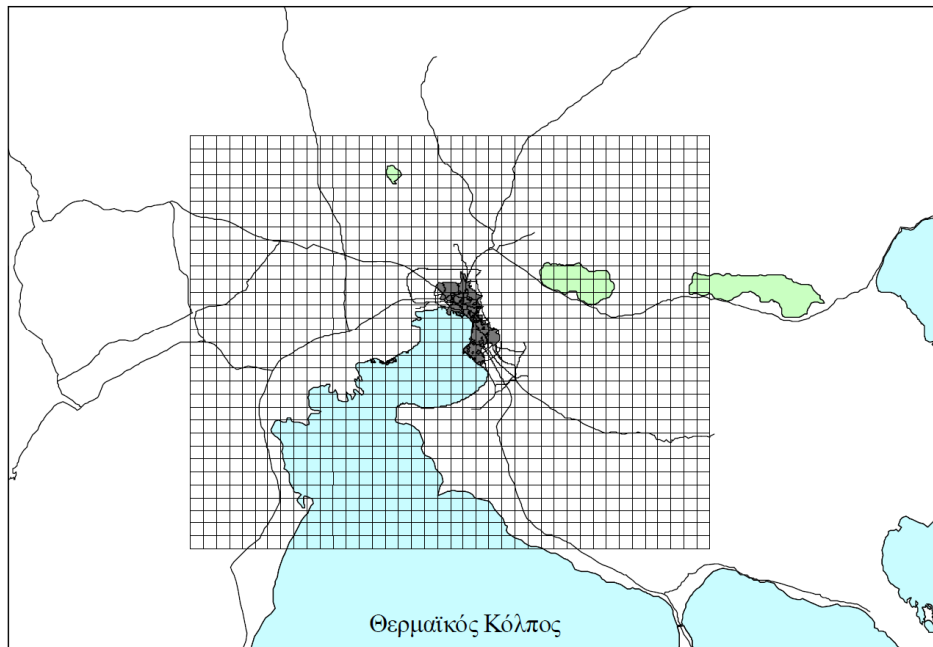
Εικόνα 4-18: Διακύμανση δραστηριότητας και αντίστοιχης εκπομπής αέριων ρύπων στη θέρμανση χώρου: (α) Μέση μηνιαία (ποσοστό έτους), (β) μέση ημερήσια (ποσοστό εβδομάδας) και (γ) μέση ωριαία (ποσοστό 24ώρου).

4.4. ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ*

Στον Οργανισμό Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Θεσσαλονίκης (ΟΡΘ) εγκαταστάθηκε ένα προηγμένο σύστημα διαχείρισης ποιότητας ατμόσφαιρας που δίνει στον Οργανισμό τη δυνατότητα σχεδιασμού και χάραξης ορθής περιβαλλοντικής πολιτικής σε ότι αφορά την ποιότητα αέρα. Με τη βοήθεια μιας σειράς σεναρίων περιορισμού των εκπομπών, είναι δυνατή η εκτίμηση τόσο της επίδρασης διαρθρωτικών μεταβολών στην εξέλιξη των επιπέδων ρύπανσης, όσο και της δραστηριότητας συγκεκριμένων μέτρων αντιρρύπανσης. Ο τελικός στόχος της εφαρμογής του συστήματος αυτού είναι να αποκτήσει ο ΟΡΘ τη δυνατότητα:

- α) Να κάνει προβλέψεις των επιπέδων ρύπανσης καθώς και των χωροχρονικών διακυμάνσεων αυτών, με βάση την πρόγνωση των μετεωρολογικών συνθηκών και τα δεδομένα εκπομπών ρύπων ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη πρόγνωση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- β) Να εκτιμά την εξέλιξη των επιπέδων ρύπανσης ως συνάρτηση των πιθανών διαρθρωτικών ή και χωροταξικών μεταβολών.
- γ) Να εξακριβώνει την αποτελεσματικότητα συγκεκριμένων μέτρων αντιρρύπανσης, ώστε να είναι εκ των προτέρων δυνατή η συνολική τους αξιολόγηση (λ.χ. επιβολή δακτυλίου για την κίνηση των οχημάτων στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, αλλαγή τύπου καυσίμων, κτλ).

Βασικά συστατικά του συστήματος αυτού είναι αφενός δύο μαθηματικά πρότυπα (μοντέλα) για την περιγραφή του πεδίου ανέμων και της μεταφοράς και μετασχηματισμού αερίων ρύπων στην περιοχή μελέτης και αφετέρου μια λεπτομερής απογραφή των εκπομπών αερίων ρύπων στην Ευρύτερη Περιοχή Θεσσαλονίκης. Οι εκπομπές υπολογίστηκαν για τον εξεταζόμενο χώρο, που περιλαμβάνει τον Νομό Θεσσαλονίκης και τμήματα των γειτονικών Νομών (**εικόνα 4-19**), και παρέχονται τόσο σε συνολικές ποσότητες όσο και σε γεωγραφικά/χωρικά κατανεμημένες ποσότητες.



Εικόνα 4-19: Ο εξεταζόμενος χώρος και το εφαρμοζόμενο πλέγμα 2x2 km² με τους σημαντικότερους δρόμους του εθνικού και αστικού οδικού δικτύου.

* Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά η απογραφή εκπομπών αερίων ρύπων που διενεργήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Εγκατάσταση πλήρους και αξιόπιστου συστήματος μαθηματικών μοντέλων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον Οργανισμό Θεσσαλονίκης»(1997-1999), που χρηματοδοτήθηκε από τον ΟΡΣΠΠ Θεσσαλονίκης.

Γενική μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών

Η απογραφή των εκπομπών περιλαμβάνει εκπομπές από όλες τις σημαντικές κατηγορίες πηγών ρύπανσης και αποτυπώνει την κατάσταση για το έτος 1995. Οι πηγές εκπομπής εξετάστηκαν με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους ως:

- Σταθερές πηγές καύσης: παραγωγή θερμότητας στη βιομηχανία και τη βιοτεχνία (λέβητες, καυστήρες, φούρνοι), θέρμανση χώρου (κεντρικές θερμάνσεις, θερμάστρες).
- Κινητές πηγές καύσης: οδικές, σιδηροδρομικές, θαλάσσιες και εναέριες μεταφορές, κίνηση γεωργικών οχημάτων εκτός οδικού δικτύου.
- Άλλες πηγές εκπομπών εκτός καύσης: διεργασίες παραγωγής, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή βενζίνης, χρήση διαλυτών, αστικά απορρίμματα (χωματερή), δάση.

Η εκτίμηση των εκπομπών έγινε με βάση τη γενική μεθοδολογία CORINAIR, όπως περιγράφεται στον οδηγό απογραφής εκπομπών της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook). Ειδικά για την οδική κυκλοφορία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα COPERT III, κατάλληλα τροποποιημένο.

Οι ρύποι που περιλήφθησαν στη απογραφή ήταν οι: SO₂, NO_x, CH₄, NMVOC, CO και PM. Επίσης έγινε και ανάλυση των NMVOC σε επιμέρους ενώσεις.

Ο υπολογισμός των εκπομπών, που έγινε με υψηλή χρονική ανάλυση (1 ώρα), βασίζεται σε τουλάχιστον τρεις ξεχωριστές ομάδες δεδομένων και εκτιμήσεων: (α) Συντελεστές εκπομπής, (β) επίπεδο δραστηριότητας, (γ) σχετική κατανομή τεχνολογιών ανά δραστηριότητα.

Χωρική κατανομή των εκπομπών

Για τη χωροθέτηση των πηγών εκπομπών και την απόδοση των αντίστοιχων εκπομπών σε πλέγμα αναπτύχθηκε εφαρμογή σε ΓΣΠ και δημιουργήθηκαν τα ακόλουθα γεωγραφικά υπόβαθρα για τον εξεταζόμενο χώρο:

- Όρια Δήμων του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (ΠΣΘ).
- Οικισμένο μέρος, πάρκα, στρατόπεδα, άλλοι μη οικισμένοι χώροι στο ΠΣΘ.
- Οικισμένες περιοχές εκτός ΠΣΘ (πόλεις, χωριά).
- Βιομηχανικές μονάδες (700 μονάδες), ως σημειακές πηγές.
- Οδικό δίκτυο του ΠΣΘ.
- Οδικό δίκτυο εκτός ΠΣΘ (εθνικές και επαρχιακοί οδοί).
- Σιδηροδρομικό δίκτυο.
- Αεροδρόμιο.
- Διαδρομές επιβατικών και εμπορικών πλοίων.
- Θέσεις των πρατηρίων καυσίμων στην εξεταζόμενη περιοχή.
- Δάση.
- Χρήσεις γης.
- Υψόμετρα.

Πιο συγκεκριμένα, για τις σημαντικότερες κατηγορίες εκπομπών αερίων ρύπων, έγινε η ακόλουθη κατανομή:

1. Οδική κυκλοφορία: Το οδικό δίκτυο του νομού ταξινομήθηκε ανάλογα με την ταχύτητα κυκλοφορίας και τον κυκλοφοριακό φόρτο σε πέντε κατηγορίες: α) εθνικοί οδοί, με μέση ταχύτητα κυκλοφορίας τουλάχιστον 90 km/h, β) δρόμοι του επαρχιακού δικτύου αυξημένης κυκλοφορίας, γ) υπόλοιπο επαρχιακό δίκτυο, δ) δρόμοι του Π.Σ.Θ. με αναλυτικά στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου, ε) υπόλοιποι δρόμοι του ΠΣΘ.
2. Βιομηχανία: Όλες οι βιομηχανικές μονάδες θεωρήθηκαν σημειακές πηγές και καταγράφηκαν

στην ακριβή τους θέση. Αυτές είναι συγκεντρωμένες δυτικά (Σίνδος, Καλοχώρι), βόρεια (Δερβένι, Ωραιόκαστρο) και νοτιοανατολικά (Θέρμη) του ΠΣΘ.

3. Οικιακός Τομέας: Η κατανομή των εκπομπών από τον οικιακό και τον εμπορικό τομέα έγινε στο οικισμένο τμήμα των δήμων και κοινοτήτων στη βάση της πληθυσμιακής πυκνότητας, του τρόπου δόμησης και των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών καύσης (κεντρικές θερμάνσεις, σόμπες, κτλ) στο ΠΣΘ και στις εκτός ΠΣΘ οικισμένες περιοχές.
4. Άλλες πηγές καύσης: Οι εκπομπές από την κατανάλωση καυσίμων για θερμάνσεις στον αγροτικό τομέα (κτηνοτροφικές, πτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, κτλ) και για κίνηση (εκτός οδικού δικτύου) οχημάτων γεωργικών, χωματουργικών, βιομηχανικών, κ.ά. κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα στην επιφάνεια που δεν καλύπτεται από δάση, νερά και οικισμένες περιοχές, όπου αναπτύσσονται οι αντίστοιχες δραστηριότητες και καταναλώνονται τα ανάλογα καύσιμα.

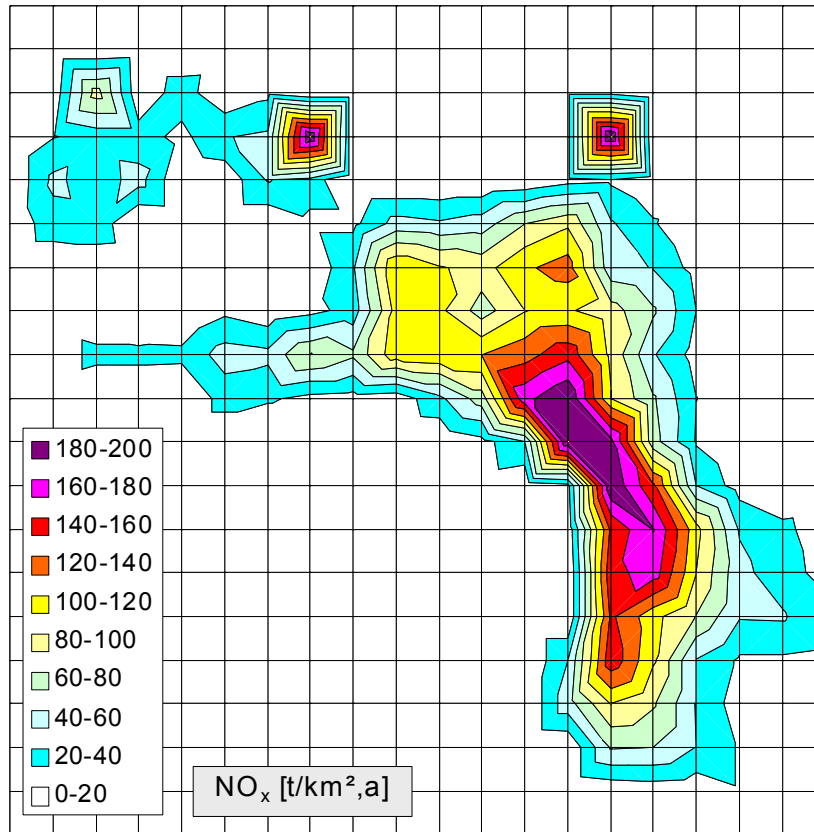
Κάθε κατηγορία πηγής συνοδεύεται από βάσεις δεδομένων με πληροφορίες σχετικές με χαρακτηριστικά του επιπέδου δραστηριότητας της κάθε πηγής (τεχνολογικά, περιβαλλοντικά, κτλ).

Για την καθολική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ως πυκνότητα εκπομπών και την απόδοση δεδομένων εισόδου για τα μοντέλα (gridded data) έγινε η σύνθεση των διαφορετικών πηγών με κοινό παράγοντα το χώρο στον οποίο ανήκουν. Αυτό υλοποιήθηκε με την εφαρμογή πλέγματος, που παρέχει τη δυνατότητα να προστεθούν όλοι οι εκπεμπόμενοι ρύποι από κάθε κατηγορία πηγής που εκπέμπονται στο χώρο κάθε κύτταρου του πλέγματος. Η σύνθετη πυκνότητα εκπομπών αποδόθηκε με τη χρήση δύο πλεγμάτων διακριτότητας $2 \times 2 \text{ km}^2$ (**εικόνα 4-18**) και $1 \times 1 \text{ km}^2$ για το ΠΣΘ. Για τις ανάγκες των μοντέλων διασποράς και μετασχηματισμού των ρύπων στην ατμόσφαιρα, η γεωγραφικά κατανεμημένη βάση δεδομένων εκπομπών αερίων ρύπων συμπληρώθηκε και με δεδομένα υψομέτρου και χρήσεων γης ανηγμένων στο πλέγμα και ταξινομημένων ως: δάση, χαμηλή βλάστηση, καλλιέργειες, νερά, οικισμένες περιοχές.

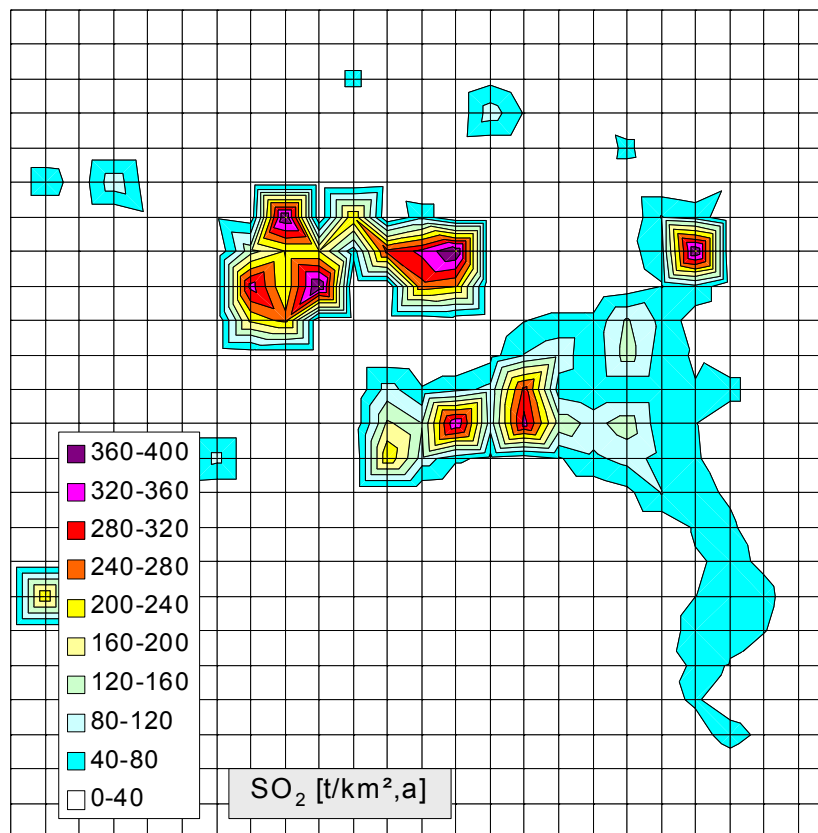
Αποτελέσματα για το έτος 1995

Στον **πίνακα 4-4** δίνονται οι εκτιμήσεις των εκπομπών, στο χώρο του πλέγματος $2 \times 2 \text{ km}^2$. Είναι φανερό ότι η οδική κυκλοφορία είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών CO και NO_x , όπου συνεισφέρει στο σύνολο με 86% και 55% αντίστοιχα. Ο βιομηχανικός τομέας ευθύνεται κυρίως για τις εκπομπές SO_2 και PM (87% και 90% αντίστοιχα), ενώ σημαντικό είναι το μερίδιό του και στις εκπομπές NO_x (22%). Τέλος, για τις εκπομπές VOC (άθροισμα μεθανίου και άλλων υδρογονανθράκων) ευθύνονται σχεδόν ισόποσα η οδική κυκλοφορία, οι χωματερές απορριμμάτων (από τις οποίες εκπέμπεται κατά κύριο λόγο μεθάνιο) και οι βιογενείς πηγές (δάση και θαμνώδεις εκτάσεις), ενώ και η χρήση διαλυτών έχει σημαντική συμβολή.

Σε ότι αφορά τη γεωγραφική κατανομή των εκπομπών, οι εκπομπές NO_x , όπως και οι εκπομπές CO , είναι συγκεντρωμένες κυρίως μέσα στο ΠΣΘ και κατά μήκος των μεγάλων οδικών αρτηριών που οδηγούν εκτός ΠΣΘ (**εικόνα 4-20**). Οι εκπομπές NMVOC , επειδή προκαλούνται από ποικίλες πηγές, είναι κατανεμημένες εντός του ΠΣΘ σχετικά ομοιόμορφα, αλλά βρίσκονται και σε ευρύτερες εκτός του ΠΣΘ περιοχές. Τοπικά υψηλές πυκνότητες εκπομπών SO_2 (**εικόνα 4-21**) και NO_x , καθώς επίσης CH_4 , NMVOC και PM , παρατηρούνται κοντά σε μεγάλες σημειακές πηγές (μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, χωματερή, κτλ).



Εικόνα 4-20: Πυκνότητα εκπομπών NO_x στην Θεσσαλονίκη σε πλέγμα 1×1 km²



Εικόνα 4-21: Πυκνότητα εκπομπών SO₂ στην Θεσσαλονίκη σε πλέγμα 1×1 km²

Εκτίμηση των εκπομπών αερίων ρύπων με εναλλακτικά σενάρια

Πέρα από την εκτίμηση των εκπομπών για το έτος αναφοράς 1995, διενεργήθηκαν εκτιμήσεις με 5 εναλλακτικά σενάρια για το ίδιο έτος, όπως επίσης και πρόβλεψη των εκπομπών για το έτος 2015. Τα σενάρια ήταν τα ακόλουθα:

Πίνακας 4-4: Εκτιμώμενες εκπομπές στον χώρο του πλέγματος 2x2 km² κατά το έτος 1995.

Πηγή Ρύπανσης	SO ₂	NO _x	CH ₄	NMVOC	CO	PM
Θέρμανση	8,1%	4,6%	4,1%	1,9%	11,0%	0,0%
Εμπορικός Τομέας	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%
Βιομηχανία	86,5%	22,3%	3,0%	9,2%	0,7%	89,8%
Αποθήκευση/Διανομή βενζίνης	-	-	0,0%	2,7%	-	-
Χρήση Διαλυτών	-	-	-	18,7%	-	-
Οδικές Μεταφορές	3,2%	54,6%	3,7%	28,7%	85,6%	4,9%
Θαλάσσιες Μεταφορές	0,3%	1,4%	0,0%	0,1%	0,1%	0,6%
Εναέριες Μεταφορές	0,1%	0,8%	0,4%	1,2%	1,0%	0,2%
Σιδηροδρομικές Μεταφορές	0,1%	1,2%	0,0%	0,1%	0,1%	0,2%
Αγροτικός Τομέας	1,7%	14,9%	0,1%	1,2%	1,2%	4,3%
Απορρίμματα	-	-	88,6%	0,0%	0,2%	-
Δάση	-	-	-	36,1%	-	-
Σύνολο [t/a]	31.617	20.887	13.125	36.036	81.671	8.383

Σενάριο 1: Έτος 1995 και διείσδυση φυσικού αερίου στη βιομηχανία (πλήρης αντικατάσταση μαζούτ και πετρελαίου diesel).

Σενάριο 2: Σενάριο 1 και διείσδυση φυσικού αερίου στον εμπορικό τομέα και τις κεντρικές θερμάνσεις κατά 50%.

Σενάριο 3: Σενάριο 1 και διείσδυση φυσικού αερίου στον εμπορικό τομέα και τις κεντρικές θερμάνσεις (αντικατάσταση πετρελαίου diesel κατά 100%).

Σενάριο 4: Έτος 1995 και πλήρη αντικατάσταση συμβατικών επιβατικών ΙΧ με καταλυτικά.

Σενάριο 5: Συνδυασμός σεναρίων 3 και 4.

Σενάριο 6: Έτος 2015, επέκταση πόλης βόρεια και ανατολικά - πλήρης διείσδυση φυσικού αερίου σε βιομηχανία, εμπορικό τομέα και κεντρικές θερμάνσεις - νέα σύνθεση οχημάτων που περιλαμβάνει όλες τις νέες υπό συζήτηση οδηγίες (Euro III, κτλ).

Τα σενάρια 1^ο έως και 5^ο είναι “ακαριαίας” μορφής, δηλ. προσομοιώνουν αλλαγές με βάση τη σημερινή κατάσταση και όχι με δυναμικά στοιχεία πρόβλεψης. Ειδικά για την προσομοίωση των παραπάνω σεναρίων στην περίπτωση της οδικής κυκλοφορίας, έγιναν οι εξής παραδοχές. Για τα σενάρια 4 και 5, θεωρήθηκε ότι όλα τα ΙΧ βενζινοκίνητα αυτοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας έχουν αντικατασταθεί από καταλυτικά. Έτσι, τα καταλυτικά αυτοκίνητα ισούνται με το άθροισμα των συμβατικών και καταλυτικών της κανονικής απογραφής του 1995. Όλες οι άλλες παράμετροι που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς (οδικό δίκτυο, κυκλοφοριακός φόρτος, στοιχεία ταχύτητας, συντελεστές εκπομπών) παραμένουν ίδιες με αυτές της απογραφής αναφοράς του 1995.

Σε ό,τι αφορά το σενάριο 6, που αφορά πρόβλεψη των εκπομπών κατά το έτος 2015, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο FOREMOVE για την πρόβλεψη των εκπομπών της οδικής κυκλοφορίας. Οι συντελεστές εκπομπής για τα μελλοντικά οχήματα προηγμένης τεχνολογίας, που περιλαμβάνονται στο σενάριο 6, εκτιμήθηκαν με βάση τα επίπεδα εκπομπών των σημερινών οχημάτων και τα νομοθετημένα ή συζητούμενα μελλοντικά όρια εκπομπών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Θεωρήθηκε επίσης ότι για τα κυκλοφορούντα αυτοκίνητα θα εξακολουθήσει να ισχύει η σημερινή διαδικασία περιοδικού ελέγχου των εκπομπών στο πλαίσιο της Κάρτας Ελέγχου Καυσαερίων.

Για το 6ο σενάριο σχεδιάστηκε ένας νέος χάρτης σε ΓΣΠ/GIS, με απεικόνιση της προβλεπόμενης για το έτος 2015 επέκτασης της πόλης και των νέων κύριων οδικών αξόνων για το έτος αυτό. Στον **πίνακα 4-5** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προβλέψεων εκπομπών αερίων ρύπων στο χώρο ελέγχου 2x2 km², για καθένα από τα 6 σενάρια, ως ποσοστό των εκπομπών της απογραφής αναφοράς του έτους 1995.

Όσον αφορά τα σενάρια 1 έως 5, είναι φανερό ότι η χρήση φυσικού αερίου έχει άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη, ειδικά στην περίπτωση των εκπομπών SO₂, όπου η μείωση είναι της τάξης του 50%. Γενικότερες βελτιώσεις όμως μπορούν να επιτευχθούν μόνο με μία ταχεία απόσυρση και αντικατάσταση των παλιών αυτοκινήτων, που μπορεί άμεσα να επιφέρει μείωση των εκπομπών NO_x, VOC και CO της τάξης του 20%, 10% και 40% αντίστοιχα.

Όσον αφορά το σενάριο 6, οι συνολικές εκπομπές NO_x, VOC και CO από όλες τις πηγές αναμένεται να είναι μειωμένες αντίστοιχα κατά 35%, 7% και 29%. Παράλληλα η θέσπιση σταδιακά αυστηρότερων προδιαγραφών για την περιεκτικότητα όλων των ειδών καυσίμων σε θείο, αλλά κυρίως η διείσδυση του φυσικού αερίου, θα οδηγήσει τις εκπομπές SO₂ σε μείωση κατά 53%.

Πίνακας 4-5: Προβλεπόμενες εκπομπές αερίων ρύπων [kt/a] στον χώρο ελέγχου 2x2 km² για τα 6 σενάρια, ως ποσοστό των εκπομπών της απογραφής αναφοράς του έτους 1995.

	SO ₂	NO _x	VOC	CO
1995	100%	100%	100%	100%
Σενάριο 1	55,6%	92,0%	100,0%	100,0%
Σενάριο 2	53,0%	92,0%	100,0%	100,0%
Σενάριο 3	50,4%	92,0%	100,0%	100,0%
Σενάριο 4	99,6%	84,4%	91,3%	62,5%
Σενάριο 5	50,0%	76,5%	91,3%	62,4%
Σενάριο 6	47,4%	65,1%	93,0%	71,1%

Βιβλιογραφία - Πηγές

1. Κουϊμτζής Θ., “Περιβάλλον και Άνθρωπος”.
2. Μπουροδήμος Ε., “Κλιματική αλλαγή και βιόσφαιρα”, ΕΝΕΡΓΕΙΑ.
3. Μπούσιος Αιμ., “Το εμπόριο των δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ή η εμπορευματοποίηση του καθαρού αέρα”.
4. Mimilidis E., Pistikopoulos P., Tsilingiridis G., Ponche J.L., “Application of a Geographical Information System in the evaluation of the biogenic Non Methane Volatile Organic Compound emissions from Greek forests”. Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου “Restoration and Protection of Environment II”, σ. 40408. Πάτρα, 1994.
5. Τσιλιγκιρίδης Γ., “Χρονική και χωρική ανάλυση της χρήσης ενέργειας και των συνεπαγόμενων εκπομπών αερίων ρύπων κατά την περίοδο 1960-’90 στην Ελλάδα”. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη, 1995.
6. Τσιλιγκιρίδης Γ., Χατζηιωαννίδης Χ., “Εκπομπές αερίων ρύπων από τη χρήση ενέργειας στο νομό Θεσσαλονίκης. Εφαρμογή τεχνολογίας G.I.S. στην εκτίμηση της πυκνότητας εκπομπών”. Πρακτικά 4^{ου} Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, τ.Β’, 133-142. Μόλυβος Λέσβου, 1995.
7. Tsilingiridis G., “Spatial analysis of the Greek energy system and evaluation of emission density using GIS technology”. Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου “Restoration and Protection of Environment III”, σ. 428-435. Χανιά, 1996.
8. Τσιλιγκιρίδης Γ., Μιμιλίδης Ε., Ασλάνογλου Μ., Παπαγεωργίου Ι., Σαμαράς Ζ., “Εκτίμηση των εκπομπών στην Αττική με υψηλή χωρική διακριτικότητα σε GIS”, Πρακτικά 5^{ου} Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, τ.Α’, 90-97. Παν. Αιγαίου, Τμ. Περιβάλλοντος, Μόλυβος Λέσβου, 1997.
9. Κουϊμτζής Θ., Φυτιάνος Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., “Χημεία περιβάλλοντος”, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 1998.
10. Τσιλιγκιρίδης Γ., “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών: Σύγχρονη τεχνολογία για απογραφές εκπομπών υ-ψηλής χωρικής ανάλυσης “. 8^η Συνάντηση Ελλήνων χρηστών ARC/INFO. Θεσσαλονίκη, Νοέμ. 1998.
11. Tyler Miller G. Jr., “Βιώνοντας στο Περιβάλλον II, Προβλήματα Περιβαλλοντικών Συστημάτων”, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999.
12. Σαμαράς Ζ., Τσιλιγκιρίδης Γ., Πιστικόπουλος Π., (1999): “Απογραφές πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης”. Μαθηματικά μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (επιμ. εκδ. καθ. Ν. Μουσιόπουλος), σ. 37-59, Εκδ. ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1999, ISBN 960-431-561-Χ.
13. Τσιλιγκιρίδης Γ., Πιστικόπουλος Π., Σαμαράς Ζ., “Απογραφές εκπομπών αερίων ρύπων σε αστικές περιοχές”. Πρακτικά 3^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου και Εκθέσεως “HELECO ‘99”, τ. Ι, σ. 461-468. ΤΕΕ, Θεσ/νίκη, 3-6 Ιουνίου 1999.
14. Tsilingiridis G., Zachariadis Th., Samaras Z., Chantzariidou A., “An emissions inventory for the city of Thessaloniki”. Πρακτικά 7^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, (Σύρος, 3-6/9/2001), τόμ. Β’, 878-885, Παν Αιγαίου, GlobalNEST.

15. Τσιλιγκιρίδης Γ., Σαμαράς Ζ., Χαντζαρίδου Α., “Απογραφή και πρόβλεψη εκπομπών αερίων ρύπων στη Θεσσαλονίκη”, Πρακτικά 1^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σ. 22-27, Ένωση Ελλήνων Χημικών, Θεσσαλονίκη, 1-4 Μαρτίου 2002.
16. Ρουσάκης Κ., “Το Πρωτόκολλο του Κιότο και η αλλαγή του κλίματος”, ΔΕΛΤΙΟ Π.Σ.Δ.Μ.-Η., Ιούλιος-Αύγουστος 2002.
17. Tsilingiridis G., “Energy use and air pollutant emissions in Greek industry: sector and geographical analysis”. Pr. Int. Conf. ‘Restoration and Protection of Environment VI’, vol. II, pp. 1113-1121, Skiathos, Greece, July 1-5, 2002.
18. Κυριάκης Ν., “Τεχνολογία Προστασίας Αέριου Περιβάλλοντος”, Σημειώσεις μαθήματος “Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος Ι”. Θεσσαλονίκη, 2004.
19. Sidiropoulos C., Ikonomopoulos A., Stratioti A., Tsilingiridis G., “Comparison of typical LTO-Cycle emissions with aircraft engine- and airport-specific emissions for Greek airports”. Proc. ‘9th Int. Conference on Environmental Science and Technology’, pp. B865-B870, ISSN 1106-5516, Un. of Aegean - GlobalNEST, Rhodes, Greece, Sept. 1-3, 2005.
20. Sidiropoulos C., Tsilingiridis G., “Biogenic emissions during a hot season day in Greece”. Fresen. Environ. Bull., v. 16, No 5, pp. 465-471, 2007.
21. Σιδηρόπουλος Χ., Παναγιωτίδης Α., Καρβούνη Α., Τσιλιγκιρίδης Γ., “Η συμβολή της Γεωργίας στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα”. Πρακτικά 3^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, Ένωση Ελλήνων Χημικών, Θεσσαλονίκη, 14-17 Μαρτίου 2008.
22. Sidiropoulos C., Tsilingiridis G., “Ammonia and particle emissions from livestock in Greece”. E-Proc. Int. Conf. ‘Protection and Restoration of Environment IX’, Kefalonia, Greece, June 30 - July 3, 2008.
23. Sidiropoulos C., Tsilingiridis G., “Improved sectoral allocation of NMVOC emissions from solvent use in Greece”. The Science of the Total Environment, 407 (2009) 4075–4083.
24. Tsilingiridis G., “Aircraft air pollutant emissions in Greek airports”. Global NEST Journal, Vol 11, No 4, pp 528-534, 2009.
25. Tzanidakis K., Karnoutsos D. Sidiropoulos C., Tsilingiridis G., “Variations in emission rates from solvent use in the residential sector: the case of Greece”. International Journal of Environmental Science and Technology (2012) 9:173-182
26. European Environment Agency, “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook-2013”, <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.