

3

Μοντέλα υπολογισμού της ατμοσφαιρικής διασποράς

Ατμοσφαιρικό μοντέλο ονομάζουμε ένα σύστημα εξισώσεων το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις φυσικές και/ή τις χημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα. Τελικός στόχος είναι η μαθηματική περιγραφή της χωρικής και χρονικής κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η έννοια του μοντέλου χρησιμοποιείται γενικά για να δηλώσει την χρήση κάποιας θεωρητικής προσέγγισης για τον προσδιορισμό (υπολογισμό σ' αυτή την περίπτωση) των ζητούμενων παραμέτρων σε αντιπαράθεση με τις μετρήσεις οι οποίες αποτελούν τον πειραματικό τρόπο προσδιορισμού της ίδιας ποσότητας. Τα τελευταία χρόνια με την ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η έννοια του μοντέλου εμπεριέχει και την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την πραγματοποίηση των απαραίτητων υπολογισμών.

Η ανάπτυξη των μοντέλων ατμοσφαιρικής διασποράς ξεκίνησε την δεκαετία του 1930. Η θεωρητική θεμελίωση των μοντέλων αυτών αναπτύχθηκε σταδιακά τις δεκαετίες που ακολούθησαν. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες η αυστηρή νομοθεσία και η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έδωσαν μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη και τελειοποίηση πολλών μοντέλων υπολογισμού της διασποράς αερίων ρύπων τα οποία σήμερα χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών.

Στις σημειώσεις αυτές θα ασχοληθούμε κατά κύριο λόγο με συνεχείς σημειακές εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα σε περιοχές χωρίς ιδιαίτερο ανάγλυφο. Το ενδιαφέρον θα εστιαστεί μόνο στην μεταφορά των ρύπων σε τοπική κλίμακα ενώ θα θεωρηθεί ότι οι ρύποι ακολουθούν πιστά τις κινήσεις της ατμόσφαιρας χωρίς να αποτίθενται στην επιφάνεια της γης. Ακόμη, η παρούσα προσέγγιση θεωρεί ότι οι χημικοί μετασχηματισμοί στην ατμόσφαιρα είναι αμελητέοι. Στο τελευταίο κεφάλαιο (Ειδικά Θέματα) θα παρουσιασθούν κάποιες τεχνικές οι οποίες μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε την επίδραση στα επίπεδα ρύπανσης τόσο της απόθεσης όσο και των χημικών μετασχηματισμών.

Ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων διασποράς από την δεκαετία του 50 και αργότερα δείχνουν ότι η εγκάρσια κατά κύριο λόγο αλλά και η κατακόρυφη κατανομή των συγκεντρώσεων από μία σημειακή πηγή ακολουθούν την κανονική κατανομή (γνωστή και σαν κατανομή Gauss). Το σύστημα των εμπειρικών εξισώσεων που

βασίζεται σε αυτή την παραδοχή και το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων από μία σημειακή πηγή λέγεται **μοντέλο θυσάνου του Gauss (Gaussian plume model)**. Πριν περάσουμε στην λεπτομερειακή μελέτη αυτής της κατηγορίας μοντέλων θα παρουσιάσουμε παρακάτω τους σημαντικότερους τύπους μοντέλων ποιότητας του αέρα.

3.1 Τύποι μοντέλων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

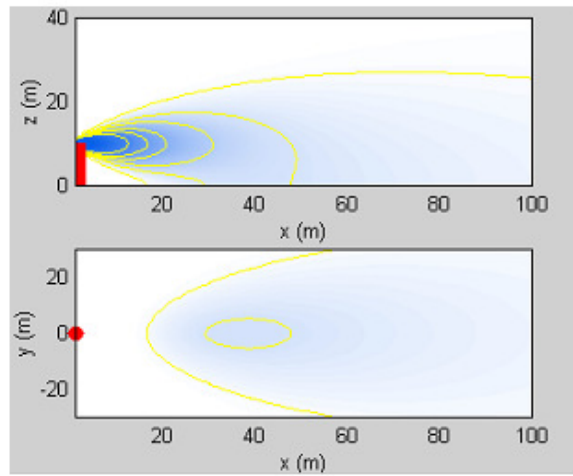
Οι μέθοδοι μοντελοποίησης της ποιότητας αέρα μπορούν να καταταγούν σε τέσσερις γενικές κατηγορίες: Γκαουσιανά, αριθμητικά, φυσικά και στατιστικά (ή εμπειρικά) μοντέλα.

- Τα **Γκαουσιανά μοντέλα (ή μοντέλα θυσάνου του Gauss)** είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για τον υπολογισμό της διασποράς αδρανών ρύπων, ιδιαίτερα για ρυθμιστικούς σκοπούς. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας μοντέλων είναι η απλότητα στη χρήση και οι περιορισμένες απαιτήσεις σε στοιχεία εισαγωγής. Λεπτομέρειες για τα μοντέλα θυσάνου του **Gauss** θα παρουσιασθούν στα επόμενα κεφάλαια.

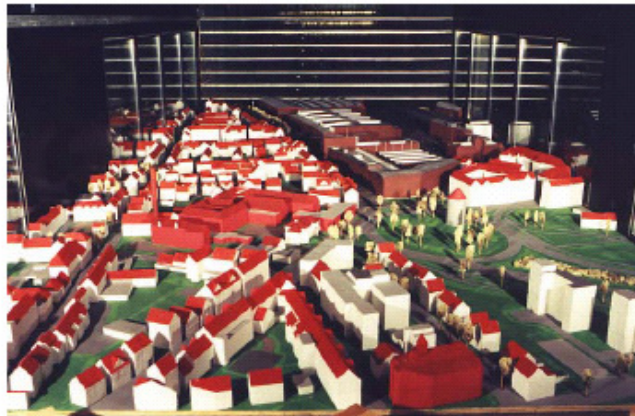
- Τα **αριθμητικά μοντέλα (numerical models)** χρησιμοποιούν ένα σύστημα εξισώσεων οι οποίες βασίζονται στις βασικές αρχές διατήρησης της ορμής, της ενέργειας και της μάζας. Για την επίλυση αυτών των εξισώσεων χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι (από εκεί προέρχεται και το όνομα αυτής της κατηγορίας των μοντέλων). Τα αριθμητικά μοντέλα είναι περισσότερο κατάλληλα για χρήση σε περιπτώσεις πολύπλοκων συνθηκών (εμβαδικές πηγές σε αστικές περιοχές, περιοχές με έντονο ανάγλυφο, πολύπλοκες μετεωρολογικές συνθήκες κ.τ.λ) αλλά έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε δεδομένα εισόδου και υπολογιστική δύναμη. Αποτελούν πολύ χρήσιμα εργαλεία για ερευνητικές δραστηριότητες αλλά η χρήση τους σε επιχειρησιακή βάση είναι πολύ περιορισμένη.

- Τα **φυσικά μοντέλα (physical models)** βασίζονται σε μικρής κλίμακας αναπαραστάσεις των φαινομένων σε εργαστήρια (αεροσύραγγες, δεξαμενές νερού κτλ). Έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό αλλά μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μελέτες φαινομένων και επιδράσεων μικρής κλίμακας (π.χ. επίδραση κτιρίων στην διασπορά ατμοσφαιρικών ρύπων).

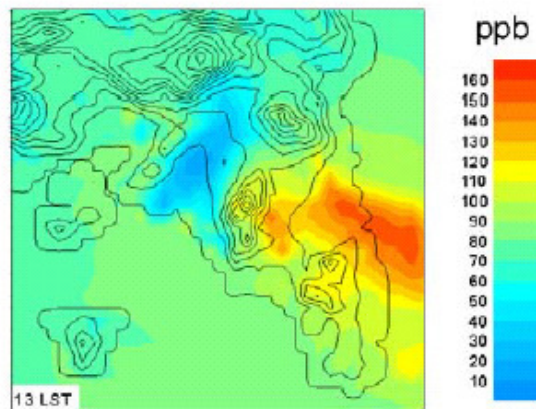
- Τα **στατιστικά μοντέλα (statistical models)** βασίζονται συνήθως σε ημι-εμπειρικές στατιστικές σχέσεις ανάμεσα στα επίπεδα ρύπανσης και σε άλλες μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία, άνεμος κτλ) οι οποίες προσδιορίζονται από υπάρχουσες χρονοσειρές δεδομένων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα στατιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πλήρης κατανόηση των φυσικών και χημικών διεργασιών ή υπάρχει έλλειψη των απαραίτητων βάσεων δεδομένων για την χρήση αριθμητικών ή Γκαουσιανών μοντέλων. Το μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα και η ευκολία στην χρήση. Σε πολλές περιπτώσεις η ακρίβειά τους είναι συγκρίσιμη με αυτή άλλων περισσότερο πολύπλοκων προσεγγίσεων.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 3.1 Παραδείγματα μοντέλων υπολογισμού διασποράς

(α) Υπολογισμός της διασποράς από βιομηχανική καμινάδα με τη βοήθεια μοντέλου του θυσάνου του Gauss.

(β) Φυσικό μοντέλο

(γ) Αποτελέσματα αριθμητικού μοντέλου για την Αθήνα

3.2 Ταξινόμηση μοντέλων διασποράς

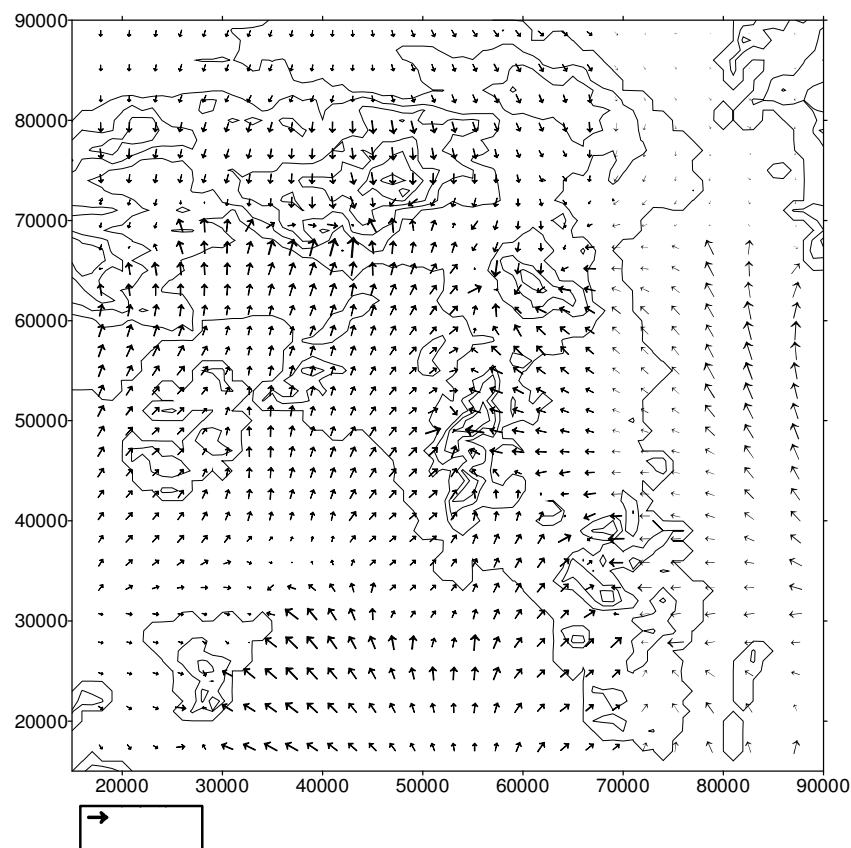
Στις περισσότερες περιπτώσεις τα υπάρχοντα μοντέλα διασποράς που χρησιμοποιούνται για ρυθμιστικούς σκοπούς έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων, π.χ. σημειακές πηγές, αδρανείς ρύπους κτλ. Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται μία μέθοδος ταξινόμησης των μοντέλων διασποράς με βάση τις διαφορετικές καταστάσεις στις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα ταξινόμησης μπορεί κάποιος να επιλέξει το μοντέλο διασποράς το οποίο ταιριάζει στο συγκεκριμένο πρόβλημα που θέλει να μελετήσει. Κάθε κλάδος του συστήματος προσδιορίζει ένα δείκτη ο οποίος χαρακτηρίζει τα παρακάτω:

- A. Τις συνθήκες μεταφοράς
- B. Τον τύπο της πηγής
- Γ. Την διάρκεια της πηγής
- Δ. Το είδος των ρύπων

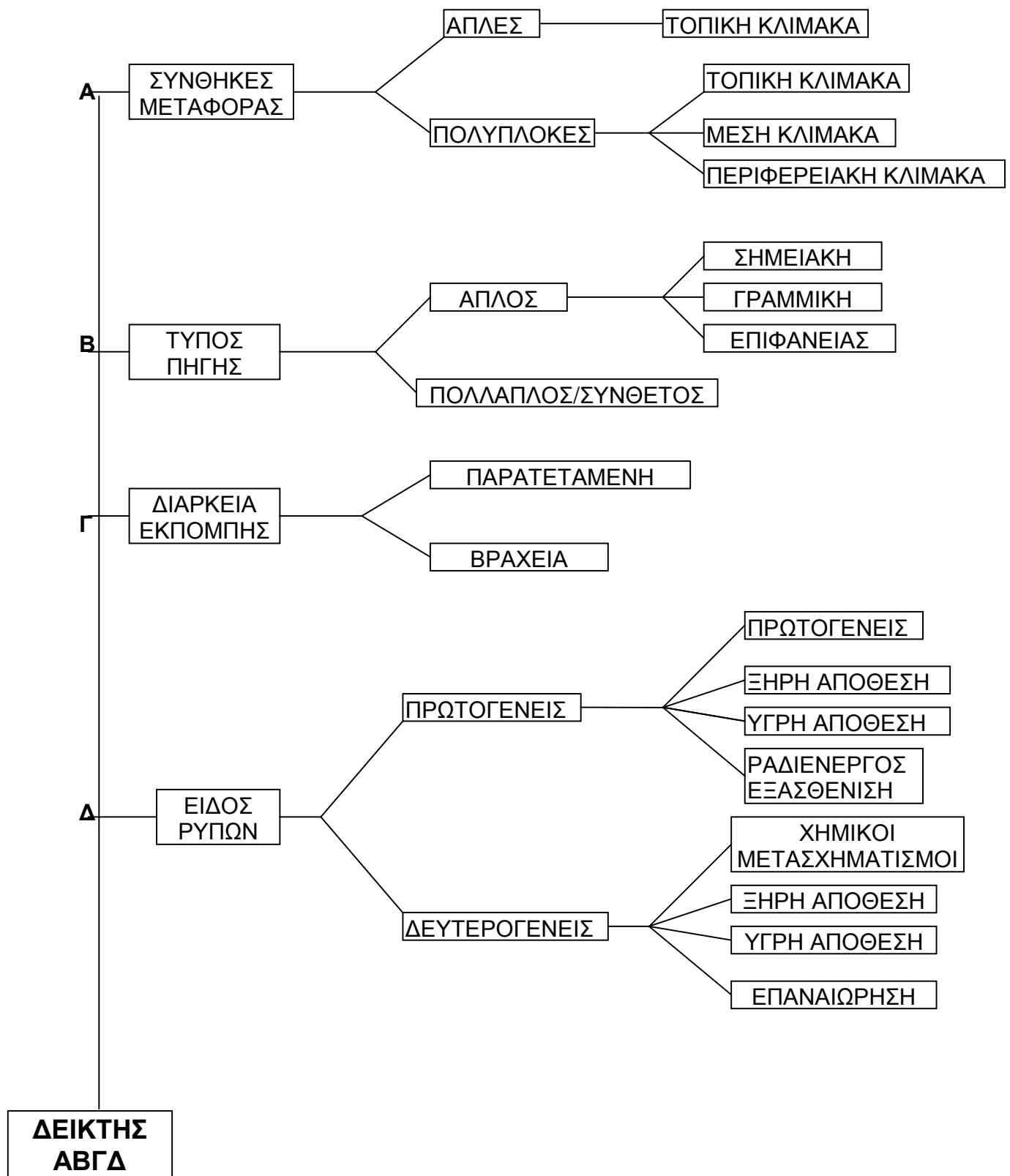
Κάθε ένας από τους προηγούμενους κλάδους υποδιαιρείται σε έναν αριθμό από μικρότερους κλάδους οι οποίοι προσδιορίζουν ειδικότερες συνιστώσες του προβλήματος, π.χ. σημειακές πηγές, χημικοί μετασχηματισμοί, ξηρή και υγρή απόθεση κτλ. Το σύστημα ταξινόμησης περιλαμβάνει συνολικά 256 συνδυασμούς προβλημάτων. Αυτό δεν σημαίνει ότι χρειάζονται 256 μοντέλα για να μελετήσουμε όλο το φάσμα των προβλημάτων. Τα περισσότερα μοντέλα διασποράς, τα οποία σήμερα είναι διαθέσιμα στην αγορά, καλύπτουν ένα μεγάλο αριθμό από τους παραπάνω συνδυασμούς. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι σήμερα διαθέσιμο κάποιο απλό μοντέλο διασποράς το οποίο να καλύπτει το σύνολο των περιπτώσεων οπότε οι επιστήμονες που ειδικεύονται στη χρήση μοντέλων διασποράς για ρυθμιστικούς σκοπούς (π.χ. για μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων) θα πρέπει να είναι εφοδιασμένοι με μια σειρά μοντέλων. Ιδιαίτερα δύσκολη είναι η επιλογή μοντέλου σε περιπτώσεις που οι συνθήκες μεταφοράς είναι πολύπλοκες (π.χ. σε περιοχές όπου εμφανίζονται τοπικά συστήματα κυκλοφορίας όπως θαλάσσια αύρα ή αναβατικοί/καταβατικοί άνεμοι) ή/και οι χημικοί μετασχηματισμοί είναι σημαντικοί (π.χ. στην αστική ατμόσφαιρα). Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν ενδείκνυται η χρήση απλοποιημένων προτύπων και συνιστάται η επιλογή κάποιου αριθμητικού μοντέλου το οποίο λαμβάνει υπόψη τις παραπάνω διεργασίες.

Ένα άλλο πρόβλημα που αφορά την επιλογή μοντέλου διασποράς σχετίζεται με τον βαθμό πολυπλοκότητας του μοντέλου. Το πρόβλημα έχει πολλές πλευρές. Ο γενικός κανόνας λέει ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου είναι συνάρτηση της πολυπλοκότητάς του. Είναι όμως γνωστό ότι όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα ενός μοντέλου αυξάνονται αντίστοιχα οι απαιτήσεις σε υπολογιστική δύναμη, στοιχεία εισαγωγής και εμπειρία του χρήστη. Επίσης στα αριθμητικά μοντέλα

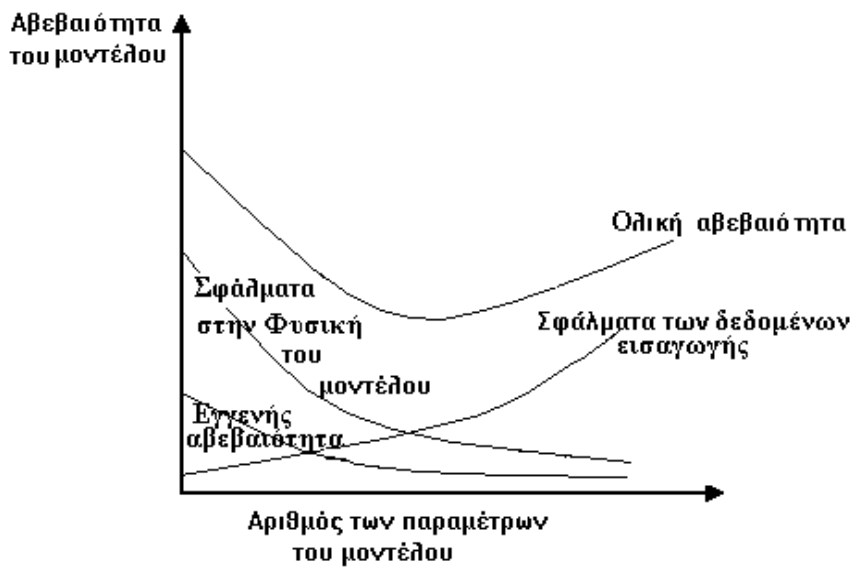
οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των εξισώσεων δεν είναι απόλυτα ακριβείς και εισάγουν πρόσθετες αβεβαιότητες στα αποτελέσματα των μοντέλων. Στις περισσότερες περιπτώσεις λοιπόν η ανάπτυξη (ή επιλογή) ενός μοντέλου είναι αποτέλεσμα ενός συμβιβασμού ανάμεσα στην επιθυμία να συμπεριλάβουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο κομμάτι της φυσικής που διέπει τους ατμοσφαιρικούς μηχανισμούς διασποράς και την ανάγκη να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο το οποίο είναι εύχρηστο και οικονομικό. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται σχηματικά η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου σαν συνάρτηση της πολυπλοκότητάς του (σ' αυτή την περίπτωση εκφρασμένη με τον αριθμό των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται). Όπως φαίνεται σε αυτό το σχήμα, η αύξηση των παραμέτρων του μοντέλου (σαν μέτρο της πολυπλοκότητάς του) δεν οδηγεί πάντοτε σε μείωση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων. Αντίθετα, υπάρχει ένα βέλτιστο επίπεδο πολυπλοκότητας πέραν του οποίου η αύξηση των παραμέτρων οδηγεί σε αύξηση της αβεβαιότητας των υπολογισμών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση των παραμέτρων του μοντέλου αυξάνει τις απαιτήσεις σε δεδομένα εισαγωγής τα οποία εισάγουν μια πρόσθετη αβεβαιότητα.



Σχήμα 3.2 Αριθμητική προσομοίωση του πεδίου των ανέμων στη Αττική κατά την διάρκεια μιας ημέρας με θαλάσσια αύρα. Σε αυτή την περίπτωση δεν ενδείκνυται η χρήση απλοποιημένων προτύπων για τον υπολογισμό της διασποράς.



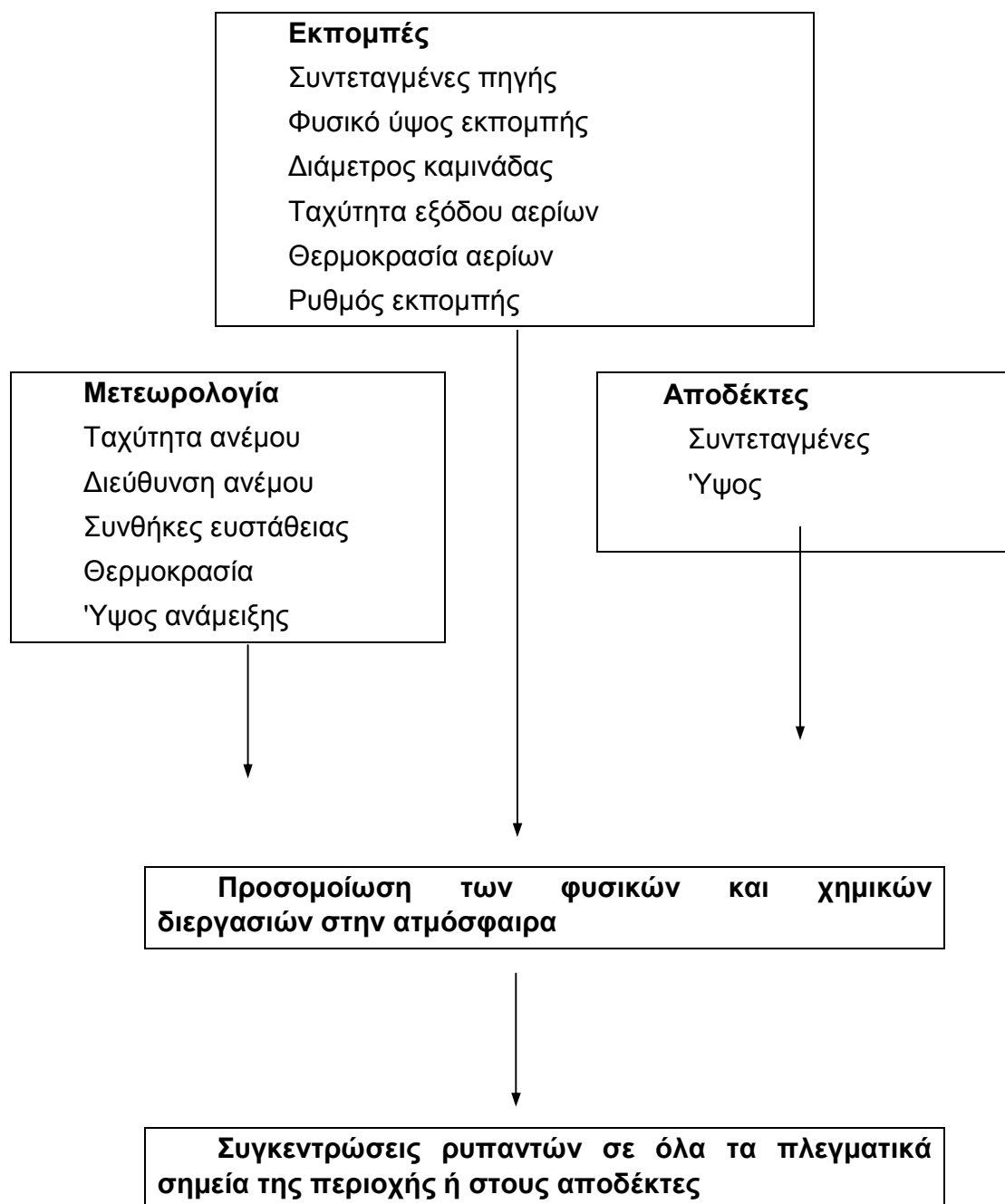
Σχήμα 3.3 Σύστημα ταξινόμησης των μοντέλων διασποράς.



Σχήμα 3.4. Σχηματική παρουσίαση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων των μοντέλων σαν συνάρτηση του αριθμού των παραμέτρων.

3.3 Δομή ενός απλού μοντέλου διασποράς

Προκειμένου να διατηρηθεί η ποιότητα του αέρα σε ανεκτά επίπεδα πολλές χώρες έχουν θεσπίσει κάποια όρια συγκεντρώσεων ρύπων τα οποία δεν θα πρέπει κατά κανόνα να παραβιάζονται. Για κάθε καινούργια πηγή εκπομπών αέριας ρύπανσης θα πρέπει να γίνεται εκ των προτέρων μία μελέτη (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) η οποία μεταξύ άλλων θα εξετάζει το κατά πόσο οι εκπομπές θα οδηγήσουν σε παραβίαση των θεσπισμένων οριακών τιμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η μελέτη αυτή θα πρέπει κατά ανάγκη να βασιστεί σε προσομοιώσεις μοντέλων διασποράς. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων τα οποία έχουν αναπτυχθεί από την επιστημονική κοινότητα και είναι κατά κανόνα στην διάθεση των μελετητών (ελεύθερη διάθεση μέσω του διαδικτύου ή πώληση έναντι χαμηλού, γενικά, τιμήματος). Σχετικά πληροφορίες διατίθενται στη βιβλιογραφία η οποία παρατίθεται στο τέλος των σημειώσεων.



Σχήμα 3.5. Δομή ενός απλού μοντέλου για τον υπολογισμό της διασποράς από σημειακή πηγή σε τοπική κλίμακα.

Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται σχηματικά η δομή ενός απλού μοντέλου για τον υπολογισμό της διασποράς. Τα απαραίτητα στοιχεία εισαγωγής που απαιτούνται για την εφαρμογή ενός απλού μοντέλου αφορούν πληροφορίες για τις πηγές εκπομπής, τις μετεωρολογικές μεταβλητές που προσδιορίζουν την ικανότητα της ατμόσφαιρας να διασπείρουν τους ρύπους καθώς και τη θέση των αποδεκτών. Αυτή η τελευταία πληροφορία δεν είναι πάντα απαραίτητη γιατί σε πολλές περιπτώσεις

ενδιαφερόμαστε για τις μέγιστες συγκεντρώσεις επιφανείας χωρίς να εξετάζουμε σε ποια περιοχή εμφανίζονται (η νομοθεσία ορίζει την τήρηση των ορίων που αφορούν τις συγκεντρώσεις των ρύπων στο σύνολο της επικράτειας). Τα παραπάνω στοιχεία εισαγωγής χρησιμοποιούνται από το μοντέλο διασποράς για την προσομοίωση των φυσικών και χημικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα. Ο χρόνος εκτέλεσης ενός απλού μοντέλου διασποράς σε οποιονδήποτε σύγχρονο υπολογιστή (π.χ. ένα PC) είναι γενικά πολύ μικρός. Τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι συνήθως οι ωριαίες συγκεντρώσεις των ρύπων σε όλα τα πλεγματικά σημεία της υπό μελέτη περιοχής. Στις απλές εκδόσεις των μοντέλων τα αποτελέσματα εμφανίζονται συνήθως υπό την μορφή πινάκων. Η γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων απαιτεί είτε την χρήση πρόσθετου λογισμικού είτε την αγορά μοντέλων διασποράς τα οποία ενσωματώνουν και λογισμικό για την παρουσίαση αυτή.

3.4 Προσεγγίσεις κατά Euler και κατά Lagrange

Όπως και στα άλλα προβλήματα περιγραφής της κίνησης ρευστών, ο υπολογισμός της ατμοσφαιρικής διασποράς μπορεί να γίνει κατά βάση με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, κατά Euler και κατά Lagrange. Στην προσέγγιση κατά Euler η διασπορά των ατμοσφαιρικών ρύπων περιγράφεται σε σχέση με ένα σταθερό σύστημα συντεταγμένων. Τα χαρακτηριστικά της ροής ορίζονται σαν συναρτήσεις του χώρου και του χρόνου, δηλ. οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι οι x, y, z και t . Τα μοντέλα που στηρίζονται στην Ευρηλιανή προσέγγιση προσομοιώνουν τις συγκεντρώσεις των ρύπων σε μια σειρά από σταθερά υπολογιστικά πλέγματα. Για τον λόγο αυτό τα μοντέλα αυτά ονομάζονται και μοντέλα πλέγματος.

Η δεύτερη προσέγγιση βασίζεται στην παραδοχή ότι κάποιες δυναμικές ή φυσικές ποσότητες δεν αναφέρονται κατά ανάγκη σε ακίνητα σημεία στον χώρο αλλά σε κάποια αναγνωρίσιμα τμήματα ύλης. Κατά συνέπεια στην περιγραφή κατά Lagrange παρακολουθούμε την ιστορία διακριτών στοιχείων της ροής, δηλ. το ενδιαφέρον εστιάζεται σε μια συγκεκριμένη μάζα του ρευστού η οποία κινείται με τον άνεμο. Όλες οι μεταβλητές της ροής ορίζονται για το συγκεκριμένο στοιχείου του αέρα («πακέτο αέρα») και εκφράζονται σαν συνάρτηση του χρόνου. Στα μοντέλα που βασίζονται στην προσέγγιση κατά Lagrange, πακέτα αέρα μετακινούνται με τον άνεμο έτσι ώστε να μην υπάρχει ανταλλαγή μάζας κάθε πακέτου με τον περιβάλλοντα αέρα (εκτός από εκπομπές ρύπων). Το πακέτο αέρα μετακινείται συνεχώς έτσι ώστε το μοντέλο να προσομοιώνει την συγκέντρωση ρύπων σε διαφορετικά σημεία στο χώρο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

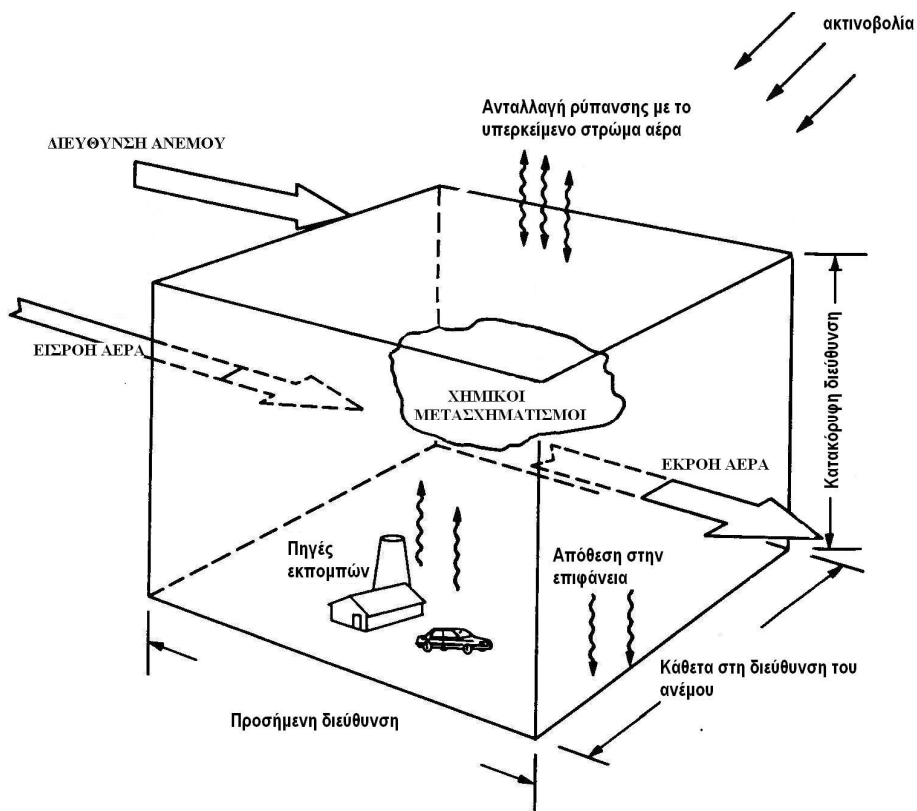
Οι δύο προσεγγίσεις οδηγούν σε διαφορετικούς τύπους μαθηματικών εξισώσεων για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων. Θεωρητικά, το τελικό αποτέλεσμα των υπολογισμών δεν θα πρέπει να διαφέρει σημαντικά γιατί και οι δύο προσεγγίσεις βασίζονται στις ίδιες βασικές αρχές της Φυσικής. Στην πράξη, οι παραχωρήσεις που γίνονται προκειμένου να αναπτύξουμε κάτι το οποίο θα είναι χρήσιμο σε πρακτικές εφαρμογές, οδηγούν σε σημαντικές διαφοροποιήσεις. Για τον

λόγο αυτό, ανάλογα με την εφαρμογή και τις διαθέσιμες πληροφορίες, συστήνεται και διαφορετικός τύπος μοντέλου.

3.4.1 Ευρηλιανά μοντέλα

Στο σχήμα 3.6 φαίνεται η βασική αρχή ενός μοντέλου πλέγματος. Στην περίπτωση αυτή, για λόγους απλότητας, η συνολική περιοχή ενδιαφέροντος καλύπτεται από ένα πλέγμα (ενώ σε πραγματικές εφαρμογές τα Ευρηλιανά μοντέλα περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό κυψελίδων, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο).

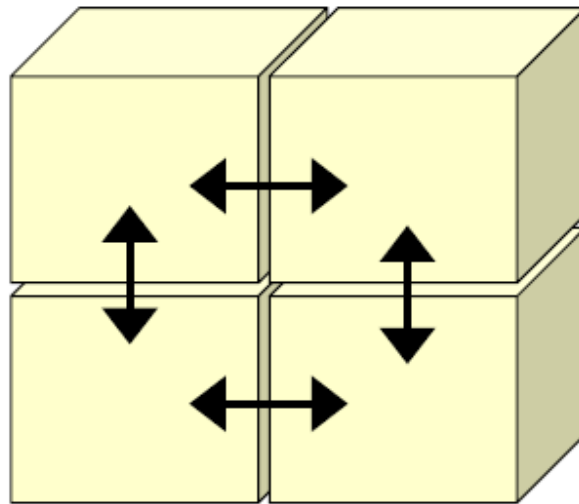
Οι εκπομπές ρύπων μέσα σε αυτή την κυψελίδα μπορεί να προέρχονται τόσο από σημειακές όσο και από εμβαδικές και πηγές όγκου και μια βασική παραδοχή των μοντέλων αυτών είναι ότι υπάρχει ακαριαία ανάμειξή τους σε όλο τον όγκο της κυψελίδας. Μέσα στην κυψελίδα λαμβάνουν χώρα χημικοί μετασχηματισμοί, οι οποίοι όπως και στην περίπτωση των εκπομπών θεωρείται να λαμβάνουν χώρα ομοιογενώς σε ολόκληρο τον όγκο της κυψελίδας. Ο οριζόντιος άνεμος έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει εισροή και εκροή αέρα ενώ η κατακόρυφη διάχυση είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνη για την ανταλλαγή αέρα με το υπερκείμενο στρώμα αέρα.



Σχήμα 3.6 Σχηματικό διάγραμμα των ατμοσφαιρικών διεργασιών σε μια κυψελίδα Ευρηλιανού μοντέλου.

Όπως προαναφέρθηκε, Ευρηλιανά μοντέλα μιας κυψελίδας χρησιμοποιούνται μόνο σε κάποιες απλουστευμένες εφαρμογές όπου επιδιώκουμε μια πρώτη εκτίμηση πιθανών προβλημάτων. Μια πληρέστερη περιγραφή των διεργασιών μπορεί να επιτευχθεί με τον χωρισμό της περιοχής ενδιαφέροντος σε οριζόντιες κυψελίδες οι οποίες στοιβάζονται στο κατακόρυφο. Αυτό επιτρέπει μια περισσότερο ρεαλιστική περιγραφή των επιπτώσεων από πηγές οι οποίες εκπέμπουν ρύπους σε διαφορετικά ύψη γιατί οι ανυψωμένες πηγές μπορεί να τοποθετηθούν σε κάποια υψηλότερη κυψελίδα ενώ οι πηγές εδάφους συνεχίζουν να εκπέμπουν στην χαμηλότερη κυψελίδα. Η εισροή/εκροή των ρύπων από κάθε κυψελίδα είναι συνάρτηση του χρόνου και εξαρτάται από τα τρισδιάστατα μετεωρολογικά πεδία. Ο σχηματισμός δευτερογενών ρύπων λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της μεταφοράς των προδρόμων ρύπων μεταξύ των κυψελίδων.

Κατά συνέπεια τα Ευρηλιανά μοντέλα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον υπολογισμό της διασποράς όταν οι συνθήκες εκπομπών είναι πολύπλοκες και λαμβάνουν χώρα μη γραμμικοί χημικοί μετασχηματισμοί (π.χ. στον σχηματισμό των δευτερογενών ρύπων , όπως, του όζοντος).



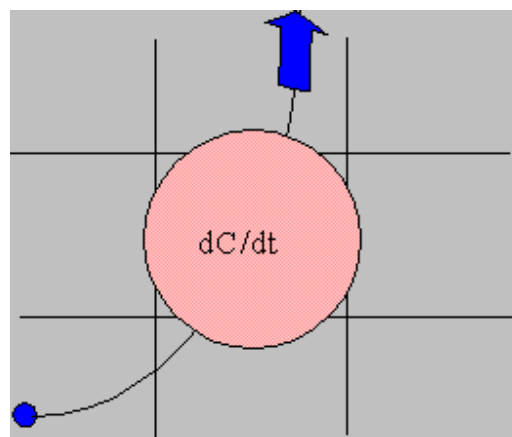
Σχήμα 3.7 Σχηματική αναπαράσταση των πιθανών περιπτώσεων ανταλλαγής αέρα ανάμεσα σε διαφορετικές κυψελίδες σε ένα Ευρηλιανό μοντέλο.

3.4.2 Μοντέλα που ακολουθούν το πρότυπο Lagrange

Σήμερα υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες μοντέλων που βασίζονται στο πρότυπο Lagrange (π.χ. μοντέλα θυσάνου Gauss, μοντέλα πακέτων μάζας (puff models) μοντέλα σωματιδίων (Lagrangian Particle Models), κτλ). Όπως προαναφέρθηκε, σαν γενική αρχή, τα μοντέλα αυτά υπολογίζουν την μεταβολή των συγκεντρώσεων των ρύπων σε ένα πακέτο αέρα το οποίο μεταφέρετε από τον άνεμο.

- Τα μοντέλα θυσάνου του Gauss, τα οποία θα αναλυθούν λεπτομερειακά στο επόμενο κεφάλαιο, βασίζονται στην υπόθεση ότι η συγκέντρωση των ρύπων μέσα στον θύσανο ακολουθεί την κανονική κατανομή.
- Τα μοντέλα πακέτων μάζας (puff models) προσομοιώνουν την εκπομπή των ρύπων με μια σειρά από πακέτα μάζας τα οποία εκλύονται από την πηγή ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της εκπομπής. Κάθε πακέτο μάζας περιλαμβάνει το αντίστοιχο κλάσμα της μάζας του ρύπου. Τα πακέτα μάζας μεταφέρονται από τον άνεμο ενώ το μέγεθός τους διαστέλλεται με τον χρόνο ανάλογα με την ένταση των τυρβωδών κινήσεων της ατμόσφαιρας.
- Στα μοντέλα σωματιδίων (particle models) η πηγή προσομοιώνεται με την εκπομπή ενός μεγάλου αριθμού σωματιδίων κατά την διάρκεια της εκπομπής.

Γενικά, τα μοντέλα που βασίζονται στο πρότυπο Lagrange είναι περισσότερο κατάλληλα για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων πρωτογενών ρύπων οι οποίοι εκπέμπονται από σημειακές πηγές. Ιδιαίτερα χρήσιμα είναι τα μοντέλα αυτά για την επίλυση του αντίστροφου προβλήματος, όταν δηλαδή γνωρίζουμε την συγκέντρωση ενός ρύπου σε κάποιο σημείο και θέλουμε να ακολουθήσουμε την ανάστροφη τροχιά ώστε να προσδιορίσουμε την πηγή η οποία προκάλεσε την συγκεκριμένη συγκέντρωση. Κάθε σωματίδιο θεωρείται ότι περιέχει ένα συγκεκριμένο κλάσμα της μάζας των εκπεμπόμενων ρύπων. Τα σωματίδια μεταφέρονται τόσο από τον άνεμο όσο και από τις τυχαίες τυρβώδεις κινήσεις που επικρατούν στη ατμόσφαιρα. Κατά τον τρόπο αυτό, μια δέσμη σωματιδίων που εκλύονται σε κάποιο σημείο θα εξαπλώνονται τόσο στο χώρο και το χρόνο ανάλογα με την ένταση των τυρβωδών κινήσεων στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 3.8. Τα μοντέλα Lagrange παρακολουθούν την ιστορία διακριτών στοιχείων της ροής, τα οποία κινούνται με τον άνεμο.