

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:
Εκπομπές Αερίων και Σωματιδίων
στην Ατμόσφαιρα:
Εφαρμογή στον Ελληνικό Χώρο

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 7^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

7.1. Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων	1
7.1.1 Χωροχρονικός καθορισμός των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων	2
7.1.2 Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από ανθρώπινες δραστηριότητες..	2
7.1.3 Εκπομπές Ανθρωπογενών Ατμοσφαιρικών Ρύπων στην Ελλάδα	3
7.2 Υπολογισμός εκπομπών βάσει της πυκνότητας του πληθυσμού και της χρήσης γης	3
7.3 Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων από τη Βιόσφαιρα – Γεώσφαιρα.....	5
7.3.1 Εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ενώσεων από τη βλαστηση.....	6
7.4 Εκτίμηση Εκπομπών στην Ελλάδα	8
7.4.1 Εκπομπές ισοπρενίου και τερπενίου στην ΝΑ Ελλάδα – Αποτελέσματα μοντελοποίησης.....	9
7.4.2 Εκπομπές σωματιδίων άλατος από τη θάλασσα	13
7.4.3 Εκπομπές αέριων ρύπων από το έδαφος.....	16
7.4.4 Εκπομπές των σωματιδίων σκόνης από το έδαφος.....	18
7.4.5 Εκπομπές ρύπων από πυρκαγιές δασικών εκτάσεων.....	21
7.4.6 Εκπομπές από Υγρότοπους.....	24
7.4.6.1 Μεθάνιο (CH ₄)	25
7.4.6.2 Βιογενή θειούχα αέρια	26
7.4.6.3 NMHCs (Υδρογονάνθρακες εκτός του μεθανίου)	26
7.4.7 Εκπομπές φυσικών ρύπων από άλλες πηγές.....	27
7.4.7.1 Εκπομπή διμεθυλικού σουλφιδίου (DMS) από τη θάλασσα	27
7.4.7.2 Εκπομπή οξειδίων του αζώτου από αστραπές.....	31
7.4.7.3 Διεργασία παραγωγής NO _x στην Ατμόσφαιρα από αστραπές.....	31
7.4.7.4 Εκπομπές από την άγρια πανίδα και τον άνθρωπο	33
7.5 Διασυννοριακή ρύπανση	33
7.5.1 Διασυννοριακή ρύπανση της Ατμόσφαιρας από εκπομπές ρύπων στην Ευρώπη	34
7.5.2 Σκόνη από τη Σαχάρα	34
Παραδείγματα και Εφαρμογές	35
Βιβλιογραφία 7 ^{ου} Κεφαλαίου	44

7.1. Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι επιπτώσεις της στην ποιότητα του αέρα και στο περιβάλλον αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα στην Ελλάδα και παγκοσμίως. Οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO_2 , CO), οι μη μεθανικές οργανικές ενώσεις (Non Methene Volatile Organic Compounds, NMVOCs), το μεθάνιο (CH_4), τα οξείδια και το υπεροξείδιο του αζώτου (NO_x , N_2O), η αμμωνία (NH_3), το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter, PM), τα βαρέα μέταλλα (Heavy Metals, HM) και οι παραμένοντες οργανικοί ρύποι (Persistent Organic Pollutants, POPs). Οι εκπομπές τους είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών και φυσικών διεργασιών και προκαλούν τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Σε αυτές περιλαμβάνονται η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, η αύξηση της οξύτητας των υδάτινων αποδεκτών και των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, οι φθορές σε κτίρια και άλλες ανθρώπινες κατασκευές, η καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα, η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μέσω της εντατικοποίησης του φαινομένου του θερμοκηπίου, οι κλιματικές αλλαγές και τέλος η έκθεση του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων σε επικίνδυνες χημικές ενώσεις (EMEP/CORINAIR, 2002).

Η απογραφή των αερίων εκπομπών παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη της ποιότητας του αέρα και αποτελεί τη βάση για όλα τα προγράμματα διαχείρισης της. Επίσης ποσοτικοποιεί την έκλυση των αερίων ρύπων και προσδιορίζει τις κύριες πηγές εκπομπής και τις περιοχές που παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα ρύπανσης. Η απογραφή των αερίων ρύπων χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη, επιλογή και υλοποίηση στρατηγικών ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως μέτρα περιορισμού των εκπομπών, κατάστρωση σχεδίων αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και υπολογισμό του κόστους των διαφόρων πολιτικών για το περιβάλλον.

Σε αυτό το κεφάλαιο ποσοτικοποιείται η έκλυση ρύπων στην Ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές με εφαρμογή στον ελληνικό χώρο. Οι αέριες εκπομπές κατανέμονται χωρικά και αποδίδονται σε κάνναβο υψηλής διακριτότητας. Έτσι δημιουργείται ένα μητρώο εκπομπών για την Ελλάδα σε μορφή κατάλληλη για χρήση σε προγράμματα ποιότητας του αέρα. Η εκτίμηση των εκπομπών γίνεται ακολουθώντας ένα γενικό πρότυπο υπολογισμού, όπου η εκπομπή δίνεται ως το γινόμενο της δραστηριότητας της κάθε πηγής με τον αντίστοιχο συντελεστή εκπομπής. Στο παράδειγμα του υπολογισμού των εκπομπών από τον ελληνικό χώρο για τις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων χρησιμοποιούνται οι τιμές τους, όπως δίδονται από την Ελλάδα στην Επιτροπή Οικονομικών των Ηνωμένων Εθνών (UNECE, 2001) στα πλαίσια του προγράμματος Παρακολούθησης και Εκτίμησης της Μεταφοράς Αερίων Ρύπων στην Ευρώπη (EMEP). Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην εκτίμηση των εκπομπών από τη φύση. Για την εκτίμηση των εκπομπών χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι υπολογισμού που δίνονται στον «Οδηγό Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών» (EMEP/CORINAIR, 2002).

Η παραπάνω μεθοδολογία οδηγεί στην ποσοτική και χωρική κατανομή των εκλυόμενων ρύπων στην Ελλάδα και στον υπολογισμό της τελικής συνεισφορά της κάθε πηγής στην συνολικά εκπεμπόμενη ποσότητα του κάθε ρύπου. Σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές, όπως θα παρατηρήσουμε, αναδείχθηκαν η καύση σε εγκαταστάσεις παραγωγής και μετασχηματισμού της ενέργειας, οι οδικές μεταφορές και η γεωργία, ενώ η φύση βρέθηκε πως αποτελεί την κύρια πηγή εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων και μη μεθανικών πτητικών οργανικών ενώσεων στην Ατμόσφαιρα της Ελλάδας.

7.1.1 Χωροχρονικός καθορισμός των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι εκπομπές των αέριων ρύπων έχουν, όπως προαναφέρθηκε, σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και τη δημόσια υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές εκτείνονται από την τοπική κλίμακα (αστική ρύπανση) μέχρι την παγκόσμια κλίμακα. Η χωρική έκταση των επιπτώσεων αυτών καθορίζει και τη χωρική και τη χρονική ανάλυση που απαιτείται για την καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων και τη βέλτιστη υποστήριξη μέτρων καταπολέμησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στον ελληνικό χώρο η μέγιστη χρονική ανάλυση των αέριων εκπομπών που απαιτείται είναι η εποχιακή διακύμανσή τους, ενώ συνήθως γίνεται εκτίμηση μόνο της ετήσιας ποσότητας τους. Οι εκπομπές κατανέμονται χωρικά σε κάρναβο διαστάσεων $150 \times 150 \text{ km}^2$ ή $50 \times 50 \text{ km}^2$.

Στην ανάπτυξη που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο οι αέριες εκπομπές αποδίδονται χωρικά σε κάρναβο διαστάσεων $5 \times 5 \text{ km}^2$. Η μέγιστη χρονική ανάλυση των εκπομπών είναι η ωριαία διακύμανση τους για τις βιογενείς-γεωγενείς εκπομπές σκόνης, για τα σωματίδια θαλασσινού αλατιού, για το διμεθυλικό σουλφίδιο (DMS) και για τις μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις από τη βλάστηση. Οι υπόλοιπες εκπομπές από τη φύση και από ανθρωπογενείς πηγές εκτιμώνται ανά έτος.

Για την εκτίμηση των εκπομπών και τη χωρική κατανομή τους είναι απαραίτητη η επεξεργασία δεδομένων για τις χρήσεις γης στα κελιά του πλέγματος καθώς και οι μετεωρολογικές συνθήκες στην υπό εξέταση περιοχή. Ακόμη, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιούνται στοιχεία για την πυκνότητα του πληθυσμού και τη θέση των σημειακών πηγών.

7.1.2 Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από ανθρώπινες δραστηριότητες

Λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων εκπέμπονται στην Ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες ρύπων τόσο σε αέρια όσο και σε σωματιδιακή μορφή. Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τον άνθρωπο θεωρείται ως η σημαντικότερη παράμετρος υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα. Εκτός από τους συμβατικούς αέριους ρύπους εκπέμπεται και ένα μεγάλο πλήθος επικίνδυνων και τοξικών ενώσεων για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Οι αέριοι ρύποι εκλύονται από όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι κύριες πηγές αέριων ρύπων περιλαμβάνουν τους σταθμούς παραγωγής και μετατροπής ενέργειας, τα μέσα μεταφοράς, τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και τέλος τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται κυρίως

από τη βιομηχανική καύση, την παραγωγή ενέργειας, την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων και τις μεταφορές. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό, ότι οι εκπομπές κάθε ρύπου εξαρτώνται από τον τύπο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε πηγής.

7.1.3 Εκπομπές Ανθρωπογενών Ατμοσφαιρικών Ρύπων στην Ελλάδα

Οι εκπομπές ρύπων από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό, προήλθαν από τα δεδομένα του ΕΜΕΡ. Για τις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το έτος 1999. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΕΜΕΡ, οι εκπομπές αερίων ρύπων το 1999 από την Ελλάδα ήταν 1.485.000 tn CO, 65.860,14 tn NH₃, 214.378,9 tn NMVOC, 378.179,6 tn NO_x και 529.200,1 tn SO_x που προέρχονταν από τις διάφορες πηγές, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 7-1.

Πίνακας 7-1: Ανθρωπογενείς πηγές αερίων ρύπων στην Ελλάδα κατά το έτος 1999.

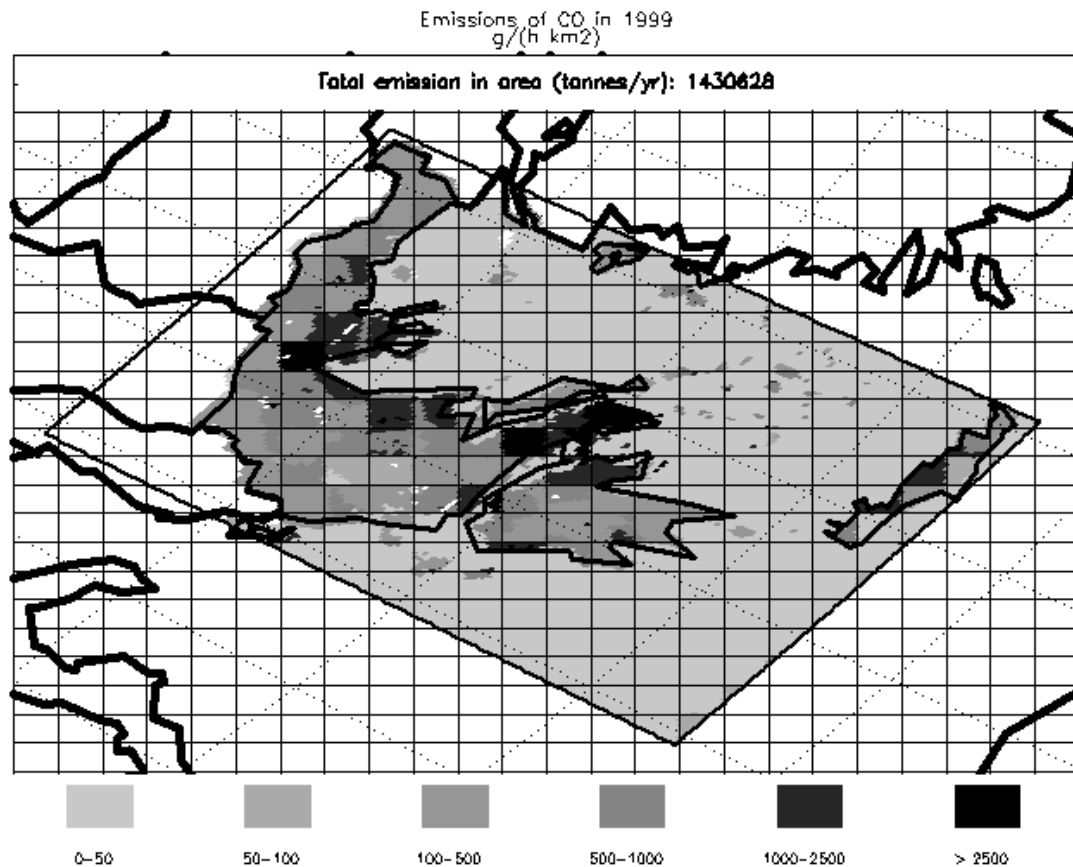
	CO	NH ₃	NMVOC	NO _x	SO _x
1. Καύση σε βιομηχανίες παραγωγής και μετασχηματισμού ενέργειας	✓			✓	✓
2. Μη βιομηχανικές εγκαταστάσεις καύσης	✓		✓	✓	✓
3. Καύση σε βιομηχανίες	✓		✓	✓	✓
4. Διεργασίες παραγωγής	✓	✓	✓	✓	✓
5. Εξόρυξη και διακίνηση ορυκτών καυσίμων και γεωθερμικής ενέργειας			✓		
6. Χρήση διαλυτών και άλλων προϊόντων			✓		
7. Οδικές μεταφορές	✓	✓	✓	✓	✓
8. Άλλες κινητές πηγές και μηχανήματα	✓		✓	✓	✓
9. Επεξεργασία και διάθεση απορριμμάτων		✓	✓		
10. Γεωργία		✓		✓	

7.2 Υπολογισμός εκπομπών βάσει της πυκνότητας του πληθυσμού και της χρήσης γης

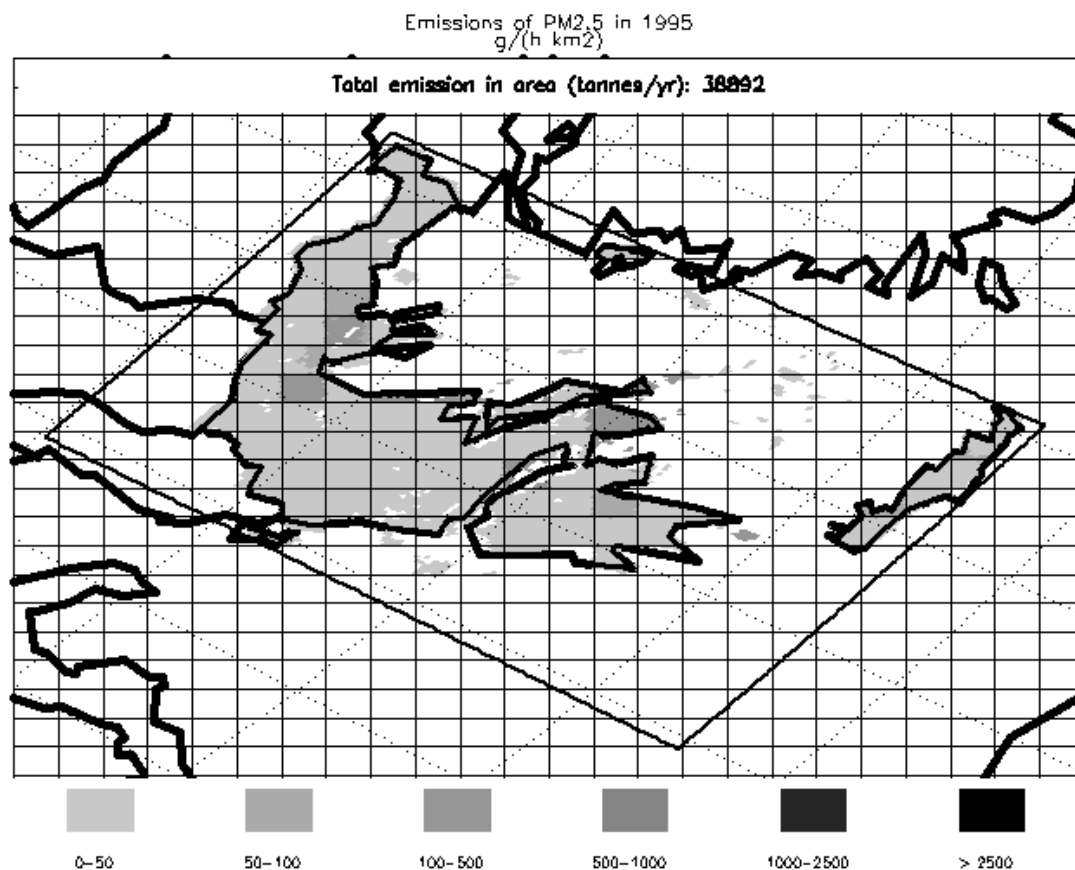
Στην παρούσα προσέγγιση χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα εκπομπών και χαρακτηριστικά των κελιών του πλέγματος. Οι αέριες εκπομπές κατανέμονται χωριστά για κάθε κατηγορία πηγής, σύμφωνα με την οδηγία CORINAIR, με κριτήριο τη χωροθέτηση της πηγής στο πλέγμα και την πυκνότητα πληθυσμού.

Αρχικά οι εκπομπές ρύπων κατανέμονται ανά κατηγορία πηγής με βάση το εμβαδόν της πηγής. Οι αέριες εκπομπές, οι οποίες προέρχονται από μη βιομηχανικές εγκαταστάσεις καύσης, τη χρήση διαλυτών και την οδική κυκλοφορία (κατηγορίες 2, 6 και 7) διακρίνονται βάσει της πυκνότητας πληθυσμού (Shin και Georgoroulos, 1998). Οι εκπομπές ρύπων από τη γεωργία κατανέμονται στα κελιά, όπου προέρχονται οι εκπομπές σύμφωνα με τα δεδομένα χρήσεων γης. Οι ποσότητες των αερίων ρύπων που προέρχονται από τις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές αποδίδονται σε κελιά πλέγματος που βρίσκονται στο θαλάσσιο χώρο. Ιδιαίτερα για το μονοξείδιο

του άνθρακα οι αέριες εκπομπές από μη βιομηχανικές εγκαταστάσεις καύσης αποδίδονται σε αστικές περιοχές, ενώ οι βιομηχανικές εκπομπές αποδίδονται στους θερμικούς σταθμούς της ΔΕΗ. Δύο παραδείγματα από τα αποτελέσματα της κατανομής CO και PM_{2.5} δίνονται στα σχήματα 7-1 και 7-2.



Σχήμα 7-1: Εκπομπές CO το 1999 στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο.



Σχήμα 7-2: Εκπομπές PM_{2.5} το 1995 στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο.

7.3 Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων από τη Βιόσφαιρα – Γεώσφαιρα

Από τη βιόσφαιρα εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες αέριων και σωματιδιακών ρύπων στην Ατμόσφαιρα. Οι εκλυόμενες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων από τις φυσικές πηγές σε παγκόσμια κλίμακα είναι πολύ υψηλότερες από αυτές που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Seinfeld and Pandis, 1998). Πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια είναι η σκόνη από το έδαφος (π.χ. επαναιώρηση σωματιδίων σκόνης λόγω διάβρωσης από τον άνεμο), αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από εκρήξεις ηφαιστειών, θραύσματα μετεωριτών, θαλασσινό αλάτι, καθώς και αιωρούμενα σωματίδια από πυρκαγιές δασών. Οι σωματιδιακές εκπομπές από τη φύση περιλαμβάνουν και δευτερογενώς παραγόμενα σωματίδια από τη μετατροπή των θειικών και των νιτρικών αλάτων, αλλά και των υδρογονανθράκων.

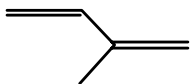
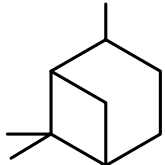
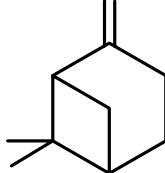
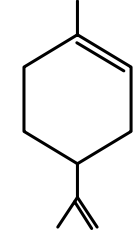
Οι εκπεμπόμενες ποσότητες των αερίων ρύπων από τη βιόσφαιρα περιλαμβάνουν το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, τις πτητικές οργανικές ενώσεις, το μεθάνιο, τους υδρογονάνθρακες και τα θειούχα αέρια. Οι κύριες πηγές αέριων ρύπων από τη βιόσφαιρα είναι η βλάστηση, οι δασικές πυρκαγιές, το έδαφος, οι αστραπές, οι υγρότοποι, οι ωκεανοί, τα ηφαίστεια, ο άνθρωπος και η άγρια πανίδα. Η ποσοτική αναλογία αέριων εκπομπών από τη βιόσφαιρα προς τις ανθρωπογενείς εκπομπές ποικίλλει ανάλογα με τον ρύπο. Οι εκπομπές της αμμωνίας και των οξειδίων του αζώτου, για παράδειγμα, προέρχονται κυρίως από τις ανθρωπογενείς

πηγές, ενώ αντιθέτως τα φυτά αποτελούν την κύρια πηγή εκπομπών υδρογονανθράκων για τον πλανήτη. Οι βιογενείς αέριοι ρύποι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία και επηρεάζουν την παραγωγή των δευτερογενών ρύπων και την ποιότητα του αέρα. Η βιόσφαιρα ωστόσο αποτελεί και καταβόθρα για ορισμένους ρύπους, όπως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα (CORINAIR, 2001). Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται ανά κατηγορία πηγής οι εκπεμπόμενοι ρύποι, οι διεργασίες με τις οποίες παράγονται, οι μεθοδολογίες για την εκτίμηση των εκπομπών καθώς και οι εκτιμήσεις που έγιναν για την Ελλάδα.

7.3.1 Εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ενώσεων από τη βλάστηση

Η χλωρίδα αποτελεί μια σημαντική πηγή ρύπων για την Ατμόσφαιρα, δεδομένου ότι εκπέμπει μεγάλες ποσότητες πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC). Σημαντικότεροι ρύποι είναι το ισοπρένιο και τα είδη που ανήκουν στην κλάση των μονοτερπενίων (α -πινένιο (α -pinene), β -πινένιο (β -pinene) και λιμονένιο (limonene)). Άλλα είδη οργανικών ενώσεων που εκπέμπονται αποτελούνται από τα οξυγονωμένα συστατικά (αλδεΐδες, αλκοόλες) και αναφέρονται ως «άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις» (OVOC). Οι εκπεμπόμενες ποσότητες οργανικών ενώσεων από βιογενείς πηγές διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα έχουμε εκπομπές οργανικών ενώσεων που προέρχονται από διαχειριζόμενες και μη δασικές εκτάσεις, από άλλους τύπους βλάστησης καθώς και από το είδος του φυτού από το οποίο πηγάζουν (EMEP/CORINAIR, 2002).

Πίνακας 7-2: Πτητικές Οργανικές ενώσεις που εκπέμπονται από το φύλλωμα δασών (Seinfeld and Pandis, 1998).

Ισοπρένιο (C_5H_8)		Εκπέμπεται από τα δέντρα, και συγκεκριμένα από τη δρυ, τη συκομορέα, την ιτέα, το βάλαμο, τη λεύκα, την ερυθρελάτη και άλλα (κυρίως από φυλλοβόλα δέντρα)
α-Πινένιο ($C_{10}H_{16}$)		Εκπέμπεται από το πεύκο, την ελάτη και ερυθρελάτη, το κυπαρίσσι και το φυτό κώνειο (κυρίως από κωνοφόρα δέντρα).
β-Πινένιο ($C_{10}H_{16}$)		Εκπέμπεται από τις φασκομηλιές της Καλιφόρνια, την ερυθρελάτη, τη βρώμη και τη σεκόγια.
d-Λιμονένιο ($C_{10}H_{16}$)		Εκπέμπεται από τις φασκομηλιές της Καλιφόρνια, τη βρώμη και τον ευκάλυπτο. Βρίσκεται στη ρητίνη και τερεβινθίνη πολλών ειδών πεύκων και στο αιθέριο έλαιο φρούτων.

Η παραγωγή του ισοπρενίου συνδέεται άμεσα με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και τη διαπνοή του φυτού και αποτελεί παραπροϊόν τους. Η εκπομπή ισοπρενίου εξαρτάται από το είδος του φυτού, ενώ δεν έχουν βρεθεί στοιχεία που αποδεικνύουν την αποθήκευση ή το μεταβολισμό του από αυτό. Το ισοπρένιο εκπέμπεται κυρίως από φυλλοβόλα είδη δέντρων υπό την παρουσία φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (Photosynthetic Active Radiation, PAR). Η εκπεμπόμενη ποσότητα αυξάνεται σημαντικά με την άνοδο της θερμοκρασίας. Αντιθέτως οι εκπομπές του τερπενίου συνδέονται με τις βιοφυσικές διεργασίες και καθορίζονται με την ποσότητα και την τάση ατμών του στα έλαια του φυλλώματος. Επομένως η εκπομπή τερπενίων δεν εξαρτάται σημαντικά από την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά η ποσότητα τους ποικίλει ανάλογα το είδος του φυτού και τη θερμοκρασία (Simpson κ.α., 1995). Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών συνθηκών και εκπομπών των OVOC είναι λιγότερο γνωστή. Επίσης στις εκπομπές κάποιων OVOC περιλαμβάνεται μια ομάδα ακόρεστων υδρογονανθράκων, που επηρεάζονται ισχυρά από εξωτερικούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι εκτός της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας, η προσβολή του φυτού από μικρόβια, έντομα και η μηχανική καταπόνησή του. Οι ρύποι αυτοί εκπέμπονται κυρίως από καλλιεργούμενα φυτά και από είδη που απαντώνται σε βοσκότοπους, όπως ο κισσός, ο σχοίνος και η φτέρη.

Η απογραφή των εκπομπών του ισοπρενίου και του τερπενίου είναι σημαντική λόγω του ότι είναι πολύ χημικώς ενεργά στην τροπόσφαιρα. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον δίνεται στην απογραφή του ισοπρενίου καθώς επιδρά πρωτογενώς στον σχηματισμό του όζοντος. Οι εκπομπές των διαφόρων τερπενίων είναι εξίσου σημαντικές, αν και υπάρχει μεγάλη ασάφεια σε σχέση με τη συμπεριφορά τους στην Ατμόσφαιρα. Ο ρόλος τους στο σχηματισμό του όζοντος δεν είναι τόσο ξεκάθαρος, καθώς αντιδρούν πολύ γρήγορα τόσο με το υδροξύλιο όσο και με το ίδιο το όζον και μετατρέπονται γρήγορα στη σωματιδιακή φάση. Ωστόσο έχει βρεθεί πως επιδρούν δευτερογενώς στο σχηματισμό του όζοντος. Οι υπόλοιπες οργανικές πτητικές ενώσεις (OVOC) παίζουν αναμφίβολα σημαντικό ρόλο στη χημεία της Ατμόσφαιρας αν και δεν είναι γνωστή η συμπεριφορά του κάθε είδους χωριστά, ενώ είναι δύσκολο να προσδιοριστούν ποσοτικά σε ατμοσφαιρικά δείγματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μη δίνεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην απογραφή τους.

Στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των εκπομπών ισοπρενίου (Simpson κ.α., 1995). Οι εκτιμήσεις με τις παραπάνω μεθόδους διέφεραν μεταξύ τους λόγω της χρήσης διαφορετικών συντελεστών εκπομπής. Το 1994 πραγματοποιήθηκαν πολλές μετρήσεις πεδίου στην Ευρώπη με αποτέλεσμα την αναθεώρηση των συντελεστών εκπομπής για πολλά είδη δέντρων. Οι τελευταίες μέθοδοι υπολογισμού έδωσαν πολύ μικρότερες εκπομπές ισοπρενίου στις Μεσογειακές χώρες σε σχέση με προηγούμενους υπολογισμούς. Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις, οι εκπομπές από τα δάση συμμετείχαν κατά 28,71% στις συνολικές εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων το 1995 στην Ελλάδα (Simpson κ.α. και Guenther κ.α., 1995), ενώ το 40% των εκπομπών αποδίδεται στη βλάστηση για το έτος 1999.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές, ότι η εκτίμηση των εκπομπών από τη βλάστηση ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα εξαιτίας της χρήσης μη κατάλληλων συντελεστών εκπομπής.

Στις ενότητες που ακολουθούν αναλύεται η πιο σύγχρονη μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών VOC από τη βλάστηση, όπως δίνεται στον «Οδηγό Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών» (EMEP/CORINAIR, 2002). Στην παρακάτω ενότητα εκτιμάται η εκλυόμενη ποσότητα των οργανικών πτητικών ενώσεων στην ΝΑ Ελλάδα στις 26 Ιουλίου του 2000 βάσει πραγματικών μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και μια εκτίμηση των εκπομπών για το σύνολο της χώρας για το έτος 1997 βάσει στατιστικών στοιχείων. Οι συντελεστές εκπομπής αντιστοιχούν σε κατηγορίες χρήσης γης και όχι σε είδη φυτών καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τα είδη βλάστησης ανά περιοχή της Ελλάδας. Τέλος οι εκπομπές αποδίδονται γραφικά στο πλέγμα της περιοχής.

7.4 Εκτίμηση Εκπομπών στην Ελλάδα

Οι εκπομπές, όπως προαναφέρθηκε, υπολογίζονται από τα δεδομένα των αντίστοιχων χρήσεων γης και όχι άμεσα από τα εκάστοτε είδη της βλάστησης. Ο ρυθμός εκπομπής, ER [$\mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$], του ισοπρενίου και του τερπενίου περιγράφεται από την κάτωθι εξίσωση:

$$ER = (\text{Συντελεστής εκπομπής}) \cdot (\text{Πυκνότητα Βιομάζας}) \cdot (\text{Συντελεστής Διόρθωσης}) \quad (7-1)$$

Ο συντελεστής εκπομπής εκφράζεται σε μικρογραμμάρια άνθρακα ανά γραμμάριο μάζας φυλλώματος και ανά ώρα [$\mu\text{g C g}^{-1}\text{h}^{-1}$], ενώ η πυκνότητα της βιομάζας εκφράζεται σε γραμμάρια ανά τετραγωνικό μέτρο [g/m^2] για διαφορετικές κατηγορίες χρήσης Γης. Στην περίπτωση των δασικών εκτάσεων οι παράμετροι εκτιμήθηκαν βάσει στοιχείων του Υπουργείου Γεωργίας, σύμφωνα με τα οποία τα κύρια είδη κωνοφόρων δέντρων στην Ελλάδα είναι η ερυθρελάτη και η χαλέπιος πεύκη, ενώ μεταξύ των φυλλοβόλων ειδών επικρατεί η βελανιδιά. Οι συντελεστές εκπομπής για το ισοπρένιο και το τερπένιο ελήφθησαν από την οδηγία CORINAIR και το άρθρο του Simpson κ.α. (1999) και δίνονται στον Πίνακα 7-3 που ακολουθεί. Ο συντελεστής διόρθωσης δίνει τη διόρθωση του συντελεστή εκπομπής λόγω εμπειρικών δεδομένων. Για παράδειγμα στην επαναιώρηση σκόνης από το έδαφος πρέπει να γίνει διόρθωση για τα τμήματα του εδάφους που δεν διαβρώνονται.

Πίνακας 7-3: Τυπικοί συντελεστές εκπομπής για τα δέντρα των δασών στην Ελλάδα.

	Ερυθρελάτη (<i>Picea sitchensis</i>)	Χαλέπιος πεύκη (<i>Pinus halepensis</i>)	Βελανιδιά (<i>Quercus robur</i>)
Πυκνότητα Βιομάζας, g m^{-2}	Ποικίλει	700	320
Συντελεστής εκπομπής (ισοπρένιο), $\mu\text{g C g}^{-1}\text{h}^{-1}$	6	0	60
Συντελεστής εκπομπής (τερπένιο), $\mu\text{g C g}^{-1}\text{h}^{-1}$	3	0,65	0,2

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα και την αναλογία των εκτάσεων που καλύπτει κάθε είδος δέντρου στην Ελλάδα προέκυψαν οι παρακάτω τιμές συντελεστών εκπομπής για τις δασικές εκτάσεις. Αναλυτικότερα οι τιμές που χρησιμοποιούνται για τις 11 κατηγορίες χρήσης γης του πλέγματος δίνονται στον Πίνακα 7-4.

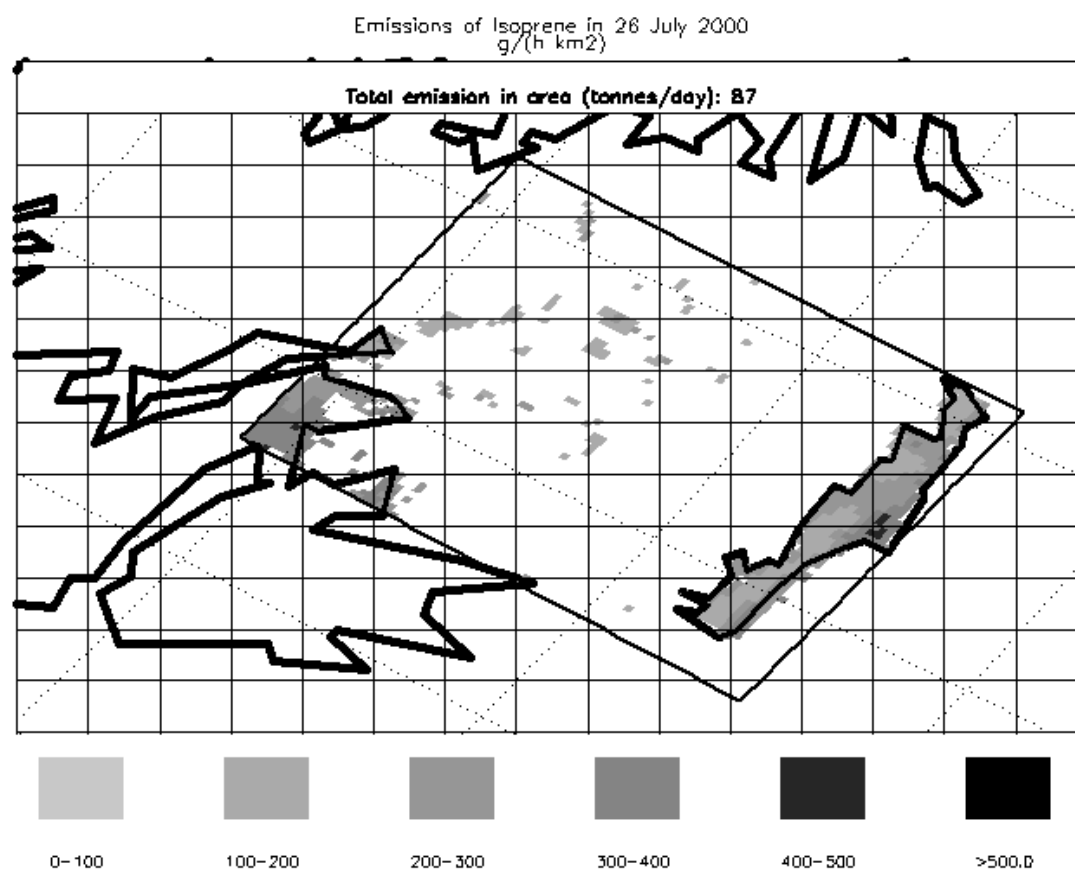
Πίνακας 7-4: Κατηγορίες χρήσης γης στον Ελληνικό χώρο και παράμετροι για τον υπολογισμό του ισοπρενίου και του τερπενίου.

	Πυκνότητα Βιομάζας ($g\ m^{-2}$)	Συντελεστής εκπομπής ισοπρενίου ($\mu g\ C\ g^{-1}h^{-1}$)	Συντελεστής εκπομπής τερπενίου ($\mu g\ C\ g^{-1}h^{-1}$)
Αστική έκταση	-	-	-
Αγροτική έκταση	200	5	0,5
Βοσκοτόπια /Λιβάδια	200	5	0,5
Δάσος φυλλοβόλων δέντρων	320	60	0,2
Δάσος κωνοφόρων δέντρων	700	2,45	1,6
Μικτό δάσος που περιλαμβάνει υγρότοπο	200	5	0,5
Νερό, θαλασσινό και γλυκό	-	-	-
Άγονη έκταση, κυρίως έρημος	200	5	0,5
Υγρότοπος που δεν περιβάλλεται από δάσος	-	-	-
Μικτή έκταση αποτελούμενη από αγροτικές καλλιέργειες και βοσκότοπους	200	5	0,5
Βραχώδεις έκταση με θάμνους	200	5	0,5

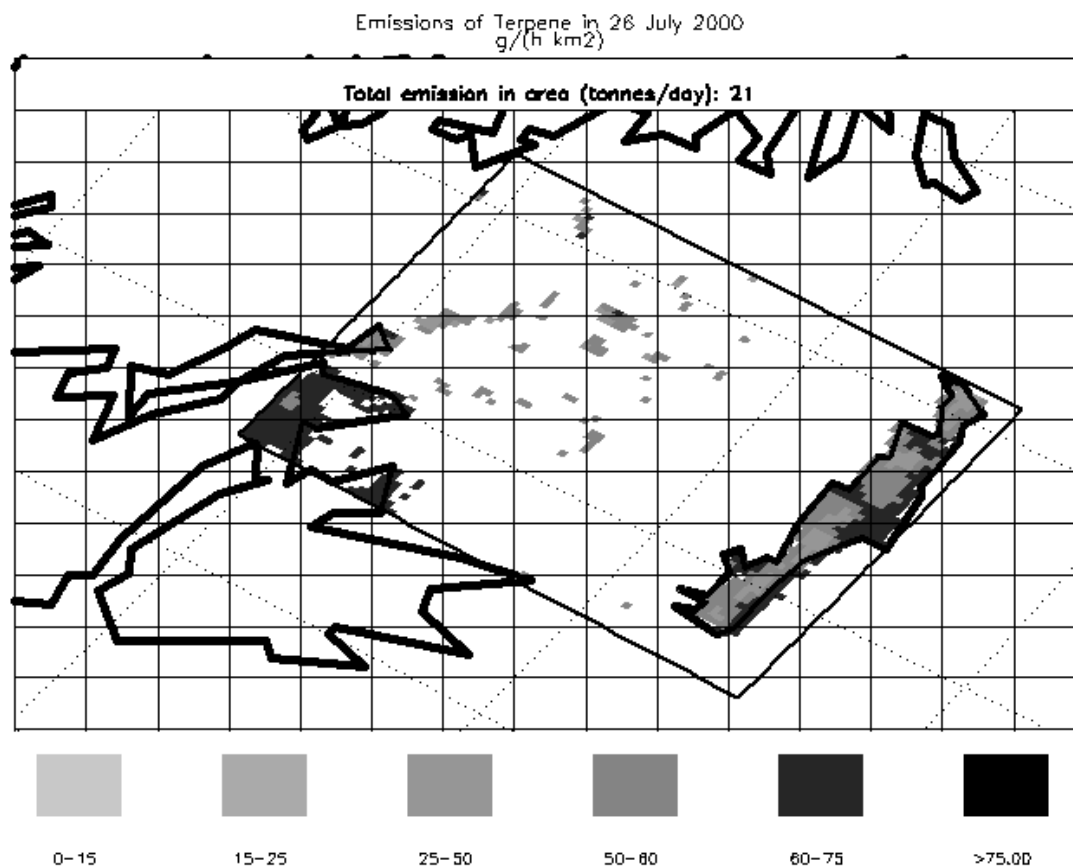
7.4.1 Εκπομπές ισοπρενίου και τερπενίου στην ΝΑ Ελλάδα – Αποτελέσματα μοντελοποίησης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε τον υπολογισμό των εκπομπών του ισοπρενίου και του τερπενίου στο πλέγμα της ΝΑ Ελλάδας που έγινε για τις 26 Ιουλίου του 2000. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές θερμοκρασίας ανά κελί του πλέγματος και η ροή της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας για τη θερινή περίοδο. Αθροίζοντας τις ωριαίες εκπομπές του ισοπρενίου και τερπενίου προέκυψε η μέση ημερήσια εκπομπή ισοπρενίου και τερπενίου (g/km^2) σε κάθε κελί του πλέγματος.

Οι υπολογιζόμενες εκπομπές ισοπρενίου και τερπενίου δίνονται στα σχήματα 7-3 και 7-4 αντίστοιχα.

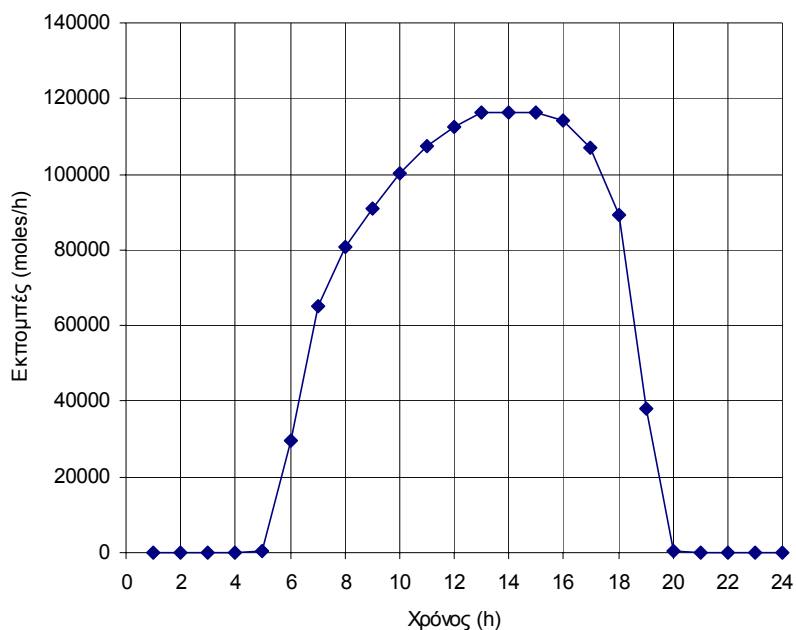


Σχήμα 7-3: Εκπομπές ισοπρενίου (g/h km²) στην ΝΑ Ελλάδα στις 26 Ιουλίου 2000.

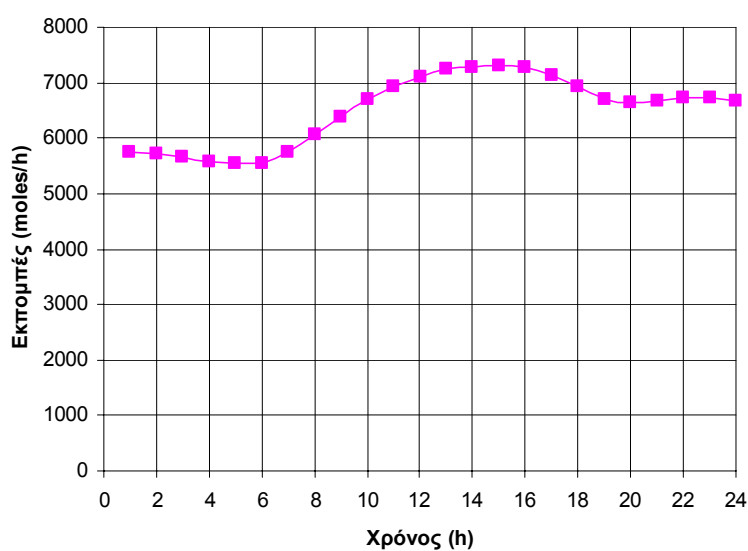


Σχήμα 7-4: Εκπομπές τερπενίου (g/h km²) στην ΝΑ Ελλάδα στις 26 Ιουλίου 2000.

Η ωριαία διακύμανση των εκπομπών σε moles/h δίνεται στα σχήματα 7-5 και 7-6 και αντίστοιχα.

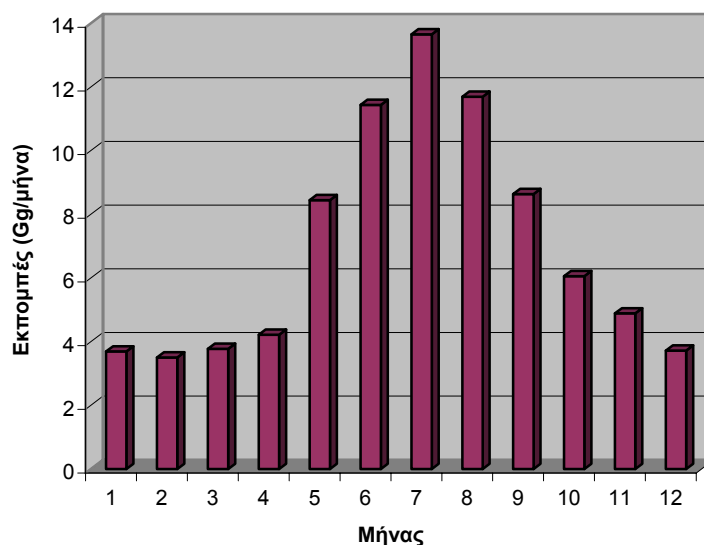


Σχήμα 7-5: Ωριαία διακύμανση των εκπομπών ισοπρενίου (moles/h) στις 26 Ιουλίου 2000 στην ΝΑ Ελλάδα.



Σχήμα 7-6: Ωριαία διακύμανση των εκπομπών τερπενίου (moles/h) στις 26 Ιουλίου 2000 στην ΝΑ Ελλάδα.

Στο Σχήμα 7-7 παρουσιάζουμε τις μέσες μηνιαίες τιμές εκπομπής τερπενίου στην Ελλάδα το 1997.



Σχήμα 7-7: Μηνιαίες εκπομπές τερπενίου (Gg/μήνα) στην Ελλάδα το έτος 1997.

7.4.2 Εκπομπές σωματιδίων άλατος από τη θάλασσα

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες αποτελούν σημαντική πηγή πρωτογενών ρύπων όπως του μονοξειδίου του άνθρακα και της θειικής ρίζας, λόγω των χημικών αντιδράσεων και μετατροπών που συμβαίνουν στη μάζα τους. Αποτελούν επίσης συνεχή πηγή σωματιδιακού φορτίου με τη μορφή σωματιδίων άλατος (NaCl) για την Ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια θαλασσινού άλατος ποικίλουν σε μέγεθος (0,05-10 mm διάμετρο) και χρόνο παραμονής στην Ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με το μητρώο εκπομπών που καταρτίσθηκε για το IPCC (Intergovernmental Programme for Climatic Change) (IPCC, 1996) δίνονται οι εκπομπές θαλασσινού άλατος σε Tg για το έτος 2000 στον Πίνακα 7-5 που ακολουθεί.

Πίνακας 7-5: Παγκόσμιες εκπομπές θαλασσινού άλατος (IPCC, 1996).

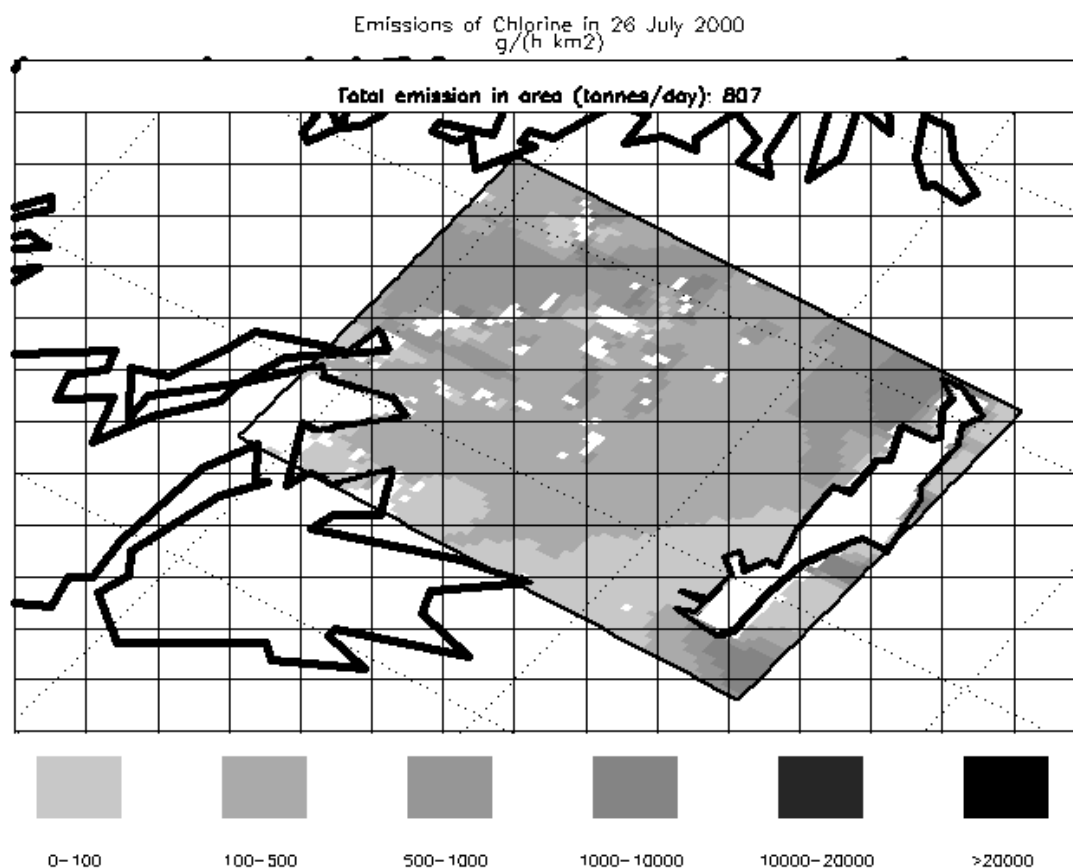
Διάμετρος σωματιδίων	Βόρειο Ημισφαίριο	Νότιο Ημισφαίριο	Παγκόσμια	Ελάχιστη τιμή (*)	Μέγιστη τιμή (*)
d < 1 μm	23	331	54	18	100
d = 1-16 μm	1420	1870	3290	1000	6000
Σύνολο	1440	1900	3340	1000	6000

(*): Λόγω αβεβαιότητας οι πραγματικές τιμές των εκπομπών δύναται να διαφέρουν από αυτές του πίνακα. Οι τιμές αυτές δίνουν τα όρια της αβεβαιότητας

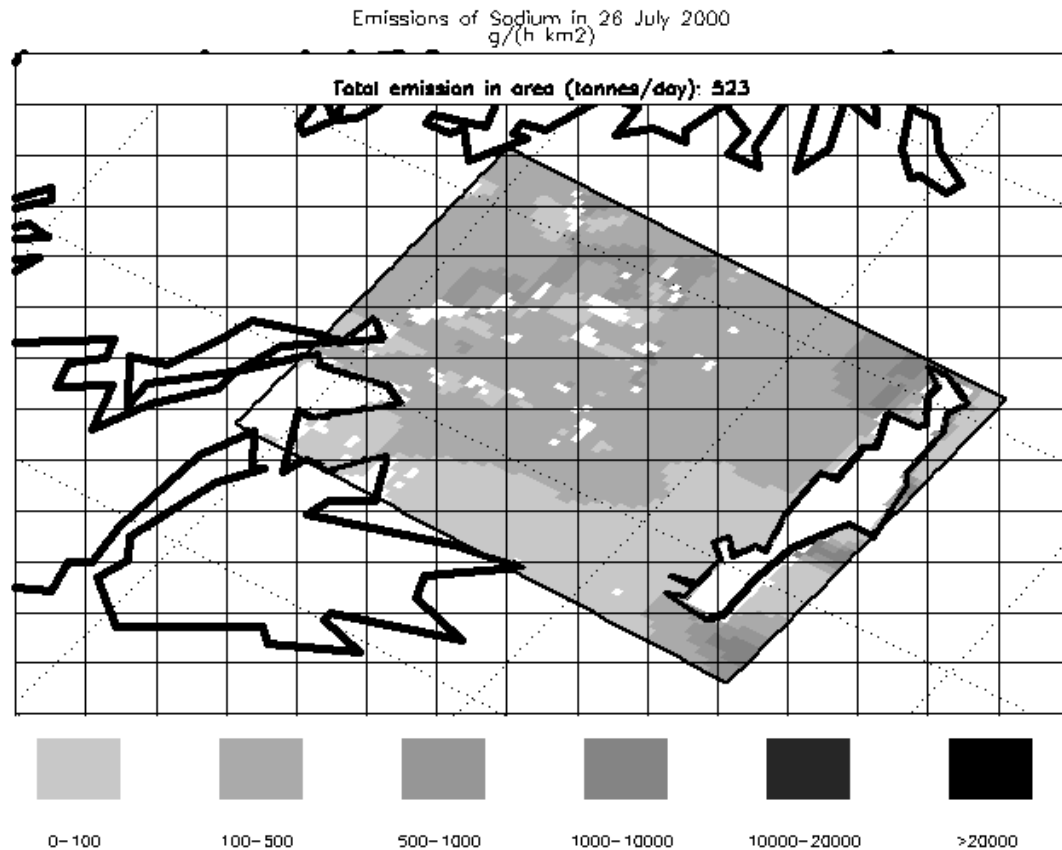
Τα αιωρούμενα σωματίδια του θαλασσινού άλατος έχουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία και επηρεάζουν τη συγκέντρωση αερίων ενώσεων όπως του υδροχλωρίου (HCl), του θειικού οξέος (H₂SO₄), του χλωριούχου νιτρονίου (ClNO₂) και της αμμωνίας (NH₃). Αποτελούν επίσης «καταβόθρα» του αέριου θειικού οξέος (H₂SO₄) μειώνοντας την απόδοση σχηματισμού του θειικού οξέος στο οριακό στρώμα της θάλασσας. Ειδικότερα, σε παράκτιες περιοχές, τα αιωρούμενα σωματίδια θαλασσινού άλατος επηρεάζουν την πλανητική ακτινοβολία τόσο άμεσα (με τη σκέδαση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας) όσο και έμμεσα (με το σχηματισμό

πυρήνων συμπύκνωσης νεφών (CCN)). Η εύρεση της ενεργής επιφάνειας των αεροζόλ είναι πολύ σημαντική για τον προσδιορισμό των έμμεσων επιπτώσεων τους.

Χρησιμοποιώντας δεδομένα της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου στο πλέγμα της ΝΑ Ελλάδας και βάσει της χρήσης της Γης στην περιοχή υπολογίστηκαν οι εκπομπές Na^+ και Cl^- στις 26 Ιουλίου του 2000. Από τη βιβλιογραφία έχει βρεθεί πως η καλύτερη προσέγγιση δίνεται εάν ακολουθηθεί η μεθοδολογία του παραδείγματος 1 στο παρόν Κεφάλαιο αλλά χωρίς τη χρήση της εξίσωσης Monahan για τον άμεσο μηχανισμό. Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκαν οι εκπομπές των ιόντων χλωρίου και νατρίου στην περιοχή, όπως δίνονται στα σχήματα 7-8 και 7-9 αντίστοιχα.

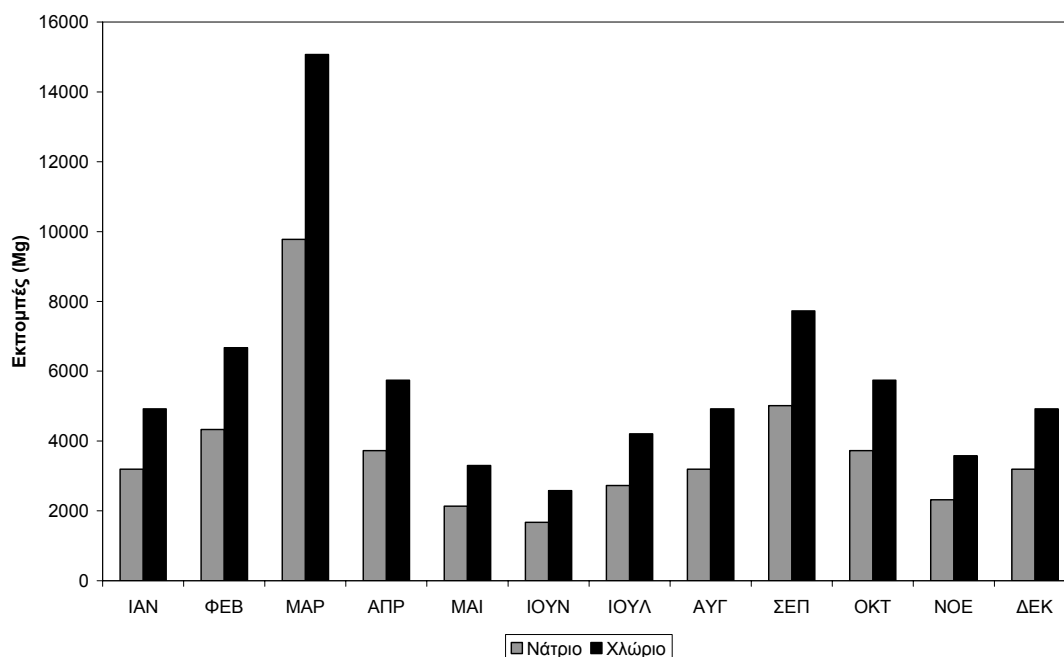


Σχήμα 7-8: Εκπομπές χλωρίου (g/h km²) στην ΝΑ Ελλάδα στις 26 Ιουλίου 2000.



Σχήμα 7-9: Εκπομπές νατρίου (g/h km²) στην ΝΑ Ελλάδα στις 26 Ιουλίου 2000.

Η εκτίμηση της εκπεμπόμενης ποσότητας αλατιού στον Ελληνικό χώρο έγινε χρησιμοποιώντας τις μέσες μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου (m/s) στην περιοχή της Αθήνας για το έτος 1997 σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας. Έγινε η παραδοχή πως οι τιμές αυτές ισχύουν για κάθε περιοχή της Ελλάδας. Χρησιμοποιώντας την παραδοχή αυτή για το έτος 1997 η εκπομπή Na και Cl στην Ελλάδα ήταν 476.125 Tg και 734.236 Tg αντίστοιχα. Η μηνιαία διακύμανσή τους δίνεται στο Σχήμα 7-10. Μεγαλύτερες εκπομπές παρατηρούνται κατά τους χειμερινούς μήνες.



Σχήμα 7-10: Μηνιαία παραγωγή νατρίου και χλωρίου στην Ελλάδα κατά το έτος 1997.

7.4.3 Εκπομπές αέριων ρύπων από το έδαφος

Οι εκπομπές των αέριων και των σωματιδιακών ρύπων από το έδαφος μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα μιας περιοχής. Ειδικότερα το έδαφος αποτελεί μια τεράστια πηγή σωματιδίων προς την Ατμόσφαιρα λόγω της επαναιώρησης της σκόνης εξαιτίας της μηχανικής καταπόνησης του και φυσικά μέσω της διάβρωσης της επιφάνειας του από τον άνεμο. Όταν μάλιστα το έδαφος είναι ρυπασμένο, τότε εκπέμπει μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία ρυπαντών. Αέριοι ρύποι (όπως τα οξειδία του αζώτου) εκπέμπονται από το έδαφος με ρυθμούς πολύ μικρότερους σε σχέση με τα σωματίδια. Ωστόσο οι φυσικές εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) από το έδαφος μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στα επίπεδα οξειδίων του αζώτου στην Ατμόσφαιρα ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές (Skiba κ.α., 1992, Simpson κ.α., 1995). Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αρχικά ο τρόπος παραγωγής των οξειδίων του αζώτου από μη αγροτικές περιοχές και δίνεται μια εκτίμηση των εκπομπών του για την Ελλάδα. Οι εκπομπές σκόνης αναλύονται στο παράδειγμα 2 του παρόντος Κεφαλαίου καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους είναι ιδιαίτερα σύνθετος.

7.4.3.1 Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) από το έδαφος

Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου από το έδαφος εκτιμάται πως αποτελούν το 16% της συνολικής τους συγκέντρωσης που υπάρχει στην τροπόσφαιρα σε παγκόσμιο επίπεδο. Αν και η ποσότητα τους μπορεί να επηρεαστεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι διεργασίες αυτές θεωρούνται καθαρά φυσικές.

Το έδαφος εκπέμπει οξείδια του αζώτου κυρίως μέσω βιολογικών οδών. Νιτρικά και νιτρώδη (NO_3^- και NO_2) παράγονται σαν ενδιάμεσα προϊόντα των διεργασιών νιτροποίησης από τα μικρόβια, ενώ κατά την μικροβιακή απονιτροποίηση παράγονται σαν τελικά προϊόντα μοριακό άζωτο και υποοξείδιο του αζώτου (N_2 , N_2O) τα οποία εκπέμπονται στην Ατμόσφαιρα. Τα οξείδια του αζώτου εκπέμπονται κυρίως με τη μορφή του μονοξειδίου του αζώτου (NO) και η ποσότητά τους είναι μικρή, όταν προέρχονται από φυσικά οικοσυστήματα. Οι εκπομπές όμως εξαρτώνται από τις διαθέσιμες ποσότητες του αζώτου που λαμβάνουν χώρα κατά την πραγματοποίηση των παραπάνω διεργασιών. Έτσι εμπλουτισμένα σε άζωτο εδάφη, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές που δέχονται άμεσα μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων και κοπριάς, είναι υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών του μονοξειδίου του αζώτου. Σε κάποιες περιοχές μάλιστα οι εκλυόμενες ποσότητες οξειδίων του αζώτου πλησιάζουν σε ποσότητα τις αντίστοιχες από ανθρωπογενείς πηγές. Ακόμα οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου από το έδαφος εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του εδάφους. Έτσι οι υψηλότερες ροές του μονοξειδίου του αζώτου προς την Ατμόσφαιρα συμβαίνουν κατά τους θερμότερους μήνες του έτους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, οι εκπομπές του μονοξειδίου του αζώτου από το έδαφος αγροτικών περιοχών έχει υπολογιστεί, ότι αποτελούν το 15% των συνολικών Ευρωπαϊκών εκπομπών οξειδίων του αζώτου (Simpson κ.α., 1995) ενώ το αντίστοιχο ποσοστό από μη αγροτικές περιοχές είναι εξαιρετικά μικρότερο. Ακόμα φαίνεται πως οι συντελεστές εκπομπής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη χρήση της Γης. Η απογραφή των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου από το έδαφος είναι σημαντική ιδίως σε περιοχές με μικρές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου. Αυτό διότι ο σχηματισμός του όζοντος είναι πιο ευαίσθητος σε αυτές τις περιοχές καθώς η «διαθεσιμότητα» των οξειδίων του αζώτου και η υψηλή εκπομπή τους κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου αυξάνει την πιθανότητα δημιουργίας φωτοχημικού νέφους.

7.4.3.2 Εκπομπές και Μεθοδολογία εκτίμησης τους

Οι εκτιμήσεις έως σήμερα πραγματοποιούνται με τη βοήθεια εμπειρικών αλγορίθμων, βασισμένων σε λίγες μετρήσεις πεδίου. Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου υπολογίζονται ανάλογα τη χρήση της Γης, τις πιθανές εισροές N στο έδαφος και τη θερμοκρασία του εδάφους. Στις παρακάτω παραγράφους δίνονται οι μέθοδοι υπολογισμού των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου από μη αγροτικές εκτάσεις, όπως περιγράφονται στην οδηγία CORINAIR. Η μεθοδολογία υπολογισμού τους για εδάφη αγροτικών εκτάσεων είναι παρόμοια.

Σύνθετη Μέθοδος Εκτίμησης

Η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου χρησιμοποιεί ένα αλγόριθμο που είναι γνωστός ως δεύτερη έκδοση του

συστήματος απογραφής βιογενών εκπομπών (BEIS-2). Στο BEIS-2 οι εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου από τα δάση, τις αγροτικές εκτάσεις, τα αστικά κέντρα και τα λιβάδια υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα θερμοκρασίας εδάφους. Η βασική εξίσωση υπολογισμού δίνεται από τη σχέση $F_{NO}(ng\ N/m^2s) = C \exp(0,071 \cdot T_s)$, όπου F_{NO} είναι ο ρυθμός εκπομπής μονοξειδίου του αζώτου, T_s η θερμοκρασία του εδάφους ($^{\circ}C$) και C μία σταθερά ανάλογη της κατηγορίας της χρήσης της Γης.

Στη βιβλιογραφία η τιμή του C ποικίλει από 0,004 ως 9 και η θερμοκρασία του εδάφους εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη χρήση της Γης. Γενικά θα πρέπει να αναφερθεί, ότι έχουν γίνει πολλές εκτιμήσεις των συντελεστών εκπομπής βάσει μετρήσεων πεδίου. Οι συντελεστές αυτοί δίνονται συναρτήσει των χρήσεων της Γης, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και του εδάφους, της υγρασίας καθώς και των επιπέδων των νιτρικών ενώσεων στο έδαφος. Πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί, ότι οι τιμές τους διαφέρουν από μελέτη σε μελέτη καθώς ο υπολογισμός τους ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στις διάφορες μετρήσεις. Μια διεθνώς αποδεκτή μεθοδολογία βασίζεται στην Οδηγία EMEP/CORINAIR, και οι εμπειρικοί συντελεστές εκπομπών δίνονται στον Πίνακα 7-6.

Πίνακας 7-6: Εμπειρικοί συντελεστές για το σύστημα BEIS-2.

Κατηγορία Χρήσης Γης	C	Συνάρτηση υπολογισμού $T_s(^{\circ}C)$ από την $T_a(^{\circ}C)$
Λιβάδι και Βοσκότοπος	0,9	$T_s = 0,67 T_a + 8,8$
Δάσος	0,07	$T_s = 0,84 T_a + 3,6$
Υγρότοπος	0,004	$T_s = 0,92 T_a + 4,4$

(T_a η θερμοκρασία της Ατμόσφαιρας)

Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους υπολογισμού οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από το έδαφος της Ελλάδας έχουν εκτιμηθεί σε 1,8 Gg N/yr (1,3 από λιπάσματα, 0,31 ως υπόβαθρο και 0,22 εξαρτώμενα του N) σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και σε 23 Gg N/yr σύμφωνα με τη λεπτομερή μεθοδολογία, BEIS-2 (Simpson κ.α., 1999). Λόγω του ότι οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου από αγροτικές εκτάσεις θεωρούνται ανθρωπογενείς η παραπάνω μεθοδολογία δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ακρίβεια για τον υπολογισμό των εκπομπών των NO_x από το έδαφος.

7.4.4 Εκπομπές των σωματιδίων σκόνης από το έδαφος

Οι εκπομπές σκόνης από το έδαφος είναι αποτέλεσμα της επαναιώρησης των σωματιδίων από μια εκτεθειμένη περιοχή λόγω του ανέμου ή των μηχανικών διεργασιών στην Ατμόσφαιρα. Εάν μια περιοχή είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένη, τότε η δυνατότητα αιώρησης των σωματιδίων εξαρτάται από παραμέτρους, όπως είναι τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, ο περιβάλλον αέρας, η τύρβη και οι τοπικά μηχανικές δραστηριότητες / διαταράξεις του εδάφους (Droppo και Buck, 1996).

Η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα καθορίζει την έκταση, με την οποία η κίνηση του αέρα πάνω από την επιφάνεια μπορεί να προκαλέσει την επαναιώρηση των σωματιδίων του εδάφους. Ακόμα η μηχανική καταπόνηση του εδάφους, όπως η βοσκή, η κίνηση οχημάτων, οι κατασκευαστικές δραστηριότητες, το περπάτημα και η κίνηση του εδάφους, μπορεί να προκαλέσει αύξηση του ρυθμού εκπομπής σκόνης σε σχέση με αυτόν του αδιατάρακτου εδάφους.

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται οι παράμετροι που επηρεάζουν την εκπομπή της σκόνης από το έδαφος. Δεν έχει υιοθετηθεί ακόμα μέθοδος υπολογισμού των εκπομπών στην οδηγία CORINAIR. Έτσι παρουσιάζονται παρακάτω οι μέθοδοι που δίνονται στο εγχειρίδιο του μοντέλου MEPAS (Droppo και Buck, 1996) και την οδηγία απογραφής εκπομπών διαφυγούσας σκόνης της EPA (EPA, 1999). Τέλος γίνεται εκτίμηση των φυσικών εκπομπών σκόνης τόσο της ΝΑ όσο και όλης της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά στο γεωγραφικό πλέγμα της περιοχής.

7.4.4.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την επαναιώρηση σκόνης

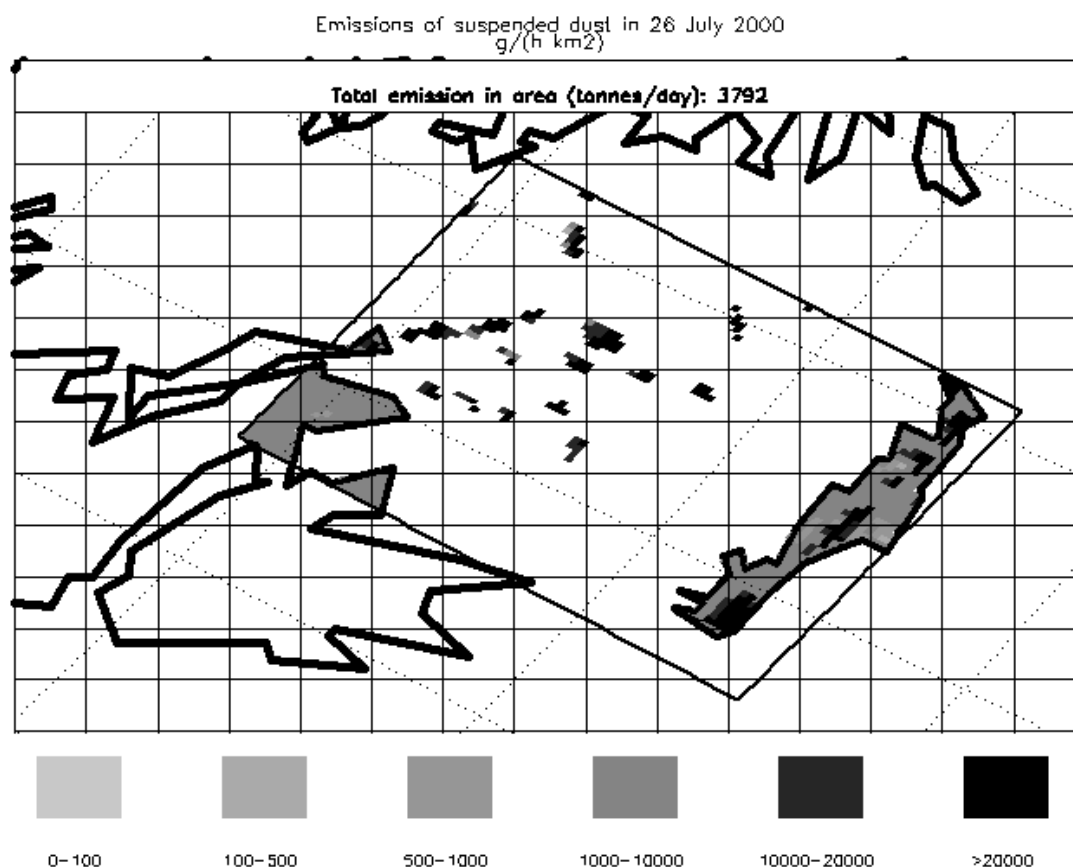
Οι εκπομπές σκόνης εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων, τις συνθήκες της επιφάνειας από όπου εκπέμπονται, την ταχύτητα του ανέμου, την υγρασία της Ατμόσφαιρας και της επιφάνειας και από την ύπαρξη δραστηριοτήτων ικανών να προκαλέσουν επαναιώρηση σκόνης σε μια περιοχή. Ο ρυθμός εκπομπής σκόνης και τα μέτρα περιορισμού της σχετίζονται με τις ιδιότητες της περιοχής, όπως αναλύεται παρακάτω (Watson και Chow, 2000).

Ανθρώπινες δραστηριότητες που θεωρούνται ως μηχανική καταπόνηση του εδάφους και μπορούν να προκαλέσουν την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων σκόνης είναι η κυκλοφορία των οχημάτων, οι βιομηχανικές διεργασίες και οι κατασκευαστικές εργασίες. Η κυκλοφορία των οχημάτων είναι η κύρια πηγή σκόνης σε αστικές περιοχές. Το σχήμα, η ταχύτητα κίνησης, το βάρος και ο αριθμός τροχών ενός οχήματος επιδρούν σε διαφορετικές επιφάνειες δρόμων μεταβάλλοντας το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, το φορτίο ιλύος, την υγρασία και κατά συνέπεια την επίδραση του ανέμου. Μεταξύ των ελαστικών των οχημάτων και του οδοστρώματος δημιουργείται μια διατμητική δύναμη που ανυψώνει τα σωματίδια που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους στον αέρα. Επιπλέον δημιουργείται μια τυρβώδης ροή, που δρα όπως και ο άνεμος στα αιωρούμενα σωματίδια. Άλλες επιδράσεις της κυκλοφορίας οχημάτων σε μια περιοχή, όπως η μεταφορά του υλικού της επιφάνειας, αναφέρθηκαν παραπάνω. Πέρα από την κίνηση οχημάτων σημαντικές πηγές σκόνης αποτελούν οι σωροί του χώματος σε βιομηχανίες, οι εκσκαφές και οι μεταφορές υλικών καθώς και η βοσκή των ζώων. Για τον υπολογισμό της σκόνης, που επαναιωρείται λόγω της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο, χρησιμοποιούνται τιμές εκπομπών που εξαρτώνται από την κατηγορία χρήσης γής. Οι παράμετροι που της εξίσωσης (7-1) δίνονται στον Πίνακα 7-7.

Πίνακας 7-7: Τυπικές τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης (7-1).

Κατηγορία χρήσης γης		Ποσοστό άμμου (%)	Συντελεστής διόρθωσης για αδιάβρωτα στοιχεία, N	Κάλυψη εδάφους από βλάστηση ή οικοδομήματα, ν	Μήκος τραχύτητας επιφάνειας, z_0 (m)
No	Περιγραφή				
1	Αστική έκταση	20,0	0,9	0,9	3,0
2	Αγροτική έκταση	10,0	0,25	0,9	0,25
3	Βοσκοτόπια/Λιβάδια	10,0	0,7	0,2	0,05
8	Άγονη έκταση, κυρίως έρημος	30,0	0,2	0,4	0,002
11	Βραχώδης έκταση με θάμνους	25,0	0,5	0,3	0,1

Για τις υπόλοιπες κατηγορίες χρήσεων γης οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων είναι μηδενικές καθώς θεωρείται, ότι οι εκτάσεις αυτές καλύπτονται πλήρως από βλάστηση ή οικοδομήματα. Για την ΝΑ Ελλάδα, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές ταχύτητας ανέμου (ανά κελί) που επικρατούσαν στις 26 Ιουλίου του 2000. Οι εκπομπές σκόνης στη ΝΑ Ελλάδα, λόγω της διάβρωσης των επιφανειών από τον άνεμο, δίνονται για τις 26 Ιουλίου του 2000 στο Σχήμα 7-11.



Σχήμα 7-11: Εκπομπές σκόνης στη ΝΑ Ελλάδα λόγω της διάβρωσης από τον άνεμο.

Θεωρήθηκε ότι κάθε κελί του πλέγματος διαθέτει περιορισμένη δυνατότητα διάβρωσης. Οι εκπομπές εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας ως μέση μηνιαία τιμή

βροχόπτωσης τις τιμές του 1997 για την Αθήνα όπως αυτές δίνονται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία.

7.4.5 Εκπομπές ρύπων από πυρκαγιές δασικών εκτάσεων

Σε παγκόσμια κλίμακα η καύση της βιομάζας σε οποιασδήποτε μορφή εκτιμάται πως συνεισφέρει σημαντικά στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Οι φωτιές ωστόσο είναι μια αναπόσπαστη και φυσική διεργασία των δασικών οικοσυστημάτων. Οφείλονται κυρίως σε κεραυνούς, ενώ το ίδιο το δασικό οικοσύστημα δημιουργεί τις ιδανικές συνθήκες έναρξης φωτιάς ανά διαστήματα ως μια διαδικασία ανανέωσης και εξάπλωσης του. Εκτιμήσεις όμως πάνω στα αίτια των δασικών πυρκαγιών στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην Ελλάδα καταδεικνύουν, ότι αυτές οφείλονται κυρίως σε ανθρώπινη παρέμβαση. Εκτιμάται ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) (ως C) από την καύση της βιομάζας είναι ετησίως 3.550 Tg και μόνο τα 117 Tg C προέρχονται από πυρκαγιές σε εύκρατες και βόρειες περιοχές, με ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτών να λαμβάνει χώρα στην Ευρώπη.

Στην Ευρώπη καίγονται κατά μέσο όρο 0,5–1 εκατομμύρια εκτάρια γής το χρόνο και τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στη Ρωσία. Σύμφωνα με την απογραφή εκπομπών στο CORINAIR-1990, οι δασικές πυρκαγιές ευθύνονται για το 0,2% των Ευρωπαϊκών εκπομπών οξειδίων του αζώτου ενώ κατά 0,5%, 0,2%, 1,9%, 1,2% και 0,1% για τις εκπομπές NMVOC, μεθανίου (CH_4), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξειδίου του αζώτου (N_2O) και αμμωνίας (NH_3) αντίστοιχα. Παρόλα αυτά στην Ελλάδα το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών είναι αρκετά συχνό ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο έτσι, ώστε οι εκπομπές αερίων ρύπων που προέρχονται από αυτές να μην μπορούν να παραληφθούν από ένα μητρώο εκπομπών, που βασίζεται στη διεθνή βιβλιογραφία. Το έτος 1997 για παράδειγμα ξέσπασαν στην Ελλάδα 2.271 πυρκαγιές, οι οποίες έκαψαν συνολική έκταση 377.766 στρεμμάτων, από την οποία το 33,3% ήταν δασική, το 44,7% μερικώς δασοσκεπής και το 21,9% βοσκότοποι, ενώ μόνο το 6,3% (από τις 857 πυρκαγιές για τις οποίες οι λόγοι είναι γνωστοί) οφείλεται σε φυσικά αίτια. Στο κεφάλαιο αυτό ασχολούμαστε μόνο με φωτιές (φυσικές ή από τον άνθρωπο) διαχειριζόμενων και μη δασικών οικοσυστημάτων και εκτάσεων άλλου τύπου βλάστησης, ενώ δεν συμπεριλαμβάνουμε φωτιές αγροτικής πρακτικής π.χ. κάψιμο καλαμιών.

Σε μεγαλύτερες ποσότητες εκπέμπονται το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί λόγω της καύσης βιομάζας. Επιπλέον παράγεται ένας μεγάλος αριθμός αιωρούμενων σωματιδίων και ενώσεων της αέριας φάσης, που περιλαμβάνουν το μονοξείδιο του άνθρακα και τους NMHCs (μη μεθανικοί υδρογονάνθρακες – non methanic hydrocarbons) που είναι προϊόντα ατελούς καύσης, όπως και οι ενώσεις του θείου και του αζώτου. Οι εκπομπές των ενώσεων του θείου και του αζώτου οφείλονται στο θείο και στο άζωτο που περιέχεται στη βλάστηση, στο οργανικό υλικό του εδάφους όπως και στην επανεξάτμιση πτητικών ενώσεων που έχουν εναποτεθεί στη βλάστηση και το έδαφος. Κατά τη διάρκεια πυρκαγιών εκπέμπονται ακόμα υδρογόνο (H_2), καρβονυλικό σουλφίδιο (COS) και χλωρομεθάνιο (CH_3Cl), τα οποία ωστόσο δε λαμβάνονται υπόψη στην απογραφή καθώς δεν αντιδρούν στην

τροπόσφαιρα, αλλά παρουσιάζουν υψηλή δραστικότητα στη στρατόσφαιρα. Επιπλέον έχουν μετρηθεί ελάχιστες εκπομπές μεθανοθειικών ενώσεων (MSA), αλδεϋδών και οργανικών οξέων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις εκπομπές κατά τις πυρκαγιές, οι ποσότητες των ρύπων που εκπέμπονται από μια καμένη δασική έκταση είναι υψηλότερες σε σχέση με τα κανονικά τους επίπεδα. Επιπρόσθετα πέρα από τους παραπάνω ρύπους (προϊόντα καύσης) είναι πιθανή η απελευθέρωση από το έδαφος και τη βλάστηση και άλλων χημικών ενώσεων, όταν η περιοχή που καίγεται είναι ρυπασμένη. Τέλος κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ελευθερώνεται στην Ατμόσφαιρα ένα μεγάλο ποσό θερμότητας, το οποίο μεταβάλλει τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση του οριακού στρώματος, μεταβάλλοντας έτσι και τη θερμοδυναμική συμπεριφορά του. Η θερμότητα αυτή προσροφάται στους εκπεμπόμενους ρύπους επηρεάζοντας τόσο τη διάχυση και τη δραστικότητα τους αλλά και γενικότερα επηρεάζει το κλίμα και όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο.

Οι εκπομπές υπολογίζονται σε δυο βήματα:

1. Εκτίμηση των εκπομπών άνθρακα από την καμένη έκταση,
2. Εκτίμηση των εκπομπών άλλων αέριων ιχνοστοιχείων με τη χρήση συντελεστών εκπομπής, αναφορικά ως προς τις εκπομπές άνθρακα.

Ο βασικός υπολογισμός της μάζας του άνθρακα που εκπέμπεται, $M(C)$, ακολουθεί την εξής μεθοδολογία:

$$M(C) = 0,45 \times A \times B \times \alpha \times \beta \quad (7-2)$$

όπου: 0,45 η μέση περιεκτικότητα του καύσιμου ξύλου σε άνθρακα,
 A η έκταση της περιοχής που καίγεται (m^2),
 B μέση ολική βιομάζα καύσιμου υλικού ανά μονάδα επιφάνειας (kg/m^2),
 α το κλάσμα (άνω της μέσης τιμής) της βιομάζας που βρίσκεται πάνω από το έδαφος και
 β η απόδοση καύσης της βιομάζας που βρίσκεται πάνω από το έδαφος (δηλαδή το ποσοστό αυτής που καίγεται).

Τιμές για τα B , α και β δίνονται στον Πίνακα 7-8 για διάφορους τύπους δασικών οικοσυστημάτων.

Πίνακας 7-8: Χαρακτηριστικά βιομάζας για την εκτίμηση των εκπομπών από δασικές πυρκαγιές (Πηγή: EMEP/CORINAIR, 2001).

Είδος δασικού οικοσυστήματος	Βιομάζα (kg/m^2)	Κλάσμα βιομάζας πάνω από το έδαφος	Απόδοση καύσης
	B	α	β
Βόρεια Δάση	25,0	0,75	0,20
Εύκρατα Δάση	35,0	0,75	0,20
Μεσογειακά Δάση ⁽¹⁾	15,0	0,75	0,25
Θαμνότοπος ⁽²⁾	7,5	0,64	0,50
Λιβάδι (Στέπα) ⁽²⁾	2,0	0,36	0,50
Σημείωση: Όλα τα παραπάνω στοιχεία δίνονται από τους Seiler και Crutzen (1980) εκτός των:			

⁽¹⁾: νέα κατηγορία δάσους, μικρότερης πυκνότητας βιομάζας

⁽²⁾: δεν αποτελεί αντικειμενική εκτίμηση αφού προκύπτει από την υπόθεση ότι η απόδοση καύσης των Ευρωπαϊκών θαμνότοπων και στεπών είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή σε τροπικές περιοχές, για τις οποίες οι Seiler και Crutzen πρότειναν την τιμή 0,8.

Η εκπομπή κάθε ρύπου χωριστά υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την παραγόμενη μάζα άνθρακα με τον κατάλληλο συντελεστή εκπομπής αναφορικά ως προς τον άνθρακα. Οι συντελεστές εκπομπής δίνονται στον Πίνακα 7-9.

Πίνακας 7-9: Συντελεστές εκπομπής για καύση βιομάζας, αναφορικά ως προς τον άνθρακα που εκπέμπεται, ως CO₂ (Πηγή: CORINAIR, 2001).

	moles X ανά 100 moles CO ₂ που εκπέμπεται			g X/kg C που εκπέμπεται ως CO ₂
	Μετρήσεις Πεδίου	Εργαστηριακές Μελέτες	Βέλτιστη Προσέγγιση	Βέλτιστη Προσέγγιση
CO	6,5 – 140	59 – 105	100	230
CH ₄	6,2 – 16	11 – 16	11	15
NMHCs	6,6 – 11	3,4 – 6,8	7	21
NO _x	2 – 8	0,7 – 1,6	2,1	8
NH ₃	0,9 – 1,9	0,08 – 2,5	1,3	1,8
N ₂ O	0,18 – 2,2	0,01 – 0,05	0,1	0,4
SO _x	0,1 – 0,34	-	0,3	1,6

Σημείωση: Η μέση μάζα των NMHC θεωρείται 37 σύμφωνα με την κατανομή του Radke κ.α., 1991
Τα NO_x ως NO₂ και τα SO_x ως SO₂
Πηγή: Andreae, 1991

Όσον αφορά στις εκπομπές NMHC έχει εκτιμηθεί πως αποτελούνται από 35% C₃H₆, 30% C₂H₆, 16% C₂H₂, 14% C₃H₈, 5% n-C₄H₁₀ (κατά βάρος).

Στον πίνακα 7-10 δίνονται οι δασικές εκτάσεις της χώρας συνολικά, καθώς και οι εκτάσεις που αποτεφρώθηκαν από τις πυρκαγιές τα τελευταία 30 χρόνια (Πηγή: National Statistical Service, 2000).

Πίνακας 7-10: Οι δασικές εκτάσεις της Ελλάδας και εκτάσεις που κάηκαν λόγω πυρκαγιών σε αυτές.

	1971	1981	1991	1999	2000
Συνολική Δασική έκταση (χιλιάδες στρέμματα)	29.674,6	29.510,9	29.378,1	29.378,1	29.378,1
Δασικές πυρκαγιές (στρέμματα)	103.627	814.173	235.737	190.400	1.619.572

Το 2000 στην Ελλάδα κάηκαν 1.619.572 στρέμματα δασικών εκτάσεων. Σύμφωνα με τις δυο μεθοδολογίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω και χρησιμοποιώντας τους συντελεστές για μεσογειακά δάση προκύπτει πως πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εκπομπές αέριων ρύπων (Πίνακας 7-11).

Πίνακας 7-11: Εκπομπές ρύπων από τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα το 2000.

Ρύπος	Ποσότητα (τόννοι)
-------	-------------------

CO ₂	-
CO	471
CH ₄	30,75
NM VOC	43
NO _x	16,4
NH ₃	3,69
N ₂ O	0,82
SO _x	3,28

7.4.6 Εκπομπές από Υγρότοπους

Υγρότοπος θεωρείται κάθε φυσικός ή τεχνητός τόπος που καλύπτεται εποχιακά ή μόνιμα από νερά (ρηχά ρέοντα ή στάσιμα) ή και που αν δεν καλύπτεται από νερά έχει υπόστρωμα (έδαφος, άμμο, χαλίκια) υγρό για μεγάλο διάστημα του έτους. Το έδαφος πρέπει να διατηρείται κορεσμένο σε νερό για τόσο διάστημα, ώστε να αναπτύσσονται μεθανογόνοι πληθυσμοί και να εκπέμπεται μεθάνιο από αυτό. Στους υγροτόπους περιλαμβάνονται ρηχές λίμνες και ρηχά ποτάμια (βάθους ως 2 m), έλη, λιμνοθάλασσες, πηγές, τυρφώνες με γλυκό ή αλμυρό νερό, περιοχές με ή κοντά σε θαλασσινό νερό που το βάθος τους δεν ξεπερνά τα 6 μέτρα. Δεν περιλαμβάνονται ωστόσο οι αγροτικοί υγρότοποι, όπως οι περιοχές που καλλιεργείται ρύζι.

Οι υγρότοποι διακρίνονται ανάλογα με το είδος της βλάστησης, το οποίο επηρεάζει την ποσότητα του διαθέσιμου οργανικού υποστρώματος και τη μεταφορά μεθανίου, με την εποχή πλημμύρας ή θέρμανσης/τήξης και με τη ροή ύδατος σε 7 κατηγορίες:

1. *Βούρκος (Bog)*: τυρφώνας, συνήθως με βλάστηση αποτελούμενη από βρυοτύρφη. Κάποιες φορές περικλείεται από βόρειου τύπου δάσος, ενώ το νερό προέρχεται μόνο από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις.
2. *Βάλτος (Fen)*: τυρφώνας όπου το νερό ρέει διαμέσου του συστήματος. Περιέχει συνήθως πόες και σπαθόχορτα μαζί με βρυοτύρφη. Ο βάλτος είναι λιγότερο όξινος από τους βούρκους και με μεγαλύτερη παραγωγικότητα.
(Τα είδη βούρκου και βάλτου είναι τα κύρια είδη υγροτόπων σε βόρειες περιοχές, όπου επικρατεί ο τύπος οικοσυστήματος τούνδρα.)
3. *Έλη (Swamps)*: δασικοί υγρότοποι με λιγότερο συσσωρευμένο οργανικό φορτίο από ότι οι βούρκοι. Συνήθως βρίσκονται σε εύκρατες ή τροπικές περιοχές.
4. *Βάλτος (Marsh)*: υγρότοπος με πόες, σπαθόχορτα και καλάμια.
5. *Πλημμυρισμένη πεδιάδα (Flood plain)*: είναι η περιοχή γύρω από ποτάμια ή λίμνες που καλύπτεται εποχιακά από νερό εξαιτίας της ανόδου της στάθμης τους (όχθες). Οι πλημμυρισμένες πεδιάδες αποτελούν σημαντικές πηγές μεθανίου κυρίως στη Νότια Αμερική και την Αφρική.
6. *Αβαθής λίμνη (Shallow lake)*: είναι ένας όγκος ύδατος αρκετά θερμός για την παραγωγή μεθανίου στα ιζήματα του πυθμένα και αρκετά ρηχός (< 2m) έτσι ώστε να μπορεί αυτό να διαφεύγει από την επιφάνεια. Τα κανάλια, όπως οι αγροτικές γούρνες, ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία αν και δε θεωρούνται φυσικές πηγές.

Από τους υγρότοπους εκπέμπονται μεθάνιο, βιογενή θειούχα αέρια (COS, DMS, H₂S, CS₂), οργανικές πτητικές ενώσεις (VOC), CO₂ και μικρές ποσότητες οξειδίου του αζώτου (N₂O). Το μεθάνιο είναι ωστόσο το μόνο αέριο που εκπέμπεται σε ικανές ποσότητες παγκοσμίως. Ειδικότερα, έχει εκτιμηθεί ότι οι υγρότοποι ευθύνονται για το 20% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου, δηλαδή περίπου για 100–110 Tg μεθανίου (CH₄) ετησίως (EMEP/CORINAIR, 2002). Πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα στην πραγματικότητα επιστρέφει ξανά στο έδαφος καθώς οι υγρότοποι αποτελούν σημαντικές καταβόθρες άνθρακα.

Ο άνθρωπος επεμβαίνει στους υγρότοπους με σκοπό τη διαχείριση των πόρων τους. Έτσι μπορούν να ξηρανθούν για αγροτική εκμετάλλευση, να θεριστούν ή να διατηρηθούν ως φυσικές κατοικίες άγριας πανίδας, να χρησιμοποιηθούν για επεξεργασία του ύδατος ή των λυμμάτων (φυσικά συστήματα) ή να μετατραπούν κατάλληλα για εναποθήκευση και μεταφορά ύδατος. Οι δράσεις αυτές επηρεάζουν την εκπεμπόμενη ποσότητα των ρύπων από τους υγρότοπους.

Οι σημαντικότερες ενώσεις που εκπέμπονται από τους υγρότοπους είναι:

7.4.6.1 Μεθάνιο (CH₄)

Το μεθάνιο παράγεται από αναερόβια μεθανιογόνα βακτήρια στο έδαφος και διαρρέει στην Ατμόσφαιρα μέσω των φυτών και του νερού. Το βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ο τύπος της βλάστησης, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τα διαθέσιμα υποστρώματα, όπως και οι τοπικές κλιματικές συνθήκες είναι παράμετροι που επηρεάζουν την παραγωγή και εκπομπή μεθανίου. Περίπου το 10-40% του παραγόμενου μεθανίου εκπέμπεται στην Ατμόσφαιρα.

Οι εκπομπές ποικίλουν σε ποσότητα ανάλογα με την εποχή του έτους. Συνήθως οι εκπομπές ακολουθούν αναλογικά τη θερμοκρασία του εδάφους και παρατηρούνται κυρίως κατά την εποχή ανάπτυξης της βλάστησης. Συνεπώς οι εκπομπές αυξάνονται, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 0°C, αλλά πραγματοποιούνται και από παγωμένα εδάφη σε ελάχιστες όμως ποσότητες. Ειδικότερα για τα είδη βούρκου και βάλτου οι μεγαλύτερες εκπομπές παρατηρούνται μεταξύ Ιουνίου και Σεπτεμβρίου, όταν υπάρχει τήξη του πάγου, ενώ για τους εποχιακούς υγρότοπους και τις όχθες των ποταμών έχουμε μεγαλύτερες εκπομπές κατά την υγρή περίοδο. Πρέπει ακόμη να σημειωθεί, ότι οι εκπομπές μπορούν να διαφέρουν και μεταξύ περιοχών του ίδιου υγροτόπου ανάλογα με τη βαθμίδα της υγρασίας.

Οι εκπομπές μεθανίου μπορούν να υπολογιστούν με την παρακάτω σχέση:

$$W_{CH_4} = \sum_i^7 (A_i F_i S_i \cdot cf) \quad (7-3)$$

όπου: W_{CH_4} η εκπομπή μεθανίου (σε μονάδες μάζας)
 $i = 1, \dots, 7$, οι 7 κατηγορίες υγροτόπων

- A_i η έκταση κάθε τύπου υγροτόπου (m^2)
 F_i η μέση εποχιακή ροή σε μονάδες μάζας ανά έκταση και μονάδα χρόνου, συνήθως $mg\ CH_4/m^2$ μέρα
 S_i η διάρκεια της εποχής που πραγματοποιείται η εκπομπή
 cf ο συντελεστής για μετατροπή μονάδων.

Όσον αφορά στη μέση εποχιακή ροή, F_i , μπορεί να υπολογιστεί με μετρήσεις πεδίου ή να χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές της, όπως δίνονται στον Πίνακα 7-12.

Πίνακας 7-12: Μέση εποχιακή ροή μεθανίου από υγροτόπους ανάλογα την κλιματική ζώνη που ανήκουν.

Κλιματική Ζώνη	Όρια ζώνης (γ.π.)	Ροή ανά τύπο Υγροτόπου (mg/m^2 μέρα)				
		Βούρκος και βάλτος	Βάλτος	Έλος	Πλημμυρισμένη πεδιάδα	Αβαθής λίμνη
Αρκτική	60° - 90°	96				
Βόρεια	45° - 60°	87	87	87		35
Εύκρατη	20° - 45°	135	70	75	48	60
Τροπική	0° - 20°	199	233	165	182	148

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά στοιχεία του ΕΚΒΥ η Ελλάδα διαθέτει 378 υγροτόπους που καλύπτουν έκταση 2.000.000 στρεμμάτων ενώ κατά την απογραφή ρύπων από το CORINAIR-94 εκτιμήθηκε πως εκπέμπουν 10,7 Gg CH_4 ετησίως.

7.4.6.2 Βιογενή θειούχα αέρια

Τα φυσικά θειούχα αέρια όπως το καρβονυλικό σουλφίδιο (COS), τα διμεθυλικά σουλφίδια (DMS), το υδρόθειο (H_2S) και ο διθειάνθρακας (CS_2) εκπέμπονται από υφάλμυρους και με υψηλής περιεκτικότητας σε θείο υγροτόπους. Συνήθως αποτελούν το προϊόν αναερόβιας μικροβιακής δραστηριότητας. Μεταξύ άλλων παράγονται από αναερόβιους μικροοργανισμούς χημικές ενώσεις από την αναγωγή του θειικού άλατος (όπως το υδρόθειο H_2S) ή από άλγη και άλλα φυτά ενώσεις όπως το διμεθυλικό σουλφίδιο (DMS). Τα βακτήρια που παράγουν θειούχα αέρια ανταγωνίζονται τα μεθανιογόνα, με αποτέλεσμα η παραγωγή μεθανίου να αναστέλλεται από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων.

Το 2% των βιογενών θειούχων αερίων προέρχεται από υγρότοπους. Οι εκπομπές αυτές αντιστοιχούν σε 5-12 Tg S/yr από τις ολικές εκπομπές των 310Tg S/yr παγκοσμίως. Παραταύτα οι θειούχες εκπομπές από υγροτόπους είναι ελάχιστες συγκριτικά με αυτές άλλων πηγών και έτσι δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης στη βιβλιογραφία.

7.4.6.3 NMHCs (Υδρογονάνθρακες εκτός του μεθανίου)

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν πως οι υγρότοποι με φυτοκάλυψη θάμνων εκπέμπουν ισοπρένιο, μονοτερπένιο και συγκεκριμένους ελαφρούς υδρογονάνθρακες, κυρίως αιθένιο και προπένιο. Σε μελέτες που έγιναν στη

Σουηδία και Φινλανδία οι εκπομπές βρέθηκαν υψηλές κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά μηδενικές ή ελάχιστες κατά τη διάρκεια της νύχτας, πιθανόν εξαιτίας της απουσίας ηλιακής ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει και με τις αντίστοιχες εκπομπές από φυλλώδη βιομάζα. Οι εκπομπές ξεκινούν αμέσως μετά το λιώσιμο των πάγων την Άνοιξη και διαρκούν ως την αρχή της χειμερινής περιόδου. Τον Αύγουστο οι εκπομπές είναι περισσότερες από ότι τον Ιούνιο. Περισσότερες λεπτομέρειες όσον αφορά στην εποχιακή διακύμανση δεν υπάρχουν αλλά η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους μαζί με την ηλιακή ακτινοβολία θεωρούνται οι κύριοι παράμετροι όσον αφορά στην ποσότητα των εκπομπών (Simpson κ.α., 1999).

Οι εκπομπές NMHC από υγρότοπους πραγματοποιούνται με ρυθμό $600 \mu\text{g C/m}^2 \text{ h}$, ενώ το 10-50% της έκτασης ενός τυρφώνα εκπέμπει ισοπρένιο (Simpson κ.α., 1999). Έτσι υπολογίστηκε ότι στην Ελλάδα παράγονται από υγροτόπους λιγότερο από 0,01 Gg ισοπρενίου ετησίως.

7.4.7 Εκπομπές φυσικών ρύπων από άλλες πηγές

7.4.7.1 Εκπομπή διμεθυλικού σουλφιδίου (DMS) από τη θάλασσα

Η θάλασσα έχει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον παγκόσμιο βιογεωχημικό κύκλο του θείου. Στα επιφανειακά στρώματα των ωκεανών παράγονται πτητικάθειούχα αέρια, όπως DMS (CH_3SCH_3), υδρόθειο (H_2S), δισουλφίδιο του άνθρακα (CS_2) και COS (καρβονυλικόθειούχο άλας), μέσω βιολογικών και φωτοχημικών οδών. Από τα παραπάνω αέρια, το CH_3SCH_3 έχει βρεθεί πως αποτελεί την κύρια πηγή αερίου θείου πάνω από τους ωκεανούς ενώ συνιστά το 90% του ανηγμένου θείου στα επιφανειακά στρώματα των υδάτων.

Το CH_3SCH_3 παράγεται βιολογικά από το φυτοπλαγκτόν. Προέρχεται από το DMSP (β-dimethylsulfoniopropionate), το οποίο θεωρείται ότι ρυθμίζει την όσμωση των κυττάρων του φυτοπλαγκτόν και εμποδίζει την ψύξη των υδάτων στις πολικές περιοχές. Στην Ατμόσφαιρα το CH_3SCH_3 εκπέμπεται μέσω της ανταλλαγής θάλασσας-αέρα και ακολουθεί ταχεία οξείδωσή του, που τελικά οδηγεί στο σχηματισμό αιωρούμενων σωματιδίων θειικής ρίζας. Τα θειικά αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν το δεύτερο σημαντικότερο θειούχο συστατικό που εκπέμπεται από τη θάλασσα (σημαντικότερη πηγή θείου από τη θάλασσα αποτελούν τα αιωρούμενα σωματίδια θαλασσινού αλατιού). Επίσης η θειική ρίζα επηρεάζει την οξύτητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων και δρα ως πυρήνας συμπύκνωσης νεφών (CCN). Έτσι επηρεάζει το μέγεθος των σταγονιδίων στα νέφη και την ανακλαστική τους ικανότητα με άμεσες συνέπειες στο ισοζύγιο της πλανητικής ακτινοβολίας.

Οι μετρήσεις της περιεκτικότητας των επιφανειακών υδάτων σε CH_3SCH_3 δίνουν μια σημαντική διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης ανάλογα με την εποχή του έτους. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ οι μικρότερες το χειμώνα. Η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων μεταξύ άνοιξης και χειμώνα αυξάνεται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

Η απογραφή των εκπομπών CH_3SCH_3 στην Ατμόσφαιρα είναι σημαντική τόσο για τον καθορισμό της σχετικής συνεισφοράς των φυσικών και των ανθρωπογενών εκπομπών στις χημικές αντιδράσεις και ιδιαίτερα σε αυτή των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, όσο και στη διερεύνηση του πιθανού ρόλου του ως ρυθμιστή στον καθορισμό του κλίματος της γης.

Οι πρώτες προσπάθειες εκτίμησης των εκπομπών CH_3SCH_3 στην Ατμόσφαιρα έγιναν βάσει ισοζυγίων μάζας και υπολογίστηκαν σε 32 Tg S ανά έτος. Πρόσφατες εκτιμήσεις έδωσαν 15 Tg S ανά έτος από τα οποία τα 141 Gg προέρχονται από την Μεσόγειο θάλασσα.

Η ροή αερίων διαμέσου της διεπιφάνειας θάλασσας-αέρα εκτιμάται συνήθως υποθέτοντας ότι είναι ανάλογη της παραγώγου της διαφοράς συγκεντρώσεων στη διεπιφάνεια και ενός συντελεστή μεταφοράς:

$$F = -\Delta C \cdot K_w \quad (7-4)$$

Όπου ΔC είναι η διαφορά των συγκεντρώσεων που αποτελεί τη δρώσα δύναμη του φαινομένου, K_w η ταχύτητα μεταφοράς και τέλος

$$\Delta C = (C_a / H - C_w) \quad (7-5)$$

Όπου H είναι η σταθερά του Henry. Τα a και w αναφέρονται στον αέρα και το νερό αντίστοιχα.

Για το CH_3SCH_3 έχει βρεθεί πως οι συγκεντρώσεις του στο θαλασσινό αέρα είναι τουλάχιστο κατά δύο τάξεις μεγέθους μικρότερες σε σχέση με αυτές του ισοζυγίου με το θαλασσινό νερό. Το παραπάνω υποδεικνύει ότι η επιφάνεια της θάλασσας είναι υπέρκορη, όσον αφορά το CH_3SCH_3 , με αποτέλεσμα τη ροή του προς την Ατμόσφαιρα. Αφού ελευθερωθεί στην Ατμόσφαιρα η συγκέντρωση της σταθερής κατάστασής του παραμένει μικρή λόγω της ταχείας αντίδρασης του με οξειδωτικές ρίζες. Έτσι η ροή του CH_3SCH_3 από τη θάλασσα στην Ατμόσφαιρα υπολογίζεται τελικά από τη σχέση:

$$F = C_w \cdot K_w \quad (7-6)$$

Ο συντελεστής μεταφοράς K_w θεωρείται πως εξαρτάται από το κινηματικό ιξώδες, τη μοριακή διαχυτότητα, την ταχύτητα του ανέμου και τη θερμοκρασία των θαλάσσιων υδάτων. Ωστόσο δεν έχει βρεθεί ο ακριβής τρόπος εξάρτησής του από τις παραπάνω παραμέτρους και ο υπολογισμός του ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα. Στη βιβλιογραφία έχουν διαμορφωθεί βάσει πειραμάτων και μετρήσεων σε ανεμοσήραγγα οι παρακάτω εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό της ταχύτητας μεταφοράς:

$$K_w = \begin{cases} 0,17 \cdot u & (u \leq 3,6) \\ 2,85 \cdot u - 9,65 & (3,6 < u \leq 13) \\ 5,9 \cdot u - 49,3 & (u > 13) \end{cases} \quad (7-7)$$

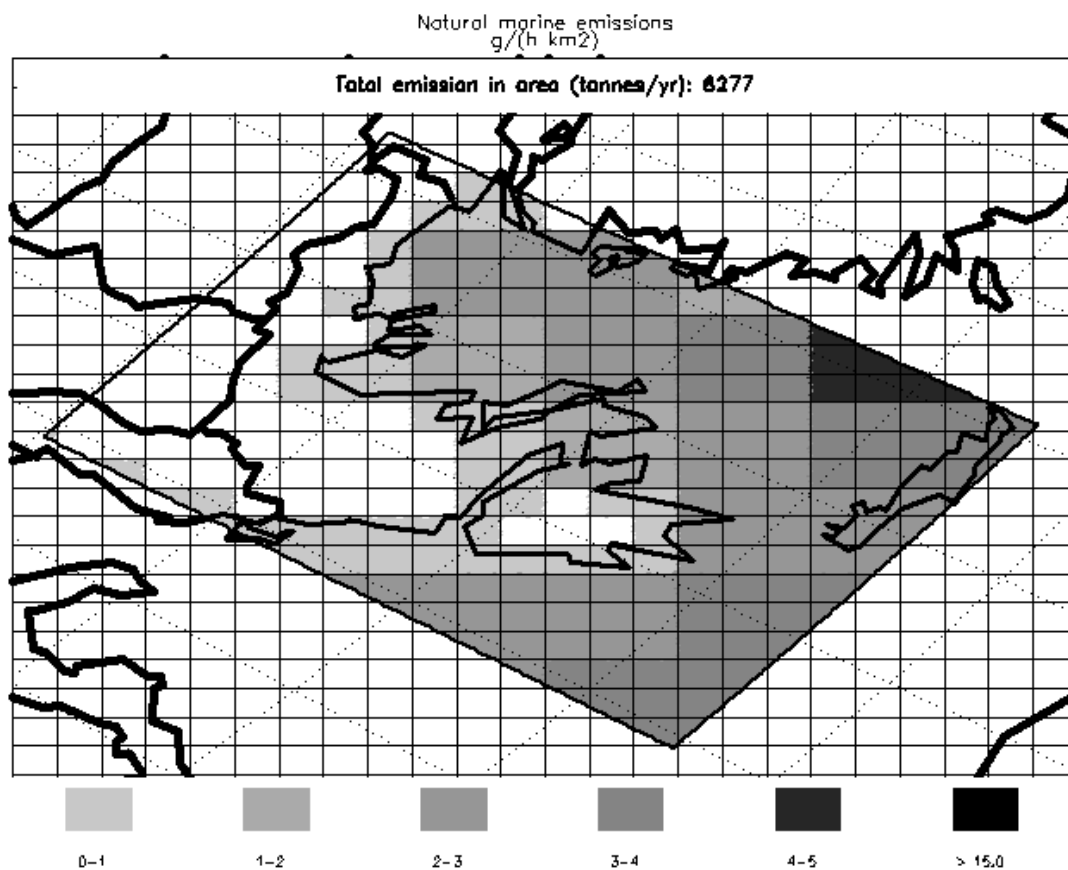
όπου u η ταχύτητα του ανέμου στα 10m σε m/sec και η τιμή του K_w σε cm/h.

Η παραπάνω σχέση ισχύει για αέρια με αριθμό Schmidt $Sc = 600$ στους 20°C , ο οποίος δίνει την αναλογία των ρυθμών μεταφοράς ορμής (κινηματικό ιξώδες) προς μάζας (μοριακή διαχυτότητα) στο νερό. Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση ο συντελεστής μεταφοράς K_w για ταχύτητες ανέμου μικρότερες των 3,6 m/sec είναι ανάλογος του $Sc^{-2/3}$ ενώ για μεγαλύτερες ανάλογος του $Sc^{-1/2}$. Ο αριθμός Schmidt ενός αερίου μειώνεται με τη θερμοκρασία, άρα η ροή του CH_3SCH_3 προς την Ατμόσφαιρα αυξάνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Στη Μεσόγειο θάλασσα η μέση μηνιαία συγκέντρωση σε CH_3SCH_3 των υδάτων έχει υπολογιστεί και δίνεται στον Πίνακα 7-13.

Πίνακας 7-13: Μηνιαία συγκέντρωση CH_3SCH_3 στη Μεσόγειο θάλασσα.

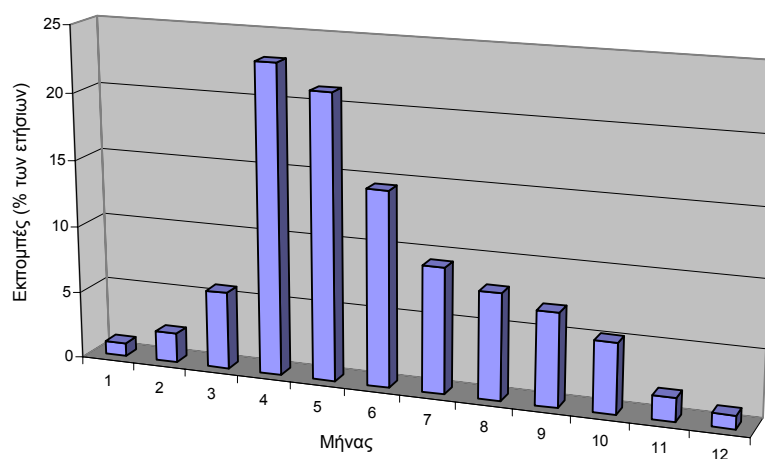
Μήνας	Συγκέντρωση DMS (ng S/l)
Ιανουάριος	10
Φεβρουάριος	20
Μάρτιος	40
Απρίλιος	220
Μάιος	250
Ιούνιος	190
Ιούλιος	100
Αύγουστος	80
Σεπτέμβριος	60
Οκτώβριος	50
Νοέμβριος	20
Δεκέμβριος	10

Οι παραπάνω εξισώσεις δεν μπορούν άμεσα να εφαρμοστούν για την εκτίμηση των εκπομπών CH_3SCH_3 στην Ελλάδα, αφού ο αριθμός Schmidt δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από τη θερμοκρασία των υδάτων. Για τον ελληνικό χώρο η εκτίμηση των εκπομπών θείου (από το CH_3SCH_3) υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία EMEP (Σχήμα 7-12).



Εικόνα 7-12: Εκπομπές DMS στον Ευρύτερο Ελληνικό χώρο

Η διακύμανση των μηνιαίων εκπομπών, φαίνεται στο σχήμα 7-13.



Εικόνα 7-13: Μηνιαία διακύμανση των εκπομπών του CH_3SCH_3 στην Ελλάδα (Το 1 αντιστοιχεί στον Ιανουάριο και το 12 στο Δεκέμβριο).

7.4.7.2 Εκπομπή οξειδίων του αζώτου από αστραπές

Το ηλεκτρικό φορτίο των αστραπών κατά τη διάρκεια των καταιγίδων προκαλεί χημικές αντιδράσεις στην Ατμόσφαιρα. Οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα σε υψηλά επίπεδα ηλεκτρικής τάσης και θερμοκρασίας και παράγουν οξείδια του αζώτου. Τα στοιχεία που εμπλέκονται στη διεργασία αυτή είναι κυρίως το άζωτο (N_2) και το οξυγόνο (O_2) που αποτελούν συστατικά της Ατμόσφαιρας. Έτσι τυπικά οι ποσότητες οξειδίων του αζώτου που παράγονται με αυτό τον τρόπο δεν μπορούν να θεωρηθούν εκπομπές. Ωστόσο, επειδή οι διεργασίες αυτές είναι δύσκολο να περιγραφούν σε συμβατικά ατμοσφαιρικά μοντέλα και οι επιδράσεις τους είναι ίδιες με αυτές των ανθρωπογενών εκπομπών, μπορούν να συγκριθούν ποσοτικά με αυτές και να αντιμετωπιστούν ως εκπομπές.

Σύμφωνα με τα παραπάνω έχουν γίνει προσπάθειες εκτίμησης των παραγόμενων ποσοτήτων οξειδίων του αζώτου από τις αστραπές. Στην επιστημονική βιβλιογραφία δίνεται μια μεγάλη ποικιλία συντελεστών εκπομπής που προέρχονται τόσο από εργαστηριακές μελέτες όσο και από μετρήσεις πεδίου. Για παράδειγμα μια αστραπή μπορεί να δώσει σε κλίμακα χαμηλού, μεσαίου και υψηλού επιπέδου εκπομπής $0,36 \times 10^{26}$, 4×10^{26} και 30×10^{26} μόρια NO , ενώ σύμφωνα με μια παγκόσμια εκτίμηση, βασισμένη σε παγκόσμια μοντέλα και παρατηρήσεις από διάφορες περιοχές έχουμε κατά μέσο όρο $0,36 \times 10^{26}$ μόρια μονοξειδίου του αζώτου ή $0,84 \text{ kg N}$ ανά αστραπή. Σε παγκόσμιο επίπεδο η παραγωγή οξειδίων του αζώτου από αστραπές έχει εκτιμηθεί σε 3–5 Tg N/yr και αποτελεί το 3% των συνολικών εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Ειδικότερα για την Ελλάδα μια πρόσφατη εκτίμηση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου από αστραπές έδωσε $0,04 \text{ Gg } NO_x$ ετησίως σε ύψος 1000m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Παρακάτω περιγράφεται η διεργασία παραγωγής οξειδίων του αζώτου από τις αστραπές και τα χαρακτηριστικά των εκπομπών. Ακόμα γίνεται μια εκτίμηση τους για την Ελλάδα σύμφωνα με την σύγχρονη μεθοδολογία που περιγράφεται στον «Οδηγό Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών» (EMEP/CORINAIR, 2002).

7.4.7.3 Διεργασία παραγωγής NO_x στην Ατμόσφαιρα από αστραπές

Το ηλεκτρικό φορτίο των αστραπών δημιουργεί διαύλους πλάσματος στην Ατμόσφαιρα που χαρακτηρίζονται από ισχυρό ιονισμό και υψηλή θερμοκρασία. Τα κύρια συστατικά της Ατμόσφαιρας, και ειδικότερα το άζωτο, το οξυγόνο και το νερό ιονίζονται και στη συνέχεια υφίστανται χημικό μετασχηματισμό. Έτσι μετατρέπονται κυρίως σε μονοξείδιο του αζώτου όπως και σε άλλες χημικές ενώσεις που περιλαμβάνουν άτομα αζώτου, οξυγόνου και υδρογόνου. Αν θεωρήσουμε πως αρχικά το προϊόν οξείδωσης είναι μονοξείδιο του αζώτου τότε περίπου το 25% αυτού μπορεί να μετατραπεί πολύ γρήγορα σε διοξείδιο του αζώτου.

Η παραγωγή οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από την ενέργεια και τη συχνότητα των αστραπών, οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από το

ύψος και τη θερμοκρασία των νεφών. Το ηλεκτρικό φορτίο των αστραπών καθορίζεται από το είδος τους. Οι αστραπές κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν συμβαίνουν από το νέφος προς το έδαφος (CG), από νέφος σε νέφος ή μέσα στο ίδιο το νέφος (ενδονεφιακοί και εσωνεφιακοί, IC), που παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Έχει βρεθεί, ότι το φορτίο των IC αστραπών μπορεί να είναι έως και δέκα φορές λιγότερο αποτελεσματικό στην παραγωγή μονοξειδίου του αζώτου σε σχέση με αυτό των CG. Ωστόσο από πιο πρόσφατες μελέτες προκύπτει, ότι τα φορτία τους είναι σχεδόν ίσα.

Πρέπει να τονιστεί επίσης, ότι οι IC αστραπές είναι πιο συχνές από τις CG. Ο λόγος τους έχει συσχετισθεί με την ψυχρή πυκνότητα του νέφους (ψυχρό νέφος είναι αυτό που βρίσκεται σε θερμοκρασία ψύξης). Η πυκνότητα του ψυχρού νέφους εκφράζει το μέγεθος του ηλεκτρικού πεδίου και αυτό με τη σειρά του καθορίζει το πλήθος των IC αστραπών. Ανεξάρτητα των υψηλών γενικά διακυμάνσεων αυτού του λόγου έχει βρεθεί, ότι ο λόγος αυτός εξαρτάται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες.

Τελικά το παραγόμενο μονοξείδιο του αζώτου ελαττώνεται με το ύψος και την πυκνότητα του αέρα, ενώ η υψηλή θερμοκρασία κατά την αστραπή (ως 30.000°K) και η επακόλουθη γρήγορη ψύξη (κάτω από τους 1500°K) είναι κρίσιμες μεταβλητές που καθορίζουν το σχηματισμό και τη σταθεροποίηση του μονοξειδίου του αζώτου.

Σύμφωνα με την οδηγία CORINAIR, σε μια απογραφή εκπομπών λαμβάνονται υπόψη μόνο οι αστραπές που συμβαίνουν στο στρώμα ανάμιξης της Ατμόσφαιρας, δηλαδή εντός των 1000m από την επιφάνεια της θάλασσας. Έχει υπολογιστεί στη βιβλιογραφία πως μόνο το 20% των οξειδίων του αζώτου που παράγονται από αστραπές στην Ατμόσφαιρα εκπέμπεται στο στρώμα ανάμιξης. Με βάση τα παραπάνω ένας απλός τρόπος υπολογισμού των εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου από αστραπές δίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$CG_{NO} = E \times M \quad (7-8)$$

όπου CG_{NO} είναι το μονοξείδιο του αζώτου που παράγεται από τις CG αστραπές, $E = 4 \times 10^8$ J/CG αστραπή και $M = 9 \times 10^{16}$ μόρια NO/J. Εκφράζοντας την παραπάνω σχέση σε μονάδες μάζας μπορούμε να υπολογίσουμε, ότι παράγονται 2,75 kg NO_x (ως NO₂) ανά αστραπή.

Το πλήθος των αστραπών σε μια περιοχή μπορεί να βρεθεί είτε με απευθείας μέτρηση τους, είτε με εκτίμηση βάσει των μετεωρολογικών συνθηκών και του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής. Από δίκτυα παρακολούθησης αστραπών και δορυφορικές παρατηρήσεις έχει εκτιμηθεί, ότι στην Ευρώπη λαμβάνουν χώρα κατά μέσο όρο 2 αστραπές/(km² yr). Σύμφωνα με τα παραπάνω στην Ελλάδα παράγονται κατά προσέγγιση 725.763 kg NO_x από αστραπές ετησίως, από τα οποία μόνο 145.152 kg εκπέμπονται στο οριακό στρώμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω εκτίμηση δεν περιλαμβάνει τις εκπομπές από αστραπές τύπου IC. Η μεθοδολογία για την εκτίμηση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου και από τους δύο τύπους αστραπών

περιγράφεται στον «Οδηγό Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών» (CORINAIR).

7.4.7.4 Εκπομπές από την άγρια πανίδα και τον άνθρωπο

Τα θηλαστικά (κυρίως τα μαρσιποφόρα και τρωκτικά) και οι τερμίτες αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής μεθανίου σε παγκόσμιο επίπεδο (CORINAIR, 2001). Ο άνθρωπος ειδικότερα εκπέμπει ρύπους με την αναπνοή και την εφίδρωση του. Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι εκπομπές από οικότροφα ζώα δεν υπολογίζονται ως βιογενείς ρύποι αλλά ως ανθρωπογενείς και συγκεκριμένα ανήκουν στον τομέα της αγροκτηνοτροφίας.

Αέρια παράγονται επίσης από τις μεταβολικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα τόσο μέσα στο ζώο όσο και στις εκκρίσεις του, σε μικρότερο όμως βαθμό. Ένας από τους τρόπους παραγωγής μεθανίου είναι η αναερόβια διάσπαση της κυτταρίνης των φυτικών τροφών τους από συμβιωτικούς μύκητες. Οι αναερόβιες διασπάσεις ευθύνονται επίσης για την εκπομπή αμμωνίας και N_2O , τα οποία όμως παράγονται από την αποσύνθεση της ουρίας και του ουρικού οξέος που βρίσκονται στα κόπρανα των ζώων. Ακόμη με τη μέθοδο αυτή εκπέμπονται VOCs, όπως ισοπρένιο, που είναι όμως ελάχιστα σε σχέση με τις ποσότητες που εκπέμπονται από τα φυτά.

Συνολικά οι εκπομπές μπορούν να υπολογιστούν πολλαπλασιάζοντας το πλήθος των ζώων με συντελεστές εκπομπής ανάλογους του βάρους τους. Οι συντελεστές για τα άγρια ζώα προέρχονται από μελέτες σε οικότροφα είδη, καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα για την εκτίμηση συντελεστών εκπομπής από τα ίδια. Έτσι η αβεβαιότητα στον υπολογισμό αυτών των εκπομπών είναι υψηλή. Στον πίνακα 7-14 δίνονται οι συντελεστές εκπομπής.

Πίνακας 7-14: Συντελεστές εκπομπής ρύπων από τον άνθρωπο και τα ζώα (Πηγή: ΕΜΕΡ/CORINAIR, 2002).

	Μέσο Βάρος (kg)	Συντελεστές εκπομπής (kg/άτομο/yr)	
		CH ₄	NH ₃
Ελάφι	100	25	1,1
Άλκη	350	50	2,2
Μικρόσωμο ελάφι	15	4	0,2
Αγριόχοιρος		1,5	1
Πτηνά	0,8		0,12
Μεγάλα πτηνά	2,4		0,36
Άνθρωπος		0,1	0,05

Οι παραπάνω εκπομπές κατανέμονται χωρικά ανάλογα το είδος των ζώων στις κατηγορίες χρήσης γης (δάσος και βοσκότοπος). Σύμφωνα με την απογραφή CORINAIR-94 στην Ελλάδα εκπέμπονται 0,01 Gg CH₄ από άγρια ζώα, και 1 Gg CH₄ και 0,41 Gg NH₃ (ως N) από τον άνθρωπο.

7.5 Διασυννοριακή ρύπανση

Η ποιότητα του αέρα μιας περιοχής/χώρας εξαρτάται από τις εκπομπές ρύπων τόσο στην ίδια όσο και από ποσότητες που φθάνουν σε αυτή λόγω της μεταφοράς των ρύπων από τον άνεμο. Έτσι για τη διαμόρφωση μιας συνολικής εικόνας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας χώρας πέρα από τη δημιουργία ενός μητρώου εκπομπών και τη χρήση μοντέλων διασποράς ρύπων απαιτούνται δεδομένα για τις ποσότητες ρύπων που φθάνουν σε αυτή από περιοχές εκτός των συνόρων της. Η ρύπανση της Ατμόσφαιρας μιας χώρας εξαιτίας της μεταφοράς ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις από πηγές που δεν ανήκουν στα διοικητικά της όρια ονομάζεται διασυνοριακή ρύπανση. Η διασυνοριακή ρύπανση αποτελεί αντικείμενο μελέτης στην Ευρώπη και αφορά κυρίως τη μεταφορά δευτερογενών ατμοσφαιρικών ρύπων μεταξύ των χωρών της.

7.5.1 Διασυνοριακή ρύπανση της Ατμόσφαιρας από εκπομπές ρύπων στην Ευρώπη

Οι ποσότητες των δευτερογενών ρύπων που μεταφέρονται στην Ελλάδα διασυνοριακά δίνονται από το EMEP. Οι εισαγόμενοι και εξαγόμενοι ρύποι υπολογίζονται μέσω ενός μοντέλου όξινης απόθεσης που έχει αναπτυχθεί στο EMEP. Οι ποσότητες των ρύπων που φθάνουν στη χώρα υπολογίζονται ως η διαφορά μεταξύ της συνολικής απόθεσης στην χώρα και της ενδογενούς απόθεσης. Στον Πίνακα 7-15 δίνονται οι ποσότητες δευτερογενών ρύπων που έφθασαν στην Ελλάδα το έτος 1998 και η αναλογία τους (σε ποσοστό %) με τη συνολική απόθεση του κάθε ρύπου στη χώρα.

Πίνακας 7-15: Εισαγόμενες ποσότητες ρύπων στην Ελλάδα το έτος 1998 (100 tn S ή N).

Οξειδωμένο S		Οξειδωμένο Άζωτο		Ανηγμένο Άζωτο	
Μάζα	%	Μάζα	%	Μάζα	%
1155	63	391	63	149	39

7.5.2 Σκόνη από τη Σαχάρα

Σημαντικό ρύπο για την Ελλάδα αποτελεί η σκόνη που φθάνει διασυνοριακά από την έρημο Σαχάρα. Η σκόνη επαναιωρείται λόγω του ανέμου και μεταφέρεται στη συνέχεια σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι μεγάλες ποσότητες σκόνης φθάνουν στην Ελλάδα δημιουργώντας μαζί με τις εγχώριες εκπομπές άμεσα (μείωση της ορατότητας) όσο και έμμεσα (αλληλεπιδράσεις με άλλα χημικά στοιχεία της Ατμόσφαιρας, όπως το όζον) προβλήματα.

Παραδείγματα και Εφαρμογές

Παράδειγμα 1: Μεθοδολογία εκτίμησης της παραγωγής σωματιδίων θαλασσινού άλατος

Αιωρούμενα σωματίδια θαλασσινού άλατος δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια του ωκεανού. Κατά τη θραύση των φυσαλίδων του αέρα στην επιφάνεια του νερού παράγονται μικρά σταγονίδια. Σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 10-12 m/sec φυσαλίδες αφρού αποσπώνται άμεσα από την κορυφή του κύματος και έτσι επικρατούν τα μεγάλου μεγέθους σωματίδια θαλασσινού άλατος.

Το μέγεθος των εκλυόμενων σωματιδίων εξαρτάται από τη σχετική υγρασία του αέρα και για τιμές μεταξύ 80 και 97% μπορεί να δοθεί από την παρακάτω σχέση (Fitzgerald, 1975):

$$r = \alpha r_d^\beta$$

όπου, r_d είναι η ακτίνα ξηρού σωματιδίου,

$$\beta = \exp\left(\frac{0.00077S}{1.009 - S}\right) \text{ και } \alpha = 1.62 \exp\left(\frac{0.066S}{\Phi - S}\right)$$

όπου S είναι η σχετική υγρασία (%) και $\Phi = 1.058$ για $S < 0.97$.

Στον πίνακα 7-16 δίνεται ο λόγος των ακτίνων υγρών και ξηρών σωματιδίων αλατιού r/r_d συναρτήσει της σχετικής υγρασίας του αέρα.

Πίνακας 7-16: Ο λόγος των ακτίνων υγρών και ξηρών σωματιδίων αλατιού από τη θάλασσα (r/r_d) συναρτήσει της σχετικής υγρασίας του αέρα.

RH%	80	85	90	95
r/r_d	2,0	2,1	2,4	3,0

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα, όταν η σχετική υγρασία στην Ατμόσφαιρα αγγίζει το 80%, τα σωματίδια απορροφούν τόση υγρασία ώστε το μέγεθος τους να διπλασιάζεται σε σχέση με αυτό του ξηρού σωματιδίου.

Η παραγωγή σωματιδίων θαλασσινού άλατος έχει περιγραφεί εμπειρικά από τον Monahan κ.α. (1986) μετά από εργαστηριακές μελέτες, τόσο για τον έμμεσο όσο και άμεσο μηχανισμό. Οι εξισώσεις, που προέκυψαν από τα παραπάνω πειράματα, δίνουν ικανοποιητικές τιμές ροής σωματιδίων για σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 7 μ m. Για σωματίδια μεγαλύτερα των 7 μ m η ροή (F) περιγράφεται καλύτερα από τον Smith κ.α. (1993). Συνολικά οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ροής σωματιδίων θαλασσινού αλατιού είναι οι παρακάτω τρεις:

(1) Monahan: Έμμεσος μηχανισμός (φίλμ και σταγονίδια) $r < 7\mu\text{m}$:

$$\frac{\partial F}{\partial r} = 1,373 U^{3,41} r^{-3} (1 + 0,057 r^{1,05}) 10^{1,19 e^{-B^2}}$$

όπου το B δίνεται από τη σχέση:

$$B = \frac{0,380 - \log r}{0,650}$$

(2) *Monahan*: Άμεσος μηχανισμός (φυσαλίδες αφρού για ταχύτητα ανέμου $> 10 \text{ m/sec}$) για $r < 7 \mu\text{m}$:

$$\frac{\partial F}{\partial r} = 6,45 - 4e^{2,08U} r^{-3} e^{-dval^2}$$

όπου η παράμετρος dval δίνεται από τη σχέση:

$$dval = 2,18 \cdot (1,88 - \log r)$$

(3) *Smith*: Άμεσος και Έμμεσος μηχανισμός για $r > 7 \mu\text{m}$, όπου η ροή δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\partial F}{\partial r} = \sum_{i=1}^2 A_i e^{-f_i \left(\ln \frac{r}{R_{0i}} \right)^2}$$

όπου: $f_1 = 3,1$

$f_2 = 3,3$

$R_{01} = 2,1 \mu\text{m}$

$R_{02} = 9,2 \mu\text{m}$

$\log A_1 = 0,0676U + 2,43$

$\log A_2 = 0,0959U^{1/2} - 1,476$

Στις παραπάνω σχέσεις η ροή των σωματιδίων F εκφράζεται σε σωματίδια/ m^2s , όπου U είναι η ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10 m από την επιφάνεια της θάλασσας, και r η διάμετρος του σωματιδίου.

Τέλος για την μετατροπή της ροής σε μονάδες μάζας, χρησιμοποιείται η πυκνότητα του ξηρού άλατος καθώς και τα ατομικά βάρη (AB) του νατρίου και του χλωρίου:

Νάτριο: $AB(\text{Na}) = 22,990 \text{ g/mole}$

Χλώριο: $AB(\text{Cl}) = 35,453 \text{ g/mole}$

Επίσης έχουμε για την πυκνότητα του ξηρού θαλασσινού άλατος τη σχέση:

$$\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$$

Για την εκτίμηση της εκπεμπόμενης ποσότητας θαλασσινού αλατιού χρησιμοποιήθηκε η παραπάνω μεθοδολογία. Οι υπολογισμοί ροής σωματιδίων, όπως περιγράφονται από τις εξισώσεις (5.3), (5.4) και (5.5), έγιναν για 20 διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων με ακτίνες από 0 μm – 10 μm σε βήματα των 0,5 μm . Για κάθε ομάδα μεγέθους η ροή μετατρέπεται σε μάζα. Η σχετική υγρασία θεωρείται πως είναι μεγάλη, $RH = 80\%$, πράγμα που ισχύει μόνο σε ένα πολύ λεπτό στρώμα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ σε ψηλότερα στρώματα στην τροπόσφαιρα η υγρασία είναι πολύ χαμηλότερη, τυπικά περίπου 20% για μια καθαρή καλοκαιρινή ημέρα στην Ελλάδα. Έτσι η ακτίνα του ξηρού σωματιδίου θεωρείται ίση με το 50%

της ακτίνας των εκπεμπόμενων σωματιδίων θαλασσινού άλατος. Αναλυτικότερα ο υπολογισμός ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- (1) Υπολογισμός της ακτίνας του ξηρού σωματιδίου: $r_d = 0,5 \text{ r}$
- (2) Εύρεση όγκου (m^3) και μάζας (kg) του ξηρού σωματιδίου από τις εξισώσεις:

$$V_d = \frac{4\pi}{3} r_d^3 \cdot 10^{-18} \text{ και } M_d = V_d \cdot \rho$$

- (3) Εκτίμηση της ροής σωματιδίων θαλασσινού άλατος από τις εξισώσεις (5.3), (5.4) και (5.5).

- (4) Υπολογισμός της ολικής εκπεμπόμενης μάζας σωματιδίων ακτίνας r , dr ($\frac{\text{g}}{\text{h}}$):

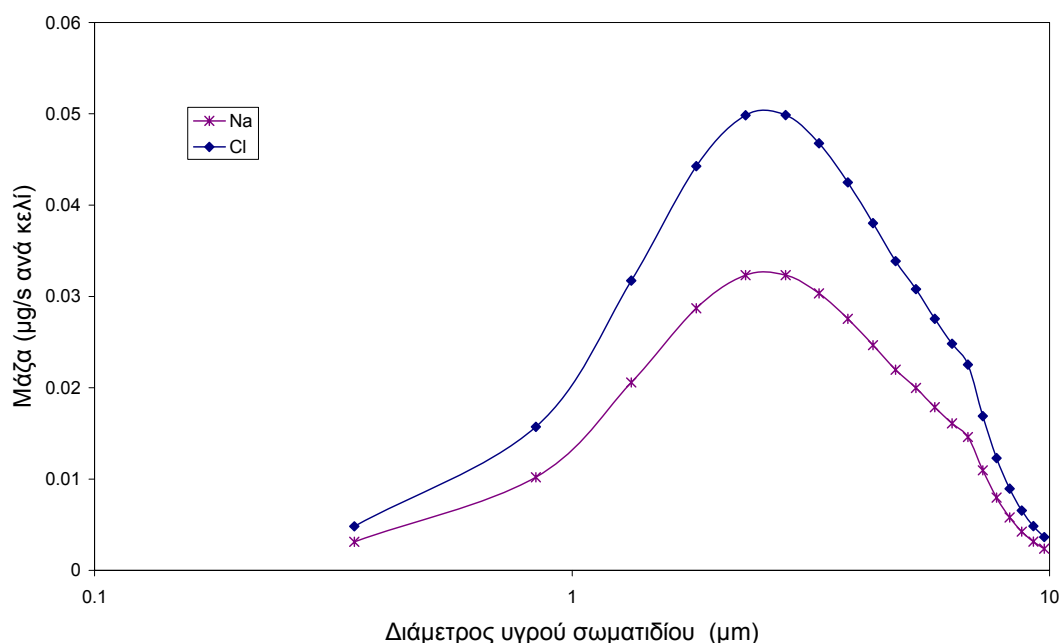
$$M_{r,\text{tot}} = F \cdot A \cdot M_d \cdot 3,6 \cdot 10^6 dr$$

- (5) Εκτίμηση της ολικής μάζας Νατρίου και Χλωρίου ($\frac{\text{g}}{\text{h}}$):

$$M(\text{Na}) = \sum_{r=1}^{20} M_{r,\text{tot}} \frac{AW(\text{Na})}{AW(\text{Na}) + AW(\text{Cl})} \text{ και } M(\text{Cl}) = \sum_{r=1}^{20} M_{r,\text{tot}} \frac{AW(\text{Cl})}{AW(\text{Na}) + AW(\text{Cl})}$$

όπου A είναι η επιφάνεια (km^2) του κελιού που καλύπτεται από θάλασσα.

Βάσει των παραπάνω βημάτων πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί της ωριαίας παραγόμενης ποσότητας Cl^- και Na^+ για τυχαίες ταχύτητες ανέμου και σε περιοχή που καλύπτεται πλήρως από θάλασσα. Έγιναν τα διαγράμματα της εκπεμπόμενης μάζας των ιόντων Cl^- και Na^+ ($\mu\text{g}/\text{sec}$ ανά κυψελίδα) συναρτήσει της διαμέτρου των ξηρών σωματιδίων. Έτσι για ταχύτητα ανέμου $5\text{m}/\text{sec}$ η παραγωγή Cl^- και Na^+ δίνεται στο Σχήμα 7-14.



Σχήμα 7-14: Παραγωγή νατρίου και χλωρίου συναρτήσει του μεγέθους των σωματιδίων άλατος (διάμετρος υγρού σωματιδίου) σε ταχύτητα ανέμου $5\text{m}/\text{sec}$.

Παράδειγμα 2: Αιώρηση σωματιδίων λόγω διάβρωσης από τον άνεμο και μηχανικής καταπόνησης του εδάφους

Τα βήματα για τον καθορισμό της δυνατότητας εκπομπής αναπνεύσιμων σωματιδίων λόγω της διάβρωσης του εδάφους έχουν μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία (EMEP/CORINAIR, 2002). Οι παράμετροι που καθορίζουν τη δυνατότητα αυτή είναι η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων του εδάφους, η φαινομενική τραχύτητα της περιοχής, η φυτοκάλυψη, η παρουσία κρούστας στην επιφάνεια και η παρουσία αδιάβρωτων στοιχείων (π.χ. μεγάλες πέτρες). Μια περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανεξάντλητη πηγή σκόνης, περιορισμένης δυνατότητας διάβρωσης ή ως αδιάβρωτη επιφάνεια ανάλογα με τη δυνατότητα διάβρωσης.

Η μέθοδος που ακολουθείται περιλαμβάνει δύο διαφορετικές διατυπώσεις, μια για κάθε περίπτωση ανάλογα με τη δυνατότητα διάβρωσης. Η διάβρωση από τον άνεμο μπορεί να θεωρηθεί ελάχιστη όταν η υπό μελέτη περιοχή είναι καλυμμένη πλήρως από βλάστηση ή από μια παχιά κρούστα υγρού εδάφους και δεν λαμβάνει χώρα οποιαδήποτε μηχανική καταπόνηση. Τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι συγκρίσιμα με αυτά της χρήσης συντελεστών επαναιώρησης πάνω από διάφορα είδη επιφανειών, όπως απογυμνωμένες επιφάνειες, σταθεροποιημένες και μη επιφάνειες.

Η πιθανότητα διάβρωσης μιας επιφάνειας λόγω του ανέμου προσδιορίζεται ποσοτικά αναφορικά με το κατώφλι της ταχύτητας τριβής. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του κατωφλίου για μια περιοχή, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα αιώρησης των σωματιδίων. Η τιμή του καθορίζεται γνωρίζοντας τον τρόπο κατανομής του ολικού μεγέθους των σωματιδίων (βρίσκεται από την σύσταση του εδάφους) και με τη χρήση της παρακάτω εξίσωσης (προέρχεται από τη γραφική συσχέτιση των Gillette κ.α. (1989):

$$u_c^* = \frac{N \exp[0,412 \cdot \ln(X) + 4,17]}{100}$$

όπου: u_c^* είναι το κατώφλι ταχύτητας τριβής (m/s), X η κατανομή ολικού μεγέθους (mm) και N ο συντελεστής διόρθωσης για αδιάβρωτα στοιχεία (αδιάστατος).

Η κατανομή του ολικού μεγέθους υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση $X = (0,0106) \times (\text{Ποσοστό άμμου}) + 0,05$, η οποία δίνει ρεαλιστικές εκτιμήσεις για τα είδη εδάφους με περιεκτικότητα σε άμμο μεγαλύτερη του 75%. Για τα υπόλοιπα είδη οι εκτιμήσεις που παρέχει είναι σχετικά συντηρητικές και αντιστοιχούν κυρίως σε μη διαταραγμένα εδάφη.

Ο συντελεστής N υπολογίζεται βάσει των γραφικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν από μελέτες σε ανεμοσήραγγα και έχουν μέγεθος ανάλογο του κατωφλίου ταχύτητας τριβής (*Droppo και Buck, 1996*). Εάν η τιμή του είναι μικρότερη των 0,75 m/s, η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ανεξάντλητη πηγή, διαφορετικά ως περιορισμένης δυνατότητας διάβρωσης. Ο ρυθμός εκπομπής σκόνης από μια ευρύτερη περιοχή υπολογίζεται ως το άθροισμα των τιμών

που προκύπτουν για κάθε επιμέρους σημείο της που έχει απεριορίστη ή όχι δυνατότητα διάβρωσης.

Αφού υπολογιστεί το κατώφλι ταχύτητας τριβής, η κρίσιμη ταχύτητα ανέμου σε συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους δίνεται από την εξίσωση:

$$u_{-} = \frac{1}{r} u_c^* \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

όπου u_{-} είναι η κρίσιμη ταχύτητα ανέμου σε ύψος 7m (m/s), r η σταθερά von Karman (0,4 αδιάστατη), z το ύψος αναφοράς (7m) και z_0 το μήκος τραχύτητας επιφάνειας (m).

Η κρίσιμη ταχύτητα ανέμου είναι μια από τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια κατά τον υπολογισμό της πιθανότητας διάβρωσης. Το z_0 εξαρτάται από το μέγεθος και την απόσταση των τραχέων στοιχείων της επιφάνειας.

Για τον υπολογισμό της εκπομπής σωματιδίων από μια περιοχή με περιορισμένη δυνατότητα διάβρωσης από τον άνεμο χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$E10 = 8,3 \times 10^{-4} \left[\frac{f \cdot p(u) \cdot (1 - v)}{\left(\frac{PE}{50}\right)^2} \right]$$

όπου $E10$ είναι ο μέσος ετήσιος ρυθμός εκπομπής ανά μονάδα επιφάνειας ($\text{g/m}^2/\text{hr}$), f η συχνότητα μηχανικών καταπονήσεων του εδάφους (πλήθος/μήνα), u η μέγιστη παρατηρούμενη ταχύτητα για περιόδους μεταξύ των καταπονήσεων, διορθωμένη για το ύψος αναφοράς των 7 m (m/s), $p(u)$ η πιθανότητα διάβρωσης (g/m^2), v η φυτοκάλυψη επιφάνειας ή κάλυψη από οικοδομήματα (κλάσμα) και PE το ευρετήριο ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων-εξάτμισης του Thornthwaite (αδιάστατο).

Η συχνότητα (f) των καταπονήσεων ανά μήνα ορίζεται ως το πλήθος των ενεργειών που μπορούν να εκθέσουν ένα νέο υλικό της επιφάνειας στον άνεμο. Σε περίπτωση που μια περιοχή δεν έχει διαταραχθεί με τον παραπάνω τρόπο, η συχνότητα θα πρέπει να σταθμίζεται ώστε να αναλογεί στην πραγματικά εκτεθειμένη επιφάνεια. Καταπονήσεις θεωρούνται η οδική κυκλοφορία, η καλλιέργεια του εδάφους, οι κατασκευαστικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες στην περιοχή.

Η πιθανότητα διάβρωσης ($p(u)$) εξαρτάται από τη μέγιστη ταχύτητα (u) σύμφωνα με τη σχέση:

$$p(u) = 6,7(u - u_{-}) \quad \text{εάν } u \geq u_{-}$$

$$p(u) = 0,0 \quad \text{if } u < u_{-}$$

Το ποσοστό φυτοκάλυψης (v) ποικίλλει από 0 για απογυμνωμένο έδαφος, έως και 1 για πλήρη φυτοκάλυψη της επιφάνειας.

Το ευρετήριο του Thornthwaite χρησιμοποιείται ως συντελεστής διόρθωσης της υγρασίας για τις εκπομπές που παράγονται με τον άνεμο. Η τιμή του υπολογίζεται για τις μηνιαίες τιμές ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων και εξάτμισης. Η εξάτμιση εκφράζεται αναφορικά με τη θερμοκρασία και η σχέση που δίνει το PE είναι:

$$PE_{index} = \sum_1^{n=12} 115 \left(\frac{P}{T-10} \right)^{10/9}$$

όπου P είναι οι μηνιαίες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις σε inches, T η θερμοκρασία σε °F και n ο αριθμός των μηνών.

$$\text{Η παραπάνω σχέση γράφεται και ως: } PE_{index} = \sum_1^{n=12} 115 \left[\frac{P}{228,6/5 \cdot T_c + 558,8} \right]^{10/9}$$

όπου το P είναι εκφρασμένο σε mm και το T στην κλίμακα Celsius.

Για περιοχές με απεριόριστη δυνατότητα διάβρωσης, η εξίσωση που δίνει το ρυθμό εκπομπής σκόνης είναι:

$$E10_u = 10^{-5} (1 - v) \left(\frac{\bar{u}}{u_-} \right)^3 F(x)$$

όπου $\bar{u}$ είναι η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/s), $F(x)$ η συνάρτηση ολοκλήρωσης και $E10_u$ ο ετήσιος μέσος όρος ρυθμού εκπομπής ανά μονάδα επιφάνειας (g/m²/sec).

Η κατακόρυφη ροή σωματιδίων διαμέτρου μικρότερης των 10μm θεωρείται ανάλογη του κύβου της οριζόντιας ταχύτητας ανέμου. Η σχέση αυτή έχει βρεθεί από μετρήσεις στην αιγυπτιακή έρημο και με πειράματα με ανεμοσήραγγα.

Η συνάρτηση ολοκλήρωσης ($F(x)$) προκύπτει από την κυβική συσχέτιση της κατακόρυφης μεταφοράς σωματιδίων με την ταχύτητα ανέμου. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να χωριστεί στα επόμενα διακριτά τμήματα:

$$F(x) = \begin{cases} 0,0 & \text{αν } x < 0,0 \\ 1,91 & \text{αν } 0,0 \leq x < 0,5 \\ 1,9 - 0,6 \cdot (x - 0,5) & \text{αν } 0,5 \leq x \leq 1,0 \\ 1,6 - 1,3 \cdot (x - 1,0) & \text{αν } 1,0 \leq x \leq 2,0 \\ 0,018x \cdot (8x^2 + 12)e^{-x^2} & \text{αν } 2,0 \leq x \end{cases} \quad \text{όπου : } x = 0,886 \cdot \frac{u}{\bar{u}}$$

Υπολογισμός του ρυθμού εκπομπής

Αφού βρεθούν οι συντελεστές εκπομπής σωματιδίων μπορεί να υπολογιστεί και ο ρυθμός εκπομπής τους. Έτσι στην περίπτωση διάβρωσης του εδάφους λόγω ανέμου χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$R10 = E10 \cdot A$$

όπου: $R10$ είναι ο ρυθμός εκπομπής λόγω διάβρωσης από τον άνεμο (g/s) και A το εμβαδόν της περιοχής (m²).

Αιώρηση σωματιδίων λόγω οδικής κυκλοφορίας

Η σκόνη που επαναιωρείται από δρόμους εξαιτίας της κίνησης οχημάτων θεωρείται σημαντικός παράγοντας καθορισμού των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων σωματιδίων. Προέρχεται κυρίως από τη φθορά των ελαστικών και των φρένων των οχημάτων, τη διάβρωση της επιφάνειας του δρόμου, τα οργανικά υπολείμματα, το χώμα στην επιφάνεια του και τις αποθέσεις συστατικών από τα καυσαέρια των οχημάτων. Έτσι η σύσταση της συχνά περιλαμβάνει βαρέα μέταλλα, PAHs και αλλεργιογόνα συστατικά (γύρη, χούμος). Η σκόνη από υπολείμματα ελαστικών και φρένων, όπως και τα σωματίδια που εκπέμπονται από την εξάτμιση των οχημάτων μελετώνται ως ανθρωπογενείς ρύποι. Μόνο η επαναιώρηση της σκόνης εξαιτίας της τυρβώδους ροής, που προκύπτει από την κίνηση του οχήματος, εξετάζεται ως εκπομπή από τη φύση.

Οι εκπομπές σκόνης λόγω οδικής κυκλοφορίας διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, ανάλογα τον τύπο δρόμου από τον οποίο προέρχονται: εκπομπές από ασφαλτοστρωμένους και μη δρόμους. Η γενική μεθοδολογία υπολογισμού τους ακολουθεί την ίδια μορφή χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους τη δραστηριότητα της πηγής και έναν συντελεστή εκπομπής μαζί με ένα ή περισσότερους συντελεστές διόρθωσης. Ο αλγόριθμος υπολογισμού τους είναι κοινός, αν και σε ένα ασφαλτοστρωμένο δρόμο οι παράμετροι που επηρεάζουν την εκπομπή σκόνης είναι σαφώς λιγότεροι από ότι σε ένα χωματόδρομο.

Παρακάτω παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών και για τους δύο τύπους δρόμων. Οι εκπομπές από χωματόδρομους είναι ιδιαίτερα υψηλές. Ωστόσο μια εκτίμηση πραγματοποιήθηκε μόνο για αστικούς δρόμους (επικαλυμμένους με άσφαλο) όπου λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης πληθυσμού και της υψηλής συγκέντρωσης επιβλαβών ουσιών στο υλικό της επιφάνειας του δρόμου υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον από επιδημιολογική άποψη.

Εκπομπές σκόνης από χωματόδρομους

Ο συντελεστής εκπομπής σκόνης από χωματόδρομους εξαρτάται από το μέσο βάρος, την ταχύτητα και το πλήθος των τροχών των οχημάτων που τους διανύουν, τη περιεκτικότητα της ιλύος του υλικού της επιφάνειας του δρόμου και το ποσοστό των ημερών του έτους με ελάχιστη (μικρότερη των 0,254mm) ή μηδενική ατμοσφαιρική κατακρήμνιση. Η δραστηριότητα της πηγής είναι τα διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα ανά ημέρα.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των εκπομπών σωματιδίων σκόνης λόγω μηχανικής καταπόνησης του εδάφους από την οδική κυκλοφορία βασίζεται στη βιβλιογραφία. Ο ρυθμός εκπομπής σκόνης από χωματόδρομους δίνεται από τη σχέση:

$$E_{10} = (0,85) \left(\frac{s}{10} \right) \left(\frac{S}{24} \right)^{0,8} \left(\frac{W}{7} \right)^{0,3} \left(\frac{w}{6} \right)^{12} \left(\frac{365 - p}{365} \right)$$

όπου $E10$ είναι ο συντελεστής εκπομπής για μη ασφαλτοστρωμένη περιοχή εκφρασμένος ως μάζα αιωρούμενων σωματιδίων ανά οχηματοχιλιόμετρο διαδρομής (g/(vehicle-km)), s η περιεκτικότητα ιλύος της επιφάνειας του δρόμου (%), S η μέση ταχύτητα οχημάτων (km/h), W το μέσο βάρος οχημάτων (Mg), w ο μέσος αριθμός τροχών οχήματος, p το πλήθος των ημερών ανά έτος με μέγεθος ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων τουλάχιστο 0,254 mm.

Για τις παραπάνω παραμέτρους απαιτείται συλλογή πληροφοριών ανά περιοχή. Ωστόσο, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τυπικές τιμές του πίνακα 7-16.

Πίνακας 7-16: Τυπικές τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης για εκπομπή σκόνης από χωματοδρόμους (Droppo, και Buck, 1996)

Χαρακτηρισμός Περιοχής	s (%)	S (km/h)	W (Mg)	w
Αγροτική/Αστική	15	48	2	4
Βιομηχανική	8	24	15	6

Υπολογισμός του ρυθμού εκπομπής

Ο ρυθμός εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων λόγω μηχανικής καταπόνησης του εδάφους από την οδική κυκλοφορία σε μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R10 = (1,157 \times 10^{-5}) E10 \cdot L \cdot T$$

όπου $R10$ είναι ο ρυθμός εκπομπής λόγω οδικής κυκλοφορίας (g/s), L η απόσταση διαδρομής (km) και T το μέσο πλήθος οχημάτων που διανύουν την περιοχή ανά ημέρα (αριθμ./day).

Εκπομπές σκόνης από ασφαλτοστρωμένους δρόμους

Για τον υπολογισμό των εκπομπών σκόνης από ασφαλτοστρωμένους δρόμους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παραπάνω εξίσωση με την υπόθεση ότι καλύπτονται μόνο κατά 1% από αναπνεύσιμα σωματίδια. Ωστόσο αν δεχθούμε πως για αυτούς τους δρόμους οι εκπομπές εξαρτώνται κυρίως από το μέσο βάρος των οχημάτων και την περιεκτικότητα ιλύος του υλικού της επιφάνειας του δρόμου (EPA), η παραπάνω εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί ως:

$$E10 = k \times \left(\frac{s}{2}\right)^{0,65} \times \left(\frac{W}{3}\right)^{1,5}$$

όπου $E10$ είναι ο συντελεστής εκπομπής σκόνης από ασφαλτοστρωμένους δρόμους για κάθε κατηγορία οχήματος (g/mile), k ο συντελεστής εκπομπής σωματιδίων διαμέτρου μικρότερης από 10 ή 2,5 microns (7,3 g/mile για PM-10 και 1,825 g/mile για PM-2,5), s το φορτίο ιλύος στην επιφάνεια του δρόμου (0,5 g/m² για δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας) και W το μέσο βάρος του οχήματος (tons).

Η παραπάνω εξίσωση παρέχει ένα γενικό συντελεστή εκπομπής για κάθε τύπο οχήματος και καθώς στηρίζεται σε μετρήσεις περιλαμβάνει εκπομπές σωματιδίων από την καύση στον κινητήρα, τη φθορά των ελαστικών και των

φρένων καθώς και τις συγκεντρώσεις υποβάθρου και των σωματιδίων στην Ατμόσφαιρα. Οι τιμές των παραπάνω θα πρέπει να αφαιρούνται κατά τον υπολογισμό των εκπομπών σκόνης που επαναιωρείται λόγω της οδικής κυκλοφορίας.

Βιβλιογραφία 7^{ου} Κεφαλαίου

Droppo, J.G. and Buck J.W.: (1996), **The Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS): Atmospheric Pathway Formulations**, Technical Report PNNL-11080/UC-602, 630, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.

EMEP/CORINAIR, (2002), **Atmospheric Emission Inventory Guidebook', 3rd Edition, Prepared by the EMEP Task force on Emission Inventories**, EEA Technical Report No 30.

EPA, (1999), **Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development: A Beginner's Guide for Point and Area Sources'**, Technical Report EPA-454/R-99-037, Office of Air Quality Planning and Standards.

Fitzgerald, J.W., (1975), **Approximation formula for the equilibrium size of an aerosol particle as a function of its dry size and composition and the ambient relative humidity**, J. Appl. met, pp. 1044

Gillette D.A., Hanson, K.J., (1989), **Spatial and Temporal Variability of dust production caused by wind erosion in the United States**, J. Geophys. Res. Vol. 94, No. D2, pp.2197-2206.

Guenther, A.B., Zimmerman, P.R., Harley, P.C., Monson, R.K. and Fall, R., (1993), **Isoprene and monoterpene rate variability: Model evaluations and sensitivity analysis**, J. Geophys. Res. Vol. 98, No.10, pp.12609-12617.

IPCC, (1996), **Climate Change 1995. The Science of Climate Change**, Cambridge University Press, New York.

Kumar, N. and Lurmann, F.W., (1996), **User's Guide to the UAM-Aero Model: Preliminary Draft'**, Prepared for the South Coast AQMD by Sonoma Technology Inc., Santa Rosa, CA.

Lavender, K.A., (1999) **Marine Exhaust Emissions, Quantification Study – Mediterranean Sea**, Final Report 99/EE/7044, Lloyds Register of Shipping.

Lurmann, F.W., Wexler, A.S., Pandis, S.N., Musarra, S., Kumar, N. and Seinfeld, J.H., (1997), **Modelling urban and regional aerosols--II. Application to California's South Coast Air Basin**, Atmospheric Environment, Vol.31, pp.2695--2715

Monahan, E.C., Spiel, D. and Spiel, K., (1986), **Oceanic whitecaps**. Reidel.

National Statistical Service of Greece, (2000), **Environmental statistics of year 1997**, Athens.

Posch, M., Smet, P.A.M., Hettelingh, J.P. and Downing, R.J., (1999), **Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe**, CCE Status Report 1999, RIVM, The Netherlands, 165 pp.

Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N., (1998), **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons.

Shin, T. and Georgopoulos, P.G., (1998), **Geographic information system tools for improving atmospheric emission inventories of mobile and biogenic sources**, Technical Report ORC-TR98-03, Ozone Research Center, Environmental Occupational Health Sciences Institute, State of New Jersey Department of Environmental Protection, 143 pp.

Simpson, D., Guenther, A., Hewitt C.N. and Steinbrecher, R., (1995), **Biogenic emissions in Europe**, J. Geophys. Res. Vol. 100, No. D11, pp.22875—22890.

Simpson D. et.al., (1999). **Inventorying emissions from nature in Europe**, J. Geophys. Res. Vol. 104, No. D7, pp.8113—8152.

Skiba, U., Sozanska, M., Metcalfe, S. and Fowler, D., (2001), **Spatially disaggregated inventories of soil NO and N₂O emissions for Great Britain**, Water, Air and Soil Pollution:Focus VOL. 1, pp.109—118.

Smith, M.H., Park, P.M. and Consterdine, I.E., (1993), **Marine aerosol concentration and estimated fluxes over seas**, Q. J. R. Meteorol. Soc., pp.809—824.

UNECE, (2001), **Present state of emission data**, Technical Report EB.AIR/GE.1/2001/7.

Watson, J.G. and Chow, J.C., (2000), **Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research**, Desert Research Institute Document 6110.4F.