



ΟΔΥΣΣΕΥΣ

NAMA

ΕΜΠ

ΔΕΥΑΚ

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ

MDS



Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΟΔΥΣΣΕΥΣ

Τεύχος 7

Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου εκτίμησης
ρυπαντικών φορτίων

Α. Καλιακάτσος, Α. Ανδρεαδάκης, Κ. Νουτσόπουλος

Αθήνα
Δεκέμβριος
2006

Συνεργαζόμενοι φορείς



NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων
Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων



Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης
Καρδίτσας



Αειφορική Δωδεκανήσου Α.Ε.



Άδωνις Κοντός και ΣΙΑ Ε.Ε. (Marathon Data Systems)

Ενότητα Εργασίας 3

**Ανάπτυξη δέσμης μαθηματικών μοντέλων για την
ανάλυση, εκτίμηση και προσομοίωση των
συνιστωσών διαχείρισης των υδατικών πόρων**

Τεύχος 7

**Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου εκτίμησης
ρυπαντικών φορτίων**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το «Ρύπος» είναι ένα μοντέλο εκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων από σημειακές και μη σημειακές πηγές. Το μοντέλο εκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων από μη σημειακές πηγές υλοποιεί τη μέθοδο των συντελεστών εξαγωγής, με την οποία δίνεται η δυνατότητα συσχέτισης των διαφόρων χρήσεων γης με το φορτίο των ρυπαντικών ουσιών που καταλήγει στο υδρογραφικό δίκτυο. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης συγκεκριμένων ομάδων χρήσεων γης/κτηνοτροφίας και συντελεστών εξαγωγής, ώστε να ανταποκρίνονται στις συνθήκες (π.χ. κλιματολογικές, εδαφολογικές, γεωργικές πρακτικές) της περιοχής μελέτης. Το μοντέλο εκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων από σημειακές πηγές παρέχει τη δυνατότητα λεπτομερούς περιγραφής των ρυπογόνων διεργασιών των βιομηχανικών μονάδων (π.χ. κλάδος, δυναμικότητα, παραγωγική διαδικασία, εγκατεστημένα συστήματα προεπεξεργασίας), και των λειτουργικών παραμέτρων των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων (π.χ. εξυπηρετούμενος ισοδύναμος πληθυσμός, βαθμίδα επεξεργασίας). Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα άμεσης εισαγωγής των απορριπτόμενων ρυπαντικών φορτίων, με τη μορφή χρονοσειρών, εφόσον αυτά τα στοιχεία είναι διαθέσιμα από επιτόπου μετρήσεις. Το παρών αποτελεί το τεύχος θεωρητικής τεκμηρίωσης του μοντέλου «Ρύπος».

ABSTRACT

"Rypos" is a model for the assessment of pollution loads originating from point and non-point sources. The model incorporates the method of export coefficients for the estimation of loads originating from diffuse sources (land uses and livestock), which gives the option of correlating various land uses with the mass of polluting substances discharging into the hydrographic network. The program provides the possibility of creating various sets of land uses/livestock and export coefficients, in order to correspond to the specific conditions (e.g. climatic, soil, agricultural practical) of the study area. Regarding the estimation of pollution loads from point sources, the model allows for a detailed description of the industrial units pollutant activities (e.g. sector, capacity, productive processes, installed wastewater treatment systems), and functional parameters of the domestic wastewater treatment plants (e.g. served equivalent population, treatment scheme). Direct import of pollution loads timeseries is also supported, when data from ad loc measurements are available. This report is the scientific documentation of the model "Rypos".

Πίνακας περιεχομένων

1	Το μοντέλο εκτίμησης ρυπαντικών φορτίων «Ρύπος»	v
1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Επισκόπηση διεθνούς βιβλιογραφίας	2
2	Χρήσεις γης και Κτηνοτροφία	5
2.1	Εισαγωγή	5
2.2	Χρήσεις γης	6
2.3	Κτηνοτροφία.....	9
3	Βιομηχανία	13
4	Αστικά Υγρά Απόβλητα	17
5	Άλλες πηγές ρύπανσης	19
6	Συμπεράσματα	21
	Βιβλιογραφία	23

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν τα εξαγόμενα ρυπαντικά φορτία από το έδαφος	7
Πίνακας 2: Συντελεστές εξαγωγής κτηνοτροφίας (Johnes, 1996)	10
Πίνακας 3: Συντελεστές εξαγωγής γεωργικής γης λόγω εφαρμογής κοπριάς από γαλακτοπαραγωγές αγελάδες (Flowers et al., 1996)	11
Πίνακας 4: Συντελεστές απόδοσης συστημάτων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων	18

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση λεκάνης απορροής στο μοντέλο	5
Σχήμα 2: Γεωγραφική κατανομή των χρήσεων γης σε λεκάνη απορροής	22
Σχήμα 3: Γεωγραφική κατανομή του φορτίου αζώτου από χρήσεις γης σε λεκάνη απορροής	22

1 Το μοντέλο εκτίμησης ρυπαντικών φορτίων «Ρύπος»

1.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια υλοποίησης του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο ‘Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ)’ και ειδικότερα της Ενότητας Εργασίας 3, η ερευνητική ομάδα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου συνέταξε το παρόν τεύχος αναφορικά με την ανάπτυξη του μοντέλου εκτίμησης ρυπαντικών φορτίων.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου για την εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων που προκύπτουν σε μια λεκάνη απορροής από σημειακές και μη-σημειακές πηγές ρύπανσης.

Το *πρώτο κεφάλαιο* περιλαμβάνει μια γενική εισαγωγή όπου γίνεται μία σύντομη παρουσίαση των στόχων της Ενότητας Εργασίας 3 του παρόντος ερευνητικού προγράμματος, καθώς επίσης και μια συνοπτική περιγραφή των σημαντικότερων μοντέλων εκτίμησης ρυπαντικών φορτίων.

Το *δεύτερο κεφάλαιο* αναφέρεται στη μέθοδο των συντελεστών εξαγωγής που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων που συσχετίζονται με τις χρήσεις γης και την κτηνοτροφική δραστηριότητα σε μια λεκάνη απορροής.

Στο *τρίτο κεφάλαιο* παρουσιάζεται η μέθοδος των συντελεστών εκπομπής η οποία εφαρμόζεται για την εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων που προκύπτουν από βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Τέλος στο *τέταρτο κεφάλαιο* γίνεται περιγραφή της μεθόδου υπολογισμού των αστικών υγρών αποβλήτων.

1.2 Επισκόπηση διεθνούς βιβλιογραφίας

Τα σημαντικότερα μοντέλα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί διεθνώς σε πλήθος μελετών και για τα οποία υπάρχει σημαντικός αριθμός αναφορών στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι τα των Storm Water Management Model (SWMM), Agricultural Nonpoint Source Pollution Model (AGNPS) και Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS). Στη συνέχεια παρουσιάζονται εν συντομία τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

Το Storm Water Management Model (SWMM) αποτελείται από ένα αριθμό υπομοντέλων τα οποία έχουν σχεδιαστεί προκειμένου να προσομοιώσουν τις ποσοτικές και ποιοτικές διεργασίες που αναπτύσσονται στον αστικό υδρολογικό κύκλο. Οι ποιοτικές διεργασίες οι οποίες είναι ενταγμένες στο υπομοντέλο της απορροής περιλαμβάνουν την εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων της επιφανειακής απορροής μέσω διαφόρων μεθόδων:

- τη συγκέντρωση των ρύπων κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων και την έκπλυσή τους κατά τις υγρές περιόδους,
- την προσέγγιση μέσω των καμπυλών εκτίμησης στις οποίες το φορτίο είναι ανάλογο προς την παροχή σε μια δύναμη,
- τη χρήση σταθερής συγκέντρωσης των ρύπων (περιλαμβανομένων των ρύπων των κατακρημνισμάτων)
- την εφαρμογή της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation – USLE).

Το Agricultural Nonpoint Source Pollution Model (AGNPS) αναπτύχθηκε από το U.S. Department of Agriculture – Agriculture Research Service ώστε να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών της απορροής (με έμφαση στα θρεπτικά και τα ιζήματα) και να συγκρίνει την επίδραση των διαφόρων πρακτικών ελέγχου της ρύπανσης οι οποίες εντάσσονται στα πλαίσια της διαχείρισης των λεκανών απορροής. Το AGNPS προσομοιώνει την παραγωγή ιζημάτων και θρεπτικών από αγροτικές λεκάνες απορροής είτε για μεμονωμένες καταιγίδες είτε σε συνεχή προσομοίωση. Οι λεκάνες απορροής που εξετάζονται με το AGNPS πρέπει να διαιρεθούν σε κελιά (τετραγωνικές περιοχές). Η συνένωση κελιών σχηματίζει τις υπολεκάνες οι οποίες μπορούν να εξετασθούν μεμονωμένα. Τα αποτελέσματα του μοντέλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των πηγών της υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτων που ενδεχομένως εμφανίζεται σε μια λεκάνη, και στη συνέχεια να διερευνηθούν διάφορες λύσεις αυτών των προβλημάτων.

Το AGNPS μπορεί επίσης να δεχθεί σημειακά φορτία από κτηνοτροφικές μονάδες και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Στο μοντέλο, οι ρύποι διοδεύονται από τα ανάντη προς την έξοδο της λεκάνης σε μια σειρά βημάτων ώστε σε κάθε θέση της λεκάνης απορροής να μπορεί να εξετασθεί η παροχή και η ποιότητα της απορροής. Η διάβρωση του εδάφους εκτιμάται με χρήση της Τροποποιημένης Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE), ενώ για τη ροή στη λεκάνη χρησιμοποιείται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Τα ρυπαντικά φορτία χωρίζονται σε ένα διαλυτό μέρος και στο κλάσμα το οποίο είναι προσκολλημένο στα ιζήματα. Ο υπολογισμός του αζώτου και του φωσφόρου πραγματοποιείται μέσω συσχετίσεων της συγκέντρωσής τους, της στερεοαπορροής και του όγκου της απορροής.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα δεδομένα της λεκάνης απορροής και τα δεδομένα των κελιών. Τα δεδομένα της λεκάνης απορροής περιλαμβάνει πληροφορία η οποία ισχύει για ολόκληρη τη λεκάνη δηλαδή το μέγεθός της, το πλήθος

των κελιών, και αν «τρέχει» για μια καταιγίδα την έντασή της. Τα δεδομένα των κελιών περιλαμβάνουν πληροφορία σχετικά με τις παραμέτρους που σχετίζονται με τις χρήσεις γης στο κελί. Σημειώνεται πως η εφαρμογή του μοντέλου AGNPS απαιτεί σημαντικό όγκο δεδομένων εισόδου, τα οποία ωστόσο μπορούν να προκύψουν από επιτόπου παρατηρήσεις, χάρτες και διάφορες βιβλιογραφικές πηγές.

Το Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS) αναπτύχθηκε στο Agricultural Engineering Department του Purdue University. Η εφαρμογή του ANSWERS απαιτεί τη διαίρεση της λεκάνης σε κελιά, κατ' αναλογία με το AGNPS. Κάθε κελί πρέπει να είναι αρκετά μικρό ώστε να μην εμφανίζεται διαφοροποίηση των σημαντικών παραμέτρων εντός των ορίων του. Τα θρεπτικά (άζωτο και φώσφορος) προσομοιώνονται με της χρήσης σχέσεων μεταξύ της συγκέντρωσής τους, της στερεοαπορροής και του όγκου απορροής. Για την εφαρμογή του μοντέλου απαιτείται λεπτομερής περιγραφή της τοπογραφίας της λεκάνης, του υδρογραφικού δικτύου, των εδαφών και των χρήσεων γης.

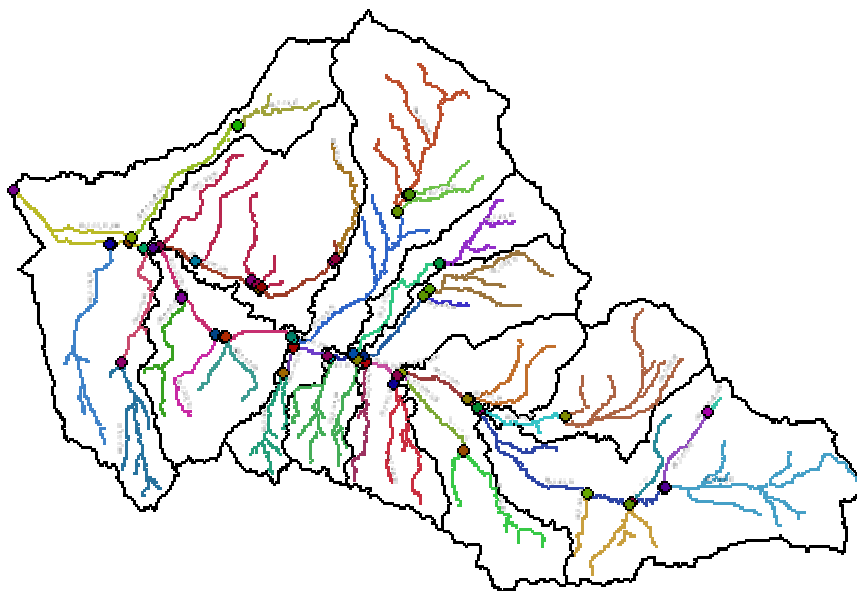
Το μοντέλο εκτίμησης ρυπαντικών φορτίων «Ρύπος» προέκυψε από την ανάλυση απαιτήσεων και το λογικό σχεδιασμό που πραγματοποιήθηκε αξιολογώντας την υφιστάμενη τεχνογνωσία και εμπειρία της ερευνητικής ομάδας, καθώς επίσης τις ανάγκες της αγοράς και την απαίτηση δημιουργίας ενός μοντέλου που να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της διαδικασίας ανάλυσης πιέσεων και να παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου στα μοντέλα της δίαιτας των ρύπων σε λίμνες και υδατορεύματα. Οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν βάσει κριτηρίων που έχουν να κάνουν με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους σε συνδυασμό πάντα με την ευκολία και το χαμηλό κόστος εφαρμογής, είναι οι εξής:

- Η μέθοδος των συντελεστών εξαγωγής για ρυπαντικά φορτία που προέρχονται από τις χρήσεις γης και την κτηνοτροφία
- Η μέθοδος των συντελεστών εκπομπής για την εκτίμηση των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων
- Μέθοδος εκτίμησης των αστικών υγρών αποβλήτων

2 Χρήσεις γης και Κτηνοτροφία

2.1 Εισαγωγή

Για τις ανάγκες εκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων από μη σημειακές (διάχυτες) πηγές, όπως οι επιφανειακές απορροές που προκύπτουν από τις χρήσεις γης και την κτηνοτροφία, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο το οποίο βασίστηκε στη μέθοδο των συντελεστών εξαγωγής (export coefficients). Η συγκεκριμένη προσέγγιση υπολογίζει το ετήσιο φορτίο ενός ρύπου (κυρίως θρεπτικών) που καταλήγει σε ένα υδάτινο σώμα ως το άθροισμα των επιμέρους φορτίων που προκύπτουν από κάθε πηγή στα όρια της λεκάνης απορροής.



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση λεκάνης απορροής στο μοντέλο

Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου εκτός της απλότητάς της και των περιορισμένων απαιτήσεων σε δεδομένα, είναι πως ουσιαστικά δεν τίθεται περιορισμός στη χωρική κλίμακα εφαρμογής της, καθώς πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν σε μικρής κλίμακας εφαρμογές μπορούν να αναχθούν σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Βασικό μειονέκτημα άλλων πιο σύνθετων μεθόδων οι οποίες υλοποιούνται σε φυσικά μοντέλα και εκτιμούν τη διακύμανση των ρυπαντικών φορτίων σε πραγματικό χρόνο, είναι πως έχουν σημαντικό κόστος εφαρμογής, ενώ εμφανίζουν ικανοποιητική λειτουργία σε μικρές λεκάνες απορροής και δυσκολία ρύθμισης σε μεγαλύτερες λεκάνες, κυρίως λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε δεδομένα. Αντιθέτως με τη συγκεκριμένη μέθοδο ελαχιστοποιείται ο χρόνος και το κόστος εφαρμογής καθιστώντας την έτσι σημαντικό εργαλείο εκτίμησης των πιέσεων από μη σημειακές πηγές σε επίπεδο λεκάνης απορροής το οποίο έχει εφαρμοστεί σε πλήθος μελετών διεθνώς.

Η μέθοδος των συντελεστών εξαγωγής εκτιμά το συνολικό ετήσιο ρυπαντικό φορτίο που απορρέει στη λεκάνη απορροής ενός επιφανειακού υδάτινου σώματος, συναρτήσει της διαφόρων παραγόντων

οι οποίοι εμφανίζονται ως διάχυτες πηγές ρύπανσης. Το μοντέλο συντίθεται με δεδομένα που αφορούν τη χωρική κατανομή των χρήσεων γης και των εφαρμοζόμενων λιπάνσεων στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις, το πλήθος και την κατανομή της κτηνοτροφίας και την είσοδο θρεπτικών ή άλλων στοιχείων μέσω άλλων οδών όπως οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις. Έτσι, οι συντελεστές εξαγωγής συσχετίζουν την απορρέουσα ποσότητα των διαφόρων ρύπων με τη μονάδα έκτασης των επιμέρους χρήσεων γης (σε km²), με τον αριθμό των ζώων που περιλαμβάνεται σε συγκεκριμένου τύπου κτηνοτροφική δραστηριότητα ή με την επιφάνεια των υδατίνων σωμάτων στην οποία κατανέμεται η ατμοσφαιρική κατακρημνιση.

Τονίζεται πως με γνωστή την συνολική ετήσια παροχή που διέρχεται από τη θέση εξόδου της λεκάνης απορροής η οποία εξετάζεται, οι εκτιμήσεις των ρυπαντικών φορτίων μπορούν να εκφραστούν σε όρους μέσης ετήσιας συγκέντρωσης των διαφόρων στοιχείων. Παρέχεται έτσι η δυνατότητα ρύθμισης του μοντέλου βάσει δεδομένων που προέκυψαν από προγράμματα δειγματοληψίας στη θέση ελέγχου.

Η μαθηματική σχέση η οποία εκφράζει τη μέθοδο των συντελεστών εξαγωγής είναι η ακόλουθη:

$$L = \sum_{i=1}^n E_i A_i$$

όπου L: το απορρέον ρυπαντικό φορτίο

E: ο συντελεστής εξαγωγής για την πηγή i (χρήση γης ή κτηνοτροφία)

A: η έκταση της χρήσης γης τύπου i που περιλαμβάνεται στις λεκάνη απορροής ή το πλήθος των ζώων της κτηνοτροφίας τύπου i

Σημειώνεται πως η ποσότητα των ρύπων που εισέρχονται στο σύστημα μέσω των κατακρημνίσεων λαμβάνεται υπόψη βάσει του ποσοστού της έκτασης της λεκάνης απορροής που καταλαμβάνεται από υδάτινα σώματα και ενός συντελεστή εξαγωγής ο οποίος προκύπτει από τη συγκέντρωση του ρύπου στις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις πολλαπλασιασμένος με το συνολικό ετήσιο όγκο βροχοπτώσεων.

Τιμές των συντελεστές εξαγωγής μπορούν να ανευρεθούν σε πλήθος βιβλιογραφικών πηγών ή να προκύψουν μέσω σχετικών ερευνητικών προγραμμάτων. Στα πλαίσια της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις συνθήκες εφαρμογής της μεθόδου συντελεστών εξαγωγής, την αναγνώριση της επίδρασης διαφόρων σημαντικών παραγόντων και τη χωρική και χρονική διάσταση της εκροής ρύπων στα επιφανειακά ύδατα. Στο παράρτημα I παρατίθενται πίνακες συντελεστών εξαγωγής και του εύρους των τιμών τους, όπως καταρτίστηκαν μέσα από τη βιβλιογραφική έρευνα, με στοιχεία των λεκανών απορροής από τις οποίες προέκυψαν.

2.2 Χρήσεις γης

Τα εξαγόμενα φορτία θρεπτικών από τις διάφορες χρήσεις γης εξαρτώνται από πλήθος παραγόντων που έχουν να κάνουν τόσο με τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, όσο και με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες.

Για παράδειγμα, παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια αζώτου από πορώδη εδάφη (άμμος) παρά από αργίλους ή εδάφη πλούσια σε οργανικά. Επίσης έντονες βροχοπτώσεις σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις

θα οδηγήσουν σε εντονότερη διάβρωση και απώλεια θρεπτικών από ότι σε επίπεδες και ξηρές περιοχές.

Σημαντικό ρόλο επίσης έχουν οι γεωργικές πρακτικές καθώς εμφανίζεται εξάρτηση των απωλειών θρεπτικών με την ένταση της εφαρμοζόμενης λίπανσης. Συγκεκριμένα, αναφέρονται απώλειες της τάξης του 2 – 5% για εφαρμοζόμενες ποσότητες 250 kg N ha^{-1} και 10-40% στα 500 kg N ha^{-1}. Στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις η εξαγωγή θρεπτικών είναι υψηλότερη απ' ότι στους βοσκοτόπους, καθώς παραμένουν «γυμνές» για μεγάλο μέρος του έτους. Η απουσία βιομάζας ευνοεί τη διάβρωση και τις μεγαλύτερες απορροές, ενώ η άμεση βόσκηση σε εκτάσεις στις οποίες παράγεται ζωοτροφή αυξάνει τους ρυθμούς εξαγωγής θρεπτικών λόγω της συμπίκνωσης του εδάφους (μείωσης διαπερατότητας → αύξηση των απορροών), όπως επίσης και της συμμετοχής των θρεπτικών που προέρχονται από τα περιττώματα των ζώων.

Λόγω της έντονης συσχέτισης των συντελεστών εξαγωγής με τις τοπικές συνθήκες συχνά είναι περιορισμένη η δυνατότητα χρησιμοποίησης συντελεστών που έχουν προκύψει σε άλλες περιοχές. (Clesceri et al. 1986)

Στον επόμενο πίνακα περιλαμβάνονται παράγοντες που επηρεάζουν τις εξαγόμενες ποσότητες θρεπτικών από την επιφάνεια του εδάφους:

Πίνακας 1: Παράγοντες που επηρεάζουν τα εξαγόμενα ρυπαντικά φορτία από το έδαφος

Κλίμα	Θερμοκρασία Ένταση, χωρική και χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων Ταχύτητα και ταχύτητα του ανέμου (εξάτμιση)
Γεωλογία	Δίκτυα ροής Παρουσία και συμπεριφορά των υπόγειων υδροφορέων
Τοπογραφία	Κλίσεις του εδάφους Παρουσία πλημμυροπεδιάδων
Έδαφος	Μηχανικές ιδιότητες και χημική σύσταση Δομή επιφανειακού εδάφους Υδραυλική αγωγιμότητα Δυνατότητα συγκράτησης θρεπτικών
Υδρολογία	Διόδευση - σύνδεση της επιφανειακής απορροής με το υδρογραφικό δίκτυο Εποχιακή μεταβολή στις διαδρομές της απορροής Επικοινωνία των υπόγειων υδροφορέων με τα επιφανειακά νερά Άρδευση και άλλες ανθρώπινες επεμβάσεις
Μέθοδοι διαχείρισης	Χρόνος εφαρμογής λιπασμάτων Διάθεση ιλύος από βιολογικούς καθαρισμούς, κοπριάς ή ασβεστογάλατος Τύποι καλλιεργειών Συγκομιδή ζωοτροφής Εντατικοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας Κτηνοτροφική δραστηριότητα Πολλαπλές συγκομιδές σε 1 έτος
Επεξεργασία αστικών λυμάτων	Ποσοστό του πληθυσμού που χρησιμοποιεί σηπτικούς – απορροφητικούς βόθρους

	Βαθμίδα επεξεργασίας αποβλήτων Απομάκρυνση φωσφόρου
Χωρική κατανομή των πηγών θρεπτικών στη λεκάνη	Εγγύτητα και επικοινωνία των πηγών θρεπτικών με το υδρογραφικό δίκτυο

Η διόδευση της απορροής, δηλαδή τα χαρακτηριστικά της ροής και των διαδρομών που ακολουθεί το νερό μέχρι να καταλήξει στα επιφανειακά υδάτινα σώματα, εξαρτάται κυρίως από φυσιογραφικούς παράγοντες (γεωλογία – τοπογραφία – έδαφος). Οι διαδρομές αυτές μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: τις «γρήγορες» (επιφανειακή απορροή) και τις «αργές» (υποδερμική απορροή). Η υπεδάφια κίνηση του νερού, ως πιο αργή από την επιφανειακή, παρέχει μεγαλύτερο χρόνο επαφής των θρεπτικών με τα φυτά και το έδαφος, οπότε και παρατηρείται μείωση του φορτίου λόγω απόληψης και κατακράτησης. Έτσι, παρατηρείται σημαντική μείωση των φορτίων όταν διέρχονται από περιοχές που παρουσιάζουν χαμηλούς ρυθμούς εξαγωγής θρεπτικών και αυξημένες δυνατότητες κατακράτησης, όπως δασώδεις περιοχές και λειμώνες (Reckhow and Simpson, 1980; Johnes, 1990). Σημειώνεται πως τέτοιες περιοχές φυσικής βλάστησης ή μη εφαρμογής λιπασμάτων, μπορούν να αποτελέσουν ζώνες ανάσχεσης των ρυπαντικών φορτίων, κατά τον ίδιο τρόπο με τις παραποτάμιες περιοχές κατά μήκος των υδατορρευμάτων, μειώνοντας το φορτίο που καταλήγει σε αυτά από τις ανάντη πηγές θρεπτικών. Τα χαρακτηριστικά λοιπόν των διαδρομών απορροής καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη σημασία της χωρικής κατανομής των πηγών εξαγωγής θρεπτικών και της απόστασής τους από τα επιφανειακά υδάτινα σώματα.

Στη βιβλιογραφία οι συντελεστές εξαγωγής που αφορούν θρεπτικά εκφράζονται κυρίως σε όρους ολικού αζώτου (TN) και ολικού φωσφόρου (TP), γιατί αποτελούν αξιόπιστους δείκτες της χρονικής μεταβολής του συνολικού φορτίου θρεπτικών καθώς παρουσιάζουν μικρότερη εποχιακή διακύμανση απ' ό,τι οι συγκεντρώσεις των επιμέρους χημικών μορφών τους (Johnes et al. 1996). Οι διάφορες όμως μορφές των στοιχείων παρέχουν σημαντική πληροφόρηση για τις συνθήκες που επικρατούν στις υδρολογικές λεκάνες απορροής στις οποίες πραγματοποιείται η διαδικασία καθορισμού συντελεστών εξαγωγής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως στις «γρήγορες διαδρομές» (άμεση επιφανειακή απορροή), όπου τα μεταφερόμενα φορτία σχετίζονται με τη στερεομεταφορά, ευνοούνται οι υψηλές συγκεντρώσεις $\text{NH}_4\text{-N}$ και σωματιδιακού και διαλυτού οργανικού αζώτου, και οι αδιάλυτες και ανενεργές μορφές του φωσφόρου. Αντιθέτως, στις «αργές διαδρομές» της υποδερμικής ροής, το άζωτο απαντάται κυρίως στη μορφή $\text{NO}_3\text{-N}$, ενώ ο φώσφορος στη βιοδιαθέσιμη μορφή των ορθοφωσφορικών ($\text{PO}_4\text{-P}$). (Johnes et al. 1997)

Εκτός από τη χωρική κατανομή των πηγών εξαγωγής θρεπτικών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση χρονικής διακύμανσης των ρυπαντικών φορτίων, η οποία οφείλεται στο συνδυασμό της υδρολογικής διαίτας της λεκάνης με άλλους παράγοντες, όπως οι ανθρώπινες δραστηριότητες και πρακτικές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως σε οικιστικές περιοχές το μήνα Φεβρουάριο μετρήθηκαν συγκεντρώσεις αζώτου 4 φορές μεγαλύτερες από αυτές των μηνών του φθινοπώρου και του χειμώνα. Η αύξηση αυτή σχετίζεται με το γεγονός πως στις συγκεκριμένες περιοχές στις αυλές των σπιτιών διατηρούνται σημαντικές εκτάσεις χορτοτάπητα, στις οποίες κατά το μήνα Φεβρουάριο πραγματοποιείται η εφαρμογή λιπασμάτων (Line et al. 2002). Στην ίδια αναφορά σημειώνεται πως το 50% της ετήσιας απορροής θρεπτικών του έτους 1999 από γήπεδα γκολφ, πραγματοποιήθηκε το μήνα Σεπτέμβριο ο οποίος ήταν εξαιρετικά υγρός με την εμφάνιση σημαντικών υψών βροχής. Τονίζεται πως η χρονική διακύμανση των φορτίων δεν είναι κοινή για όλες τις χρήσεις γης, αφού εξαρτάται από

τη δυνατότητά τους να αποδίδουν απορροές. Έτσι, περιοχές με μικρό ποσοστό αδιαπέρατων εκτάσεων, με ανεπαρκή συστήματα απομάκρυνσης των ομβρίων, και σχετικά πυκνή βλάστηση, απαιτούν σημαντικότερα ύψη βροχής σε σχέση με άλλες προκειμένου να προκύψουν απορροές.

Σύμφωνα τους McFarland A. and Hauck L. (1998), παρατηρείται σημαντική συσχέτιση των ρυπαντικών φορτίων με το μέγεθος των απορροών, που φτάνει μέχρι τον μηδενισμό τους. Ωστόσο παραμένει σε υψηλά επίπεδα η τυπική απόκλιση των τιμών των συντελεστών εκπομπής. Οι ίδιοι συγγραφείς σημειώνουν πως περίοδοι με υπερβολικά υψηλή ροή πρέπει να θεωρούνται ως αντιπροσωπευτικές των συνθηκών υψηλής ροής και όχι απαραίτητα ενδεικτικές της «μέσης» απόκρισης της υδρολογικής λεκάνης σε περιόδους υψηλών απορροών. Η παραπάνω επισήμανση αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε λεκάνες όπου παρατηρείται γεωγραφική μεταβλητότητα των κατακρημνισμάτων και ως εκ τούτου άγνωστη επίδραση στα χαρακτηριστικά της απόκρισης των διαφόρων χρήσεων γης, ειδικά όταν εξετάζεται μια σχετικά μικρή χρονική περίοδος, όπως ο μήνας.

Παρά τις διάφορες μεμονωμένες αναφορές στη χρονική διακύμανση των ρυπαντικών φορτίων, δεν υπάρχει συστηματική ποσοτικοποίηση αυτών των φαινομένων. Ωστόσο διακρίνεται η άμεση συσχέτισή της με την υδρολογική δίαιτα της λεκάνης απορροής.

2.3 Κτηνοτροφία

Τα ρυπαντικά φορτία που προκύπτουν από την κτηνοτροφία είναι πιθανό να ποικίλουν έντονα, ακόμα και ομοειδών μονάδων στην ίδια περιοχή, λόγω των πρακτικών που εφαρμόζουν οι κτηνοτροφικές μονάδες. Έτσι, οι πιθανές αιτίες έχουν να κάνουν με την ποσότητα των θρεπτικών που εκκρίνονται από τα ζώα, πριν αυτές καταλήξουν στα επιφανειακά υδάτινα σώματα, είναι οι εξής:

- *Διαφορές μεταξύ των ζώων:* Αφορούν διαφορές στο βάρος ή την παραγωγικότητα μεταξύ ζώων του ίδιου είδους, καθώς η απαραίτητη τροφή αποτελεί συνάρτηση τόσο του μεταβολικού βάρους (για τη συντήρηση του ζώου) όσο και της παραγωγικότητάς (π.χ. παραγόμενο γάλα). Για παράδειγμα παρατηρούνται διαφορές της τάξης των 200 kg στο βάρος των γαλακτοπαραγωγών αγελάδων και των 5000 kg στην ποσότητα του παραγόμενου γάλακτος.
- *Διατροφικές διαφορές:* Το περιεχόμενο σε N των ζωοτροφών ενδέχεται να κυμαίνεται ευρέως λόγω της φύσης της καλλιέργειας και το επιπέδου λίπανσης. Πειράματα στα οποία υπήρχε έντονη διακύμανση του ποσοστού του N κατέληξε σε κατανάλωση αζώτου κυμαινόνταν από 400 έως 700 g/αγελάδα/ημέρα και σε περιεχόμενο N στην κοπριά, από 250 έως 500 g/αγελάδα/ημέρα.
- *Συνθήκες σταβλισμού και αποθήκευσης:* Οι διαφορετικοί ρυθμοί απώλειας αμμωνίας μεταξύ της στιγμής έκκρισης του αζώτου και της στιγμής απόθεσης της κοπριάς στο έδαφος εξηγεί κατά ένα μέρος τη διακύμανση του περιεχόμενου αζώτου.

- *Συνδυασμένη επίδραση:* Ο συνδυασμός των προηγούμενων παραγόντων μπορεί να οδηγήσει σε μια ακόμη μεγαλύτερη διακύμανση του αζώτου στην κοπριά.

Η προσέγγιση που ακολουθείται όσον αφορά τις ποσότητες των θρεπτικών που καταλήγουν στα επιφανειακά ύδατα βασίζεται στο ποσοστό των απωλειών που προκύπτουν από την κοπριάς η οποία απλώνεται σε γεωργικές εκτάσεις. Συνεπώς, ένα πρώτο βήμα αποτελεί η εκτίμηση των θρεπτικών που περιέχεται στην κοπριά. Στην EC (2002) προτείνεται ένα ισοζύγιο το οποίο καταστρώνεται ως εξής:

$$N_{\text{manure}} = N_{\text{diet}} - N_{\text{products}} - N_{\text{gaseous losses from buildings, manure storage and grazing}}$$

Δηλαδή, η ποσότητα αζώτου που περιέχεται στην αποτιθέμενη κοπριά προκύπτει αν από αυτή που καταναλώνεται από το ζώο αφαιρεθεί η ποσότητα που περιέχεται στα ζωικά προϊόντα (π.χ. γάλα, αυγά) και οι λοιπές απώλειες από τα κτίρια, την αποθήκευση και τη βόσκηση. Η συγκεκριμένη αναφορά περιλαμβάνει πλήθος στοιχείων για τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στο ισοζύγιο, οπότε τελικά είναι δυνατός ο υπολογισμός του περιεχόμενου στην κοπριά αζώτου. Οι κατηγορίες ζώων που περιλαμβάνονται είναι οι: βοοειδή, χοίροι, κότες, γαλοπούλες και πρόβατα.

Από τη στιγμή που η κοπριά αποθεθεί στο έδαφος, οι απώλειες θρεπτικών οι οποίες τελικά καταλήγουν στα επιφανειακά υδάτινα σώματα, ακολουθούν τις ίδιες διαδρομές και εξαρτώνται από τους ίδιους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζονται οι απώλειες θρεπτικών από τις χρήσεις γης. Αυτό σημαίνει πως πρέπει να είναι ξεκάθαρη η συμμετοχή ή μη κτηνοτροφικών φορτίων στους συντελεστές εξαγωγής που χρησιμοποιούνται για τις διάφορες χρήσεις γης, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος υπερεκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων.

Ο Johnes (1996) θεωρεί πως οι απώλειες των θρεπτικών αντιστοιχούν στο 17% για το άζωτο και το 3% για τον φώσφορο. Λαμβάνει ωστόσο για κάθε ζώο διαφορετικά ποσοστά κοπριάς που αποτίθεται σε γεωργική γη: 95% για τα βοοειδή, 85% για τους χοίρους, 100% για τα αιγοπρόβατα, 90% για τα πουλερικά και 95% για τα ιπποειδή. Έτσι διαμορφώνεται ο εξής πίνακας:

Πίνακας 2: Συντελεστές εξαγωγής κτηνοτροφίας (Johnes, 1996)

ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ	TN	TP
	ΕΙΣΟΔΟΙ (kg/ca/yr) ΑΠΩΛΕΙΕΣ (%)	ΕΙΣΟΔΟΙ (kg/ca/yr) ΑΠΩΛΕΙΕΣ (%)
Βοοειδή	70,2 (16,2%)	7,65 (2,85%)
Χοίροι	18,7 (14,5%)	5,63 (2,55%)
Αιγοπρόβατα	8,9 (17%)	1,5 (3%)
Πουλερικά	0,3 (15,3%)	0,2 (2,7%)
Ιπποειδή	76,8 (16,2%)	11,4 (2,85%)

Ενδιαφέροντα είναι τα στοιχεία που δείχνουν την μεταβλητότητα των κτηνοτροφικών ρυπαντικών φορτίων, σε μια μελέτη (Flowers et al., 1996) η οποία περιλάμβανε την παρακολούθηση της σύστασης της απορροής από 8 αγροτεμάχια στα οποία είτε στο παρελθόν είτε τη χρονική περίοδο της μελέτης,

είχε αποθεθεί κοπριά από γαλακτοπαραγωγές αγελάδες. Τα αποτελέσματα δίνονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 3: Συντελεστές εξαγωγής γεωργικής γης λόγω εφαρμογής κοπριάς από γαλακτοπαραγωγές αγελάδες (Flowers et al., 1996)

ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ	TN (kg/ha/yr)	TP (kg/ha/yr)
1 Σανός σόργου/ χειμερινά σιτηρά Πότισμα με υγρά απόβλητα	19,29	7,24
2 Σανός σόργου/ χειμερινά σιτηρά Πότισμα με υγρά απόβλητα	18,38	6,79
3 Παράκτια χλόη Υποδοχή κοπριάς	3,01	2,22
4 Παράκτια χλόη Υποδοχή κοπριάς με Filter Strip	2,72	1,69
5 Παράκτια χλόη με ιστορικό εφαρμογής κοπριάς	0,99	0,53
6 Σανός σόργου/ χειμερινά σιτηρά Πότισμα με υγρά απόβλητα	14,49	4,81
7 Παράκτια χλόη χωρίς απόθεση κοπριάς κατά την περίοδο της μελέτης	4,95	2,16
8 Σανός σόργου/ χειμερινά σιτηρά χωρίς απόθεση κοπριάς κατά την περίοδο της μελέτης	3,40	0,76

3 Βιομηχανία

Η «μέθοδος των συντελεστών εκπομπής» αποτελεί έναν τρόπο εκτίμησης της παραγωγής αποβλήτων και της απόδοσης διαφόρων μεθόδων συστημάτων επεξεργασίας, με την εφαρμογή συντελεστών μετατροπής της ετήσιας παραγωγής προϊόντων ή κατανάλωσης πρώτων υλών σε εκπομπές συγκεκριμένων ρύπων.

Τονιστεί πως το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η διακύμανση των εκπομπών, ακόμα και μεταξύ ομοειδών βιομηχανιών οι οποίες όμως ακολουθούν διαφορετικές παραγωγικές διαδικασίες. Αυτή είναι μια συνήθης περίπτωση τόσο στην Ελλάδα όσο και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, όπου παρατηρούνται τεράστιες τεχνολογικές διαφορές μεταξύ των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου όμως είναι η ευκολία εφαρμογής της η οποία αν συνδυαστεί με την ύπαρξη κατάλληλων συντελεστών για τη βιομηχανική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης, την καθιστούν το πλέον εύχρηστο και αξιόπιστο εργαλείο εκτίμησης υγρών, αέριων ή στερεών βιομηχανικών αποβλήτων. Η στατιστική φύση των συντελεστών μπορεί να οδηγήσει σε εκτιμήσεις πιο αντιπροσωπευτικές ακόμα και από την άμεση παρακολούθηση των ρύπων στη πηγή και να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο στον σχεδιασμό των συστημάτων ελέγχου των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, μέσα από την ανάπτυξη διαφόρων εναλλακτικών λειτουργικών σεναρίων τα οποία να περιλαμβάνουν τόσο επεμβάσεις στην παραγωγική διαδικασία όσο και στα εφαρμοζόμενα συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων (Best Available Techniques – B.A.T)

Οι συντελεστές εκπομπής των υγρών αποβλήτων εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, μέσω των οποίων τονίζεται ο τοπικός χαρακτήρας αυτών:

- Είδος πηγής: Βιομηχανική δραστηριότητα εγκατάστασης
- Μονάδα δραστηριότητας: Ποσότητες καταναλισκόμενων πρώτων υλών ή παραγόμενων προϊόντων
- Διεργασία: Ιδιαιτερότητες της διεργασίας ή του σχεδιασμού
- Πηγή: Ηλικία, τεχνολογική υποδομή, συντήρηση και συνθήκες λειτουργίας
- Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων: Τύπος, ηλικία και σχεδιασμός
- Εξωτερικές συνθήκες: θερμοκρασία, υγρασία, γενικά κλιματολογικές συνθήκες

Οι συντελεστές εκπομπής δίνουν τον όγκο και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που προκύπτουν από τις διάφορες παραγωγικές διεργασίες. Οι συντελεστές αυτοί εκφράζουν τις εκπομπές χωρίς να υποβάλλονται στον «έλεγχο» κάποιου συστήματος επεξεργασίας.

Αντιθέτως για τα συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων καθορίζονται οι συντελεστές απόδοσης οι οποίοι εκφράζουν την ποσοστιαία μείωση του φορτίου που αυτό επιτυγχάνει, δηλαδή την απόδοση του συστήματος.

Από τα παραπάνω φαίνεται πως σημαντικός παράγοντας για την εφαρμογή της μεθόδου, είναι η ύπαρξη μελετών σχετικών φορέων (ερευνητικά ιδρύματα, υπουργεία) και προσαρμοσμένων στις συνθήκες της χώρας (τοπικός χαρακτήρας). Ωστόσο στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές πηγές (IPPC BREF, UNEP, WHO, US EPA) από τις οποίες προκύπτουν συντελεστές εκπομπής και απόδοσης, οι οποίοι μπορούν να εφαρμοσθούν με επιφυλάξεις όμως ως προς την δυνατότητα προσέγγισης των εκάστοτε τοπικών συνθηκών.

Η μαθηματική σχέση έκφρασης της μεθόδου των συντελεστών εκπομπής είναι η εξής:

$$L_r = (1 - A_r) \sum_{i=1}^n E_{i,r} G_i$$

όπου

r : ο ρύπος για τον οποίο πραγματοποιείται ο υπολογισμός

L_r : το απορριπτόμενο ρυπαντικό φορτίο της βιομηχανίας

$E_{i,r}$: ο συντελεστής εκπομπής της παραγωγικής διεργασίας i ως προς τον ρύπο r .

G_i : η ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος ή της καταναλισκόμενης πρώτης ύλης που σχετίζεται με την παραγωγική διεργασία i

A_r : ο συντελεστής απόδοσης του εγκατεστημένου συστήματος επεξεργασίας για τον συγκεκριμένο ρύπο (αν δεν υπάρχει $A=0$)

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου για τον υπολογισμό των απορριπτόμενων βιομηχανικών ρυπαντικών φορτίων:

Έστω βιομηχανία που δραστηριοποιείται στον κλάδο των τροφίμων και παράγει 4.500 t/y γιαούρτι και 7.000 t/y φρέσκο γάλα. Η βιομηχανία εφαρμόζει δευτεροβάθμια – βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της.

1. Στους πίνακες συντελεστών εκπομπής της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας εντοπίζονται οι συντελεστές εκπομπής των παραπάνω διεργασιών:

Προϊόν	Μονάδα Δυναμικότητας	Υδραυλικό Φορτίο (m ³ /U)	BOD ₅ (kg/U)	TSS (kg/U)	Tot N (kg/U)	Tot P (kg/U)
Γιαούρτι	t προϊόντος	3,9	3,21	1,5	0,31	0,68
Φρέσκο γάλα	t προϊόντος	0,68	0,46	0,03	0,49	0,11

2. Υπολογίζεται το παραγόμενο ρυπαντικό φορτίο πολλαπλασιάζοντας της στήλες που αντιστοιχούν στους συντελεστές εκπομπής κάθε ρύπου με τις αντίστοιχες ποσότητες των προϊόντων:

Προϊόν	Ποσότητα	Υδραυλικό Φορτίο (m ³ /y)	BOD ₅ (kg/y)	TSS (kg/y)	Tot N (kg/y)	Tot P (kg/y)
Γιαούρτι	4.500 t	17.550	14.445	6.750	1.395	3.060
Φρέσκο γάλα	7.000 t	4.760	3.220	210	3.430	770

3. Αθροίζοντας κατά στήλη προκύπτει το συνολικό παραγόμενο φορτίο κάθε ρύπου:

Υδραυλικό Φορτίο (m ³ /y)	BOD ₅ (kg/y)	TSS (kg/y)	Tot N (kg/y)	Tot P (kg/y)
22.310	17.665	6.960	4.825	3.830

4. Από τους πίνακες της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, οι συντελεστές απόδοσης ενός συστήματος δευτεροβάθμιας βιολογικής επεξεργασίας σε υγρά απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων είναι οι εξής:

Υδραυλικό Φορτίο (%)	BOD ₅ (%)	TSS (%)	Tot N (%)	Tot P (%)
0	92,9	95,4	80	61

5. Το συνολικό ετήσιο απορριπτόμενο ρυπαντικό φορτίο της βιομηχανίας προκύπτει με εφαρμογή κατά στήλη των συντελεστών απόδοσης στα παραγόμενα ρυπαντικά φορτία του βήματος 3:

Υδραυλικό Φορτίο	BOD ₅	TSS	Tot N	Tot P

(m ³ /y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)
22.310	1.254	320	965	1.494

4 Αστικά Υγρά Απόβλητα

Η μέθοδος που εφαρμόζεται στον υπολογισμό των ρυπαντικών φορτίων που προκύπτουν από αστικές πηγές αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου των συντελεστών εκπομπής η οποία εφαρμόζεται στην εκτίμηση των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Διατηρούνται έτσι τα πλεονεκτήματα της απλότητας και ευκολίας χρήσης της μεθόδου, η οποία έχει εκτεταμένη χρήση διεθνώς σε εφαρμογές εκτίμησης της σύστασης των λυμάτων αστικής προέλευσης.

Κατ' αναλογία με τη μέθοδο των συντελεστών εκπομπής, το παραγόμενο ρυπαντικό φορτίο που προκύπτει σε ένα οικισμό υπολογίζεται με τη χρήση του εποχιακού ή μόνιμου πληθυσμού και ενός συντελεστή παραγόμενου ρυπαντικού φορτίου ανά κάτοικο.

Στις παραμέτρους του μοντέλου έχουν ενταχθεί οι παρακάτω συντελεστές παραγωγής ρυπαντικού φορτίου:

- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5) = 60 gr/κατ/ημ
- Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) = 75 gr/κατ/ημ
- Ολικό άζωτο (TN) = 12 gr/κατ/ημ
- Ολικός φώσφορος (TP) = 2.5 gr/κατ/ημ

Επισημαίνεται ότι το παραγόμενο οργανικό φορτίο των 60 gr/κατ/ημ αντιστοιχεί σε έναν ισοδύναμο κάτοικο (i.k.) σύμφωνα με τον αντίστοιχο ορισμό της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ και κατά συνέπεια το συνολικά παραγόμενο φορτίο εκφράζεται σε όρους ισοδύναμων κατοίκων. Ο χρήστης του μοντέλου όμως έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τις παραπάνω τιμές και να διαμορφώσει εναλλακτικά σύνολα συντελεστών εκπομπής (περιλαμβάνοντας και άλλους ρύπους ή ποιοτικές παραμέτρους) ώστε να προσομοιάσει με ακρίβεια τις συνθήκες της περιοχής μελέτης.

Το μοντέλο περιλαμβάνει δυο διαφορετικές περιπτώσεις διάθεσης των αστικών λυμάτων:

- Στις περιπτώσεις οικισμών που εξυπηρετούνται από Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ) λαμβάνεται υπόψη η απομάκρυνση των ρύπων που επιτυγχάνεται, οπότε το τελικά απορριπτόμενο ρυπαντικό φορτίο υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$L_r = (1 - A_r) \cdot E_r \cdot P$$

όπου

r : ο ρύπος για τον οποίο πραγματοποιείται ο υπολογισμός

L_r : το απορριπτόμενο φορτίο του ρύπου r .

E_r : ο συντελεστής εκπομπής ανά κάτοικο (για το συγκεκριμένο ρύπο)

A_r : ο συντελεστής απόδοσης του σχήματος επεξεργασίας της Ε.Ε.Λ. για το ρύπο r .

P : ο εξυπηρετούμενος από την Ε.Ε.Λ. πληθυσμός

Στις περιοχές όπου λειτουργούν Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας οι συντελεστές απόδοσης (A_r) θεωρείται ότι είναι 90% για το οργανικό φορτίο, 80% για το φορτίο αζώτου και 20% για το φορτίο φωσφόρου. Σε περίπτωση τριτοβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων τα φορτία μειώνονται κατά 95% για το οργανικό φορτίο και 80% για το άζωτο και το φώσφορο. Ο Πίνακας 4, παρουσιάζει τους αντίστοιχους συντελεστές απόδοσης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο μοντέλο.

Πίνακας 4: Συντελεστές απόδοσης συστημάτων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων

	Δευτεροβάθμια επεξεργασία	Τριτοβάθμια επεξεργασία
BOD	90%	95%
N	80%	80%
P	20%	80%

Σε κάθε περίπτωση, διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την λειτουργία υφιστάμενων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και εναλλακτικών συστημάτων επεξεργασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να δίδεται πιο αντιπροσωπευτική εικόνα σχετικά με τα απορριπτόμενα στο υδάτινο περιβάλλον, φορτία.

- Στις περιπτώσεις οικισμών όπου δεν εφαρμόζεται κάποιου είδους επεξεργασία, αλλά χρησιμοποιούνται σηπτικοί – απορροφητικοί βόθρους ή άλλες μορφές διάθεσης των λυμάτων στον αποδέκτη το απορριπτόμενο ρυπαντικό φορτίο υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$L_r = [(1 - A_r) \cdot S] \cdot E_r \cdot P$$

όπου

r : ο ρύπος για τον οποίο πραγματοποιείται ο υπολογισμός

L_r : το απορριπτόμενο ρυπαντικό φορτίο του οικισμού

E_r : ο συντελεστής εξαγωγής ανά κάτοικο (για το συγκεκριμένο ρύπο)

A_r : ο συντελεστής μείωσης του ρύπου λόγω των φυσικών διεργασιών που ενδεχομένως αναπτύσσονται

P : ο πληθυσμός του οικισμού

S : το ποσοστό του ρυπαντικού φορτίου που καταλήγει στα επιφανειακά ύδατα και δεν κατεισδύει σε υπόγειους υδροφορείς.

Ο συντελεστής A_r το οργανικού φορτίου (BOD_5) στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν ξεπερνά το 30%, ενώ το υπόλοιπο 70% καταλήγει στα επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα σώματα. Σε ό,τι αφορά τη μείωση του φορτίου αζώτου και φωσφόρου, αυτή θεωρείται μηδενική.

Ο συντελεστής S , δηλαδή το ποσοστό των λυμάτων από τους απορροφητικούς βόθρους που μπορεί να κατεισδύσει προς τον υπόγειο υδροφορέα εξαρτάται από την υδρολιθολογική συμπεριφορά των στρωμάτων της λεκάνης και λαμβάνει τιμές βάσει της αντίστοιχης διαπερατότητας. Έτσι, ο συντελεστής S λαμβάνει μικρότερες τιμές στην περίπτωση περατών σχηματισμών (μεγαλύτερη κατεισδύση \rightarrow μικρότερη απορροή σε επιφανειακά υδάτινα σώματα). Το αντίθετο συμβαίνει σε περιοχές με σχηματισμούς χαμηλής διαπερατότητας οπότε αυξάνεται η απορροή προς τους επιφανειακούς αποδέκτες.

5 Άλλες πηγές ρύπανσης

Εκτός των σημαντικότερων πηγών ρύπανσης οι οποίες αναφέρθηκαν προηγουμένως και για τις οποίες έχουν διαμορφωθεί τα αντίστοιχα υπολογιστικά υπομοντέλα, ρυπαντικά φορτία τα οποία προέρχονται από άλλες πηγές εντάσσονται στην προσομοίωση της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής μέσω των κατάλληλων δομών του μοντέλου.

Η εκτίμηση των ρυπαντικών φορτίων δεν πραγματοποιείται μέσω υπολογιστικών διαδικασιών του μοντέλου, οπότε απαιτείται η απευθείας εισαγωγή τους με τη μορφή χρονοσειρών. Μεταξύ των πηγών ρύπανσης οι οποίες περιλαμβάνονται στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι οι χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων (χωματερές), οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, ιχθυοκαλλιέργειες, εργοτάξια, αυτοκινητόδρομοι κ.α.

Σημειώνεται πως η απευθείας εισαγωγή ρυπαντικών φορτίων μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η παράκαμψη των υπολογιστικών διαδικασιών μιας βιομηχανίας ή μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, εφόσον τα σχετικά δεδομένα είναι διαθέσιμα είτε μέσα από μετρήσεις της σύστασης των απορριπτόμενων λυμάτων (επεξεργασμένων ή μη) είτε από άλλες μεθόδους εκτίμησης των φορτίων που καταλήγουν στα επιφανειακά υδάτινα σώματα.

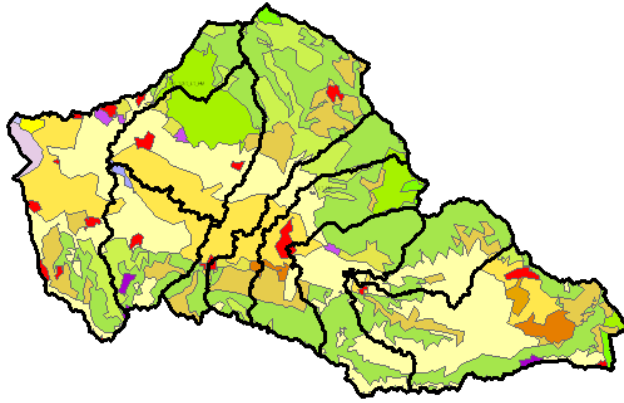
6 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της Ενότητας Εργασίας 3 του Ερευνητικού Προγράμματος «ΟΔΥΣΣΕΥΣ» αναπτύχθηκε το μοντέλο εκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων που καταλήγουν στα υδάτινα σώματα μιας λεκάνης απορροής λόγω των διαφόρων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και φυσικών διεργασιών, οι οποίες τελικά συνθέτουν το σύνολο των σημειακών και μη σημειακών (διάχυτων) πηγών ρύπανσης.

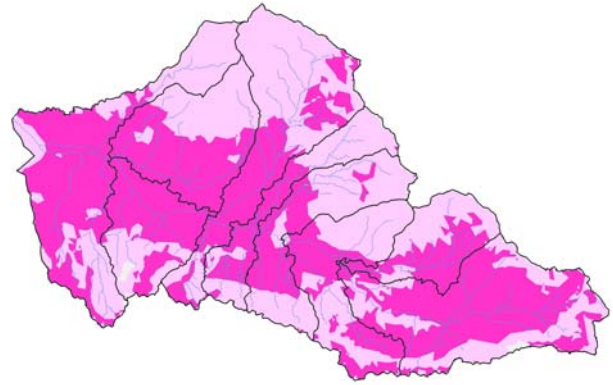
Η δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης της πληροφορίας σχετικά με τη ρύπανση που προκαλείται από σημειακές και μη σημειακές πηγές, δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα εφαρμογής υπολογιστικών μεθόδων και της διερεύνησης εναλλακτικών επιχειρησιακών σεναρίων κρίθηκε σημαντική, ιδιαίτερα λόγω των αναγκών που προκύπτουν από το εθνικό – κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο και τους διεθνείς οργανισμούς.

Ο σχεδιασμός του μοντέλου «Ρύπος» βασίστηκε πρωτίστως στην ανάλυση απαιτήσεων που πραγματοποιήθηκε προκειμένου να είναι σε θέση να ανταποκριθεί τόσο στις ανάγκες που προκύπτουν κατά τη φάση υλοποίησης της ανάλυσης πιέσεων – επιπτώσεων των υδάτινων σωμάτων όσο και στις απαιτήσεις μιας διαχειριστικής μελέτης. Έτσι, στο μοντέλο δεν υφίσταται περιορισμός ως προς το επίπεδο χωρικής ανάλυσης στο οποίο εφαρμόζεται. Δηλαδή είναι δυνατή η περιγραφή είτε των επιμέρους λεκανών που απαρτίζουν μια υδατική περιφέρεια, είτε των υπολεκανών που έχουν αναγνωριστεί σε μια λεκάνη απορροής ή ακόμα και απλά μιας μεμονωμένης λεκάνης.

Η εφαρμογή του μοντέλου απαιτεί τη γνώση της χωρικής κατανομής και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των διαφόρων πηγών ρύπανσης, αλλά και των φυσιογραφικών συνθηκών που επικρατούν στη λεκάνη απορροής. Έτσι, π.χ. προκειμένου να διαμορφωθεί ένα σενάριο το οποίο θα περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση σε μια λεκάνη απορροής, είναι απαραίτητη η ύπαρξη πληροφορίας σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή των χρήσεων γης στις υπολεκάνες των εξεταζόμενων υδάτινων σωμάτων και η ύπαρξη δεδομένων που σχετίζονται με άλλους σημαντικούς παράγοντες, όπως οι γεωργικές πρακτικές που εφαρμόζονται στη συγκεκριμένη περιοχή, οι κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες, οι κλίσεις του εδάφους κ.α. Η γνώση των παραπάνω στοιχείων είναι που τελικά θα οδηγήσει στην επιλογή των κατάλληλων συντελεστών εξαγωγής. Αντίστοιχα, απαιτείται η ύπαρξη στοιχείων σχετικά με τη βιομηχανική δραστηριότητα και τις συνθήκες που επικρατούν στους οικισμούς.



Σχήμα 2: Γεωγραφική κατανομή των χρήσεων γης σε λεκάνη απορροής



Σχήμα 3: Γεωγραφική κατανομή του φορτίου αζώτου από χρήσεις γης σε λεκάνη απορροής

Οι στόχοι της μελέτης στα πλαίσια της οποίας εφαρμόζεται το μοντέλο, διαμορφώνουν το βαθμό ανάλυσης στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, οπότε καθορίζεται και το επίπεδο της πληροφορίας η οποία πρέπει να είναι διαθέσιμη. Σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η δυνατότητα προσαρμογής του στην υπάρχουσα πληροφορία, δηλαδή είναι σε θέση να λειτουργήσει σε κάθε επίπεδο λεπτομέρειας δεδομένων, αξιοποιώντας ακόμα και την ελάχιστη διαθέσιμη πληροφορία. Συνεπώς το μοντέλο έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μη σχηματίζει περιορισμούς ως προς τους χρήσιμους και τους στόχους της εφαρμογής του.

Σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η πλήρης παραμετροποίησή του. Το μοντέλο είναι εφοδιασμένο με τιμές οι οποίες ανταποκρίνονται στις τυπικές ελληνικές συνθήκες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το χρήστη. Ωστόσο, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαμορφώσει, για παράδειγμα, ομάδες χρήσεων γης και αντίστοιχων συντελεστών εξαγωγής ή συντελεστών εκπομπής βιομηχανίας και αστικών υγρών αποβλήτων, εφόσον το κρίνει απαραίτητο, προκειμένου να προσομοιώσει καλύτερα της συνθήκες της περιοχής μελέτης.

Η επικοινωνία του μοντέλου με την κεντρική βάση δεδομένων («Υδρία») εξασφαλίζει την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του από τα άλλα μοντέλα του συστήματος, και ιδιαίτερα από τα μοντέλα διαίτας ρύπων σε λίμνες («Λέρνη») και υδατορεύματα («Ηριδανός»).

Βιβλιογραφία

- Ανδρεαδάκης Α. (1986). Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων. ΕΜΠ
- Χριστούλας Δ., Ανδρεαδάκης Α., Αραβαντινός Α., Καββαδάς Μ., Σταθόπουλος Α., Στάμου Α., Χατζημπίρος Κ., (2000), Περιβαλλοντική Τεχνολογία, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2001). Μελέτη απογραφής αερίων ρύπων, υγρών και στερεών αποβλήτων από τη βιομηχανία και εκπομπών από την κεντρική θέρμανση
- Andreadakis, A., Gavalakis, E., Kaliakatsos, L., Noutsopoulos, C. and Tzimas, A. (2006). The implementation of the Water Framework Directive (WFD) at the River Basin of Anthemountas with emphasis on the pressures and impacts analysis. Accepted for publication in the Desalination Journal.
- Bales, J.D., Weaver, J.C. and Robinson, J.B. (1999). Relation of Land Use to Streamflow and Water Quality at Selected Sites in the City of Charlotte and Mecklenburg County, North Carolina, 1993-98. WRIR# 99-4180, U.S. Geological Survey, Raleigh, N.C.
- Beckwith, C.P., Cooper, J., Smith, K.A. and Shepherd, M.A. (1998). Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. Soil Use and Management (14), pp123-130
- Beaulac, M.N. and Reckhow, K.M. (1982). An examination of land use-nutrient export relationships. Water Resour. Bull. (18), pp1013-1024
- Boyer E.W. et al. (2002). Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the South-eastern USA, Biogeochemistry (57/58), pp136-169
- Clesceri, N.L., S.J. Curran, and R.I. Sedlak (1986). Nutrient loads to Wisconsin lakes: Part I. Nitrogen and phosphorus export coefficients. Water Resources Bulletin (22) pp983-990
- Dodd, R.C., McMahon, G. and Stichter, S. (1992). Watershed Planning in the Albermarle-Pamlico Estuarine System: Average Annual Nutrient Budgets. Research Triangle Institute, Research Triangle Park, N.C
- Donigian, A.S., Bicknell, B.R., Linker, L.C., Hannawald, J., Chang, C.H. and Reynolds, R. (1990). Chesapeake Bay Program, Watershed Model Application to Calculate Bay Nutrient Loadings. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, Ga.
- EC, (2002). Livestock Manures – Nitrogen Equivalents
- Economopoulos A.P. (1993). Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. A Guide to Rapid Source Inventory Techniques and their use in Formulating Environmental Control Strategies. Part One: Rapid Inventory Techniques in Environmental Pollution. World Health Organization, Geneva, Switzerland
- Flowers, J.D., J.R. Williams, and L.M. Hauck. (1996). Livestock and the Environment: A National Pilot Project, NPP Integrated Modeling System: Calibration of the APEX Model for Dairy Waste Application Fields in Erath County, Texas. Prepared for the U.S. Environmental Protection

- Agency. Texas Institute for Applied Environmental Research, Tarleton State University, Stephenville, Texas. December 1996.
- Johnes, P. J. (1990). An investigation of the effects of land use upon water quality in the Windrush catchment. D. Phil Thesis, University of Oxford, Oxford, 1990
- Johnes, P.J. (1996). Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorous load delivered to surface waters: The export coefficient modeling approach. *Journal of Hydrology* (183), pp323-349
- Johnes, P., Moss, B. and Phillips, G. (1996). The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwaters from land use, stock headage and population data: testing of a model for use in conservation and water quality management. *Freshwater Biology* (36), pp451-473
- Johnes, P.J. and Heathwaite, A.L. (1997). Modelling the impact of land use change on water quality in agricultural catchments. *Hydrological Processes* (11), pp269-286
- Hartigan, J.P., Quasebarth, T.F. and Southerland, E. (1983). Calibration of NPS Model Loading Factors. *J. Environ. Eng.* (109), 1259
- Line D.E., White N.M., Osmond D.L., Jennings, G.D., Mojonier, C.B. (2002). Pollutant Export from Various Land Uses in the Upper Neuse River Basin, *Water Environ. Res.* (74), pp100-108
- McFarland A. and Hauck L. (1998). Lake Waco/Bosque River Watershed Initiative Report: Determining Nutrient Contribution by Land Use for the Upper North Bosque River Watershed. Texas Institute for Applied Environmental Research.
- OECD, (1982). *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris
- Omernik, J.M. (1976). The influence of Land Use on Stream Nutrient Levels. USEPA Ecological Research Series EPA-600/3-76-014. US Environmental Protection Agency, Corvallis, OR.
- Reckhow, K.H. and Simpson, J.J. (1980). A procedure using modeling and error analysis for prediction of lake phosphorus concentration from land use information. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (37), pp1439-1448
- Royal Society (1983). *The Nitrogen Cycle of the United Kingdom*. Royal Society, London.
- Soderlund, R., Granat, L. and Rodhe, H. (1982). Nitrate in precipitation – a presentation of data from the European Air Chemistry Network (EACN). University of Stockholm, Report CM-69
- United Nations Environment Programme (2002). *Mediterranean Action Plan: Strategic Action Programme (SAP) to address pollution from land based activities*