



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΞΑΝΘΗ

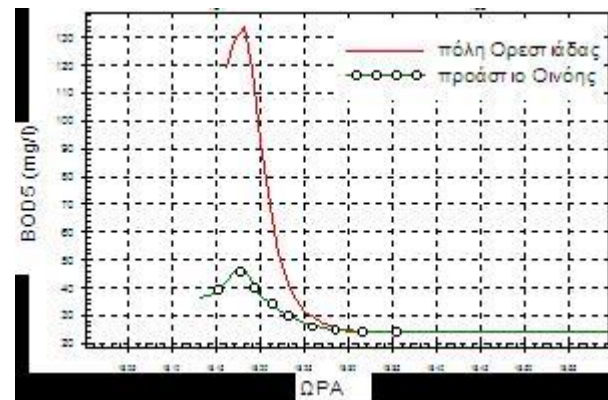
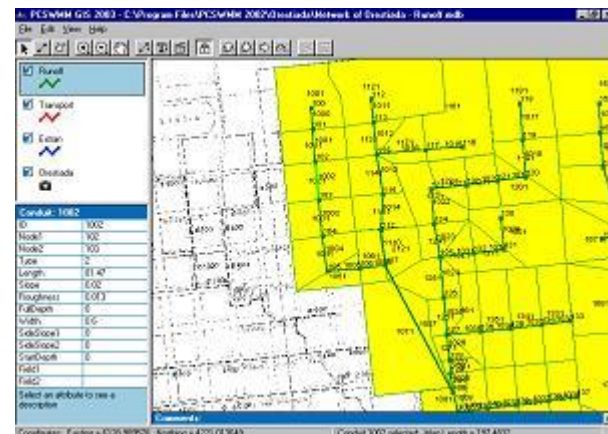
**Προσομοίωση Ποιότητας Επιφανειακής
Απορροής Αστικής Περιοχής Πόλης Ορεστιάδας**

Α. Κ. Καφετζής, M.Sc. Πολιτικός Μηχανικός

Π. Β. Αγγελίδης, Λέκτορας Δ.Π.Θ.

Ν. Ε. Κωτσοβίνος, Καθηγητής Δ.Π.Θ.

Στην εργασία αυτή γίνεται προσομοίωση της ποιότητας της επιφανειακής απορροής της αστικής περιοχής της πόλης της Ορεστιάδας με τη χρήση ενός από τα καλύτερα και πλέον δημοφιλή μοντέλα του PCSWMM 2002 GIS.



Το μοντέλο PCSWMM 2002 GIS περιλαμβάνει τον κώδικα του SWMM της USEPA, και ενσωματώνει επίσης μια σειρά από νέες δυνατότητες, όπως της εισαγωγής πληροφοριών σε γεωγραφική βάση δεδομένων GIS.

Το παραπάνω μοντέλο εφαρμόσθηκε στην πόλη της Ορεστιάδας.

Για λόγους ελέγχου έγιναν δειγματοληπτικές μετρήσεις ρύπων τόσο στη βροχόπτωση όσο και στην απορροή στην έξοδο του δικτύου ομβρίων, οι οποίες συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Μεγάλη προσοχή έχει δοθεί τα τελευταία 30 χρόνια σε προβλήματα σημειακών πηγών ρύπανσης και στις επιπτώσεις τους στους υδάτινους αποδέκτες.

Λίγη σημασία έχει δοθεί σε προβλήματα μη σημειακών πηγών ρύπανσης παρά το γεγονός, ότι η απορροή είναι συνήθως ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα των υδάτινων αποδεκτών.

Στις ΗΠΑ, στην Ευρώπη και σε άλλες χώρες, με νομοθετικές πράξεις επιβλήθηκαν κανονισμοί, οι οποίοι στα μέσα της δεκαετίας του 1980 οδήγησαν σε σημαντική μείωση της ρύπανσης από σημειακές πηγές.

Ως εκ τούτου η ρύπανση από μη σημειακές πηγές αναδείχθηκε ως η κύρια αιτία της υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτινων αποδεκτών.

Η σπουδαιότητα των μη σημειακών ρυπαντικών φορτίων, οι εγγενείς δυσκολίες προσομοίωσης καθώς και οι σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα των υδάτινων αποδεκτών, έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων προσομοίωσης.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ένα από τα καλύτερα και πλέον δημοφιλή μοντέλα το PCSWMM 2002 GIS.

Το μοντέλο αυτό έχει αναπτυχθεί από το Πανεπιστήμιο του Guelph (Ontario, Καναδάς) και από την εταιρία Computational Hydraulics International (CHI), που εδρεύει επίσης στον Καναδά

Το μοντέλο αυτό ενσωματώνει τον κώδικα του Storm Water Management Model (SWMM) της USEPA, ο οποίος έχει εφαρμοστεί και δοκιμαστεί με επιτυχία σε ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων.

Δυνατότητες του SWMM

Έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση πολύ σύνθετων προβλημάτων σε πόλεις των ΗΠΑ, του Καναδά, της Ευρώπης, της Αυστραλίας και άλλων περιοχών.

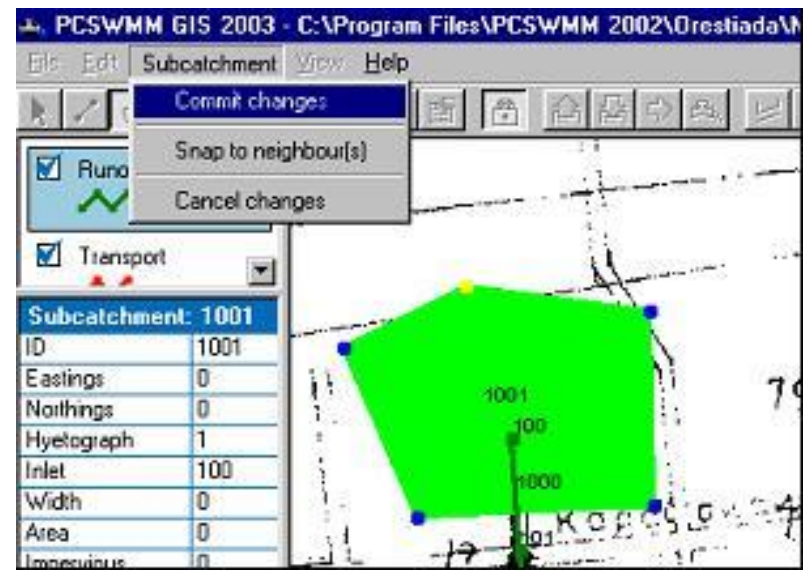
Συνεχώς αναβαθμίζεται, εξελίσσεται και συμπληρώνεται με νέες λειτουργίες και εφαρμογές, ώστε σήμερα να θεωρείται ως ένα από τα πιο πλήρη και εύχρηστα μοντέλα.

Κατάλληλο για την προσομοίωση της ποσότητας και της ποιότητας της αστικής απορροής τόσο για μεμονωμένα βροχομετρικά γεγονότα, όσο και για συνεχή προσομοίωση.

Για την αριθμητική προσέγγιση του φυσικού συστήματος απορροής είναι απαραίτητη η διαίρεση της περιοχής σε υπολεκάνες.

Έτσι η λεκάνη απορροής αντιπροσωπεύεται εννοιολογικά από ένα δίκτυο από υδραυλικά στοιχεία, δηλαδή από υπολεκάνες, φρεάτια και αγωγούς.

Οι υπολεκάνες αντιπροσωπεύουν ιδανικές περιοχές απορροής με ομοιόμορφη κλίση και παράμετροι όπως η τραχύτητα, η αποθήκευση σε κοιλάτητες και η διήθηση λαμβάνονται σταθερές για όλη την υπολεκάνη.



Το SWMM έχει δυνατότητα εισαγωγής μέχρι 10 ιετογραμμάτων από 10 βροχομετρικούς σταθμούς.

Λαμβάνει υπόψη ένα μέσο μηνιαίο ποσοστό εξάτμισης

Παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της διήθησης με δύο διαφορετικές εξισώσεις, του Horton και των Green - Ampt.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί που συνεισφέρουν στην ποιότητα του νερού που απορρέει επιφανειακά λόγω βροχόπτωσης είναι η συσσώρευση (build up) και η απόπλυση (washoff).

Με τον όρο συσσώρευση εννοείται το σύνολο των συστατικών που συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια του ξηρού καιρού που προηγείται της καταιγίδας.

Το SWMM παρέχει 3 επιλογές για συσσώρευση σκόνης και ρύπων, που είναι οι: α) power-linear, β) exponential, και γ) Michaelis-Menton.

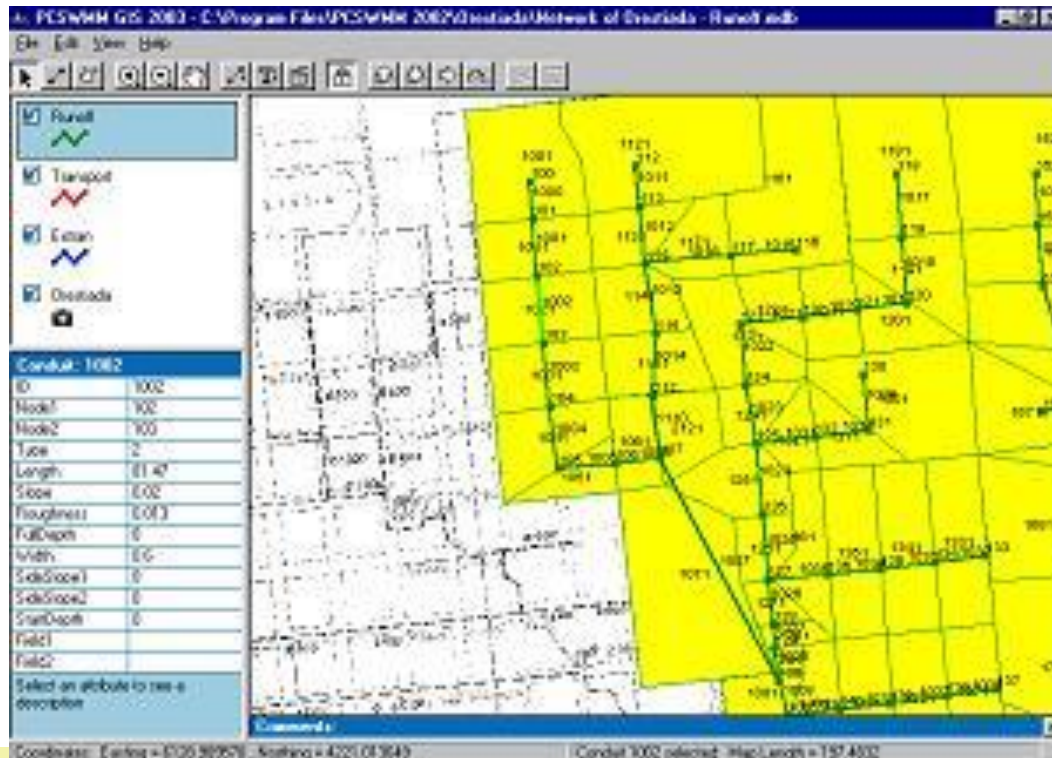
Η απόπλυση αναφέρεται στην ενέργεια / ορμή της βροχής που παρασύρει τα συστατικά που έχουν συσσωρευτεί και τα κατευθύνει στα φρεάτια.

Το SWMM παρέχει 2 επιλογές για υπολογισμό της απόπλυσης, οι οποίες είναι: α) power-exponential, και β) rating curve.

Η πιο σημαντική δυνατότητα που προσθέτει το PCSWMM 2002 (GIS) είναι η δυνατότητα εισαγωγής χωρικών πληροφοριών σε γεωγραφική βάση δεδομένων (G.I.S.).

Σε αντίθεση με άλλα αντίστοιχα μοντέλα δεν συνεργάζεται για τον σκοπό αυτό με γνωστά γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, όπως το ARC/INFO ή το MAP/INFO.

Αντίθετα έχει ενσωματωμένο ειδικό υποπρόγραμμα με βάση το οποίο είναι δυνατή η «ψηφιοποίηση» ενός πολεοδομικού χάρτη, πάνω στον οποίο βρίσκεται σχεδιασμένο το αποχετευτικό δίκτυο.



Ο χειρισμός και εν γένει ο τρόπος εισαγωγής των πληροφοριών είναι απλούστατος, ακριβώς επειδή γίνεται εξειδίκευση σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σε αντίθεση με τα ARC/INFO ή MAP/INFO, που είναι «μεγάλα», «δαιδαλώδη» και απαιτούν πολλές ώρες εκπαίδευσης για την εκμάθησή τους.

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του PCSWMM 2002 είναι η αποθήκευση δεδομένων σε μορφή αρχείου της ευρύτατα γνωστής βάσης δεδομένων της **Microsoft ACCESS**.

Έτσι πέρα από τα ενσωματωμένα στο μοντέλο εργαλεία διαχείρισης της βάσης αυτής, είναι πολύ εύκολη και ευρύτατα γνωστή η παραπέρα επεξεργασία των δεδομένων της βάσης με ταξινόμηση, επιλογή (φιλτράρισμα), μετακίνηση, δημιουργία ερωτημάτων – φορμών - εκθέσεων, εξαγωγή στοιχείων σε μορφή πινάκων EXCEL, κ.λπ.

Για την έναρξη της «ψηφιοποίησης» με το PCSWMM 2002 (GIS) απαιτείται ένα σχέδιο (τοπογραφικός χάρτης ή αεροφωτογραφία) να «αναγνωσθεί» από έναν σαρωτή εικόνας (scanner) και στη συνέχεια το παραγόμενο αρχείο εικόνας σε μορφή αρχείου bmp, jpg, κ.λπ., να εισαχθεί ως υπόβαθρο στο παράθυρο σχεδίασης του GIS, ώστε να γίνει ευκολότερα η τοποθέτηση των στοιχείων του δικτύου ομβρίων.

Το λογισμικό «αντιλαμβάνεται» την ιεραρχική δομή του δικτύου ομβρίων, υπολογίζει τα μήκη των αγωγών και τα εμβαδά των υπολεκανών.

Διάφορα άλλα χαρακτηριστικά, όπως **συντελεστές τραχύτητας αγωγών και υπολεκανών**, γεωμετρικός **τύπος αγωγών** (τραπεζοειδής, κυκλικός, κ.λπ) είναι δυνατό να εισαχθούν εύκολα είτε με εντολές μαζικής επιλογής και απόδοσης τιμών που διαθέτει το λογισμικό, είτε επιλέγοντας οποιοδήποτε υδραυλικό στοιχείο (υπολεκάνη, αγωγός, φρεάτιο) και εισάγοντας την επιθυμητή τιμή στον πίνακα των ιδιοτήτων του.

Άλλες δυνατότητες του μοντέλου είναι:

•η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

•η ταυτόχρονη εμφάνισή τους στο ίδιο γράφημα για συγκριτική αξιολόγηση

•η κινηματογραφική προβολή διαδοχικών εικόνων υπολογιζόμενων βαθών ροής (animation) για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου.

Έγινε εφαρμογή του μοντέλου στην περιοχή της πόλης της Ορεστιάδας.

Η «ψηφιοποίηση» του αποχετευτικού δικτύου ξεκίνησε με την εισαγωγή στην περιοχή σχεδίασης ως υπόβαθρου ενός αρχείου εικόνας του πολεοδομικού χάρτη, πάνω στον οποίο ήταν σχεδιασμένο το αποχετευτικό δίκτυο.

Η πόλη χωρίσθηκε σε πέντε διαφορετικές χρήσεις γης, που ήταν ζώνη κατοικιών, ζώνη πολυκατοικιών, εμπορική ζώνη, περιοχή σχολείων, και χώροι πρασίνου.

Χρησιμοποιήθηκαν τιμές αδιαπερατότητας 80% για το κέντρο της πόλης και 45% για τις λιγότερο πυκνοκατοικημένες συνοικίες.

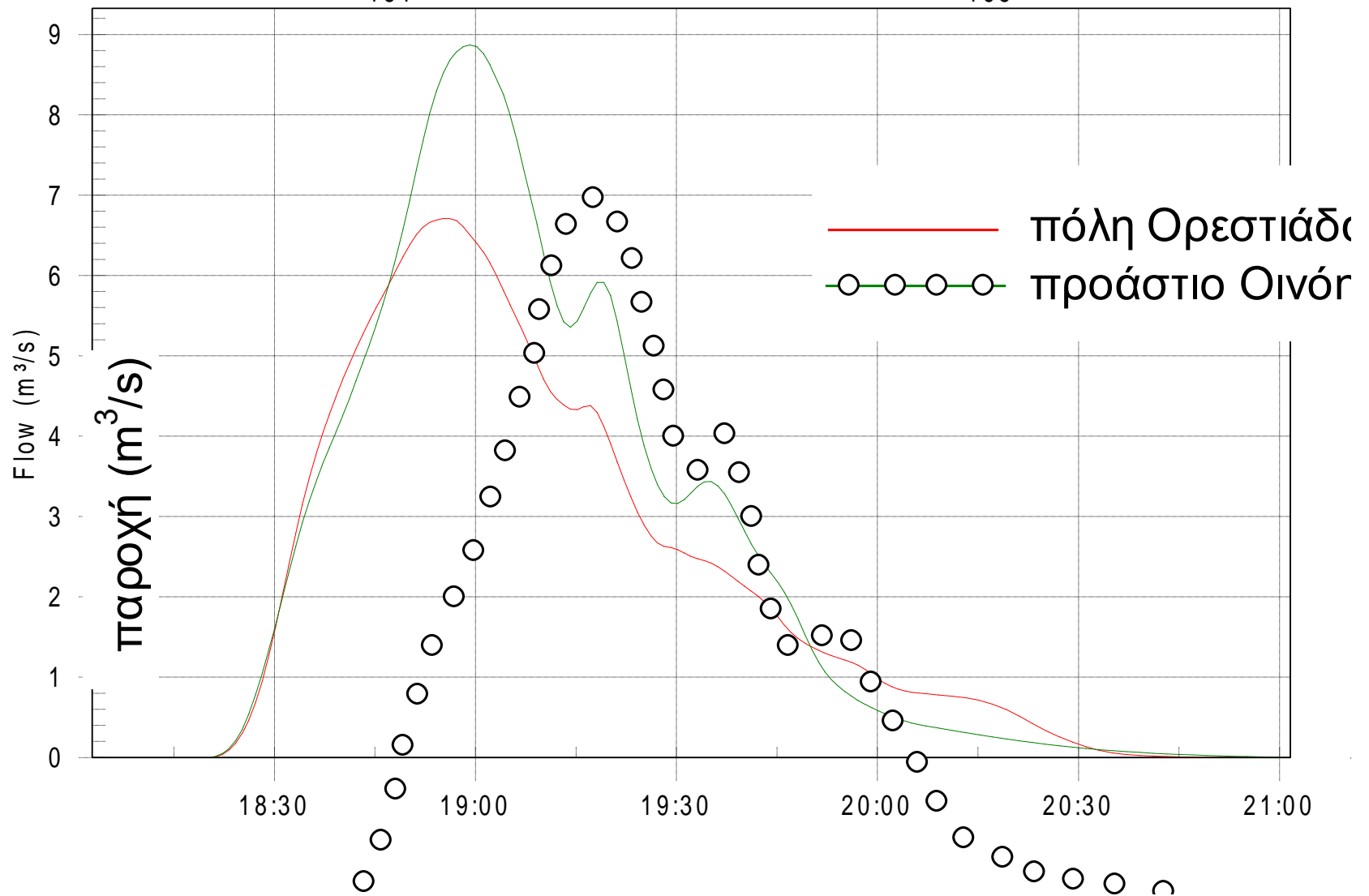
Οι τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία και λήφθηκαν 0.012 και 0.3 για τις αδιαπέρατες και διαπερατές περιοχές αντίστοιχα.

Τα δεδομένα εισόδου αναφορικά με την προσομοίωση ποιότητας απαιτούν ειδική έρευνα για να προσδιοριστούν με κάποια ακρίβεια, που δεν έγινε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Οι χρησιμοποιηθείσες τιμές των παραμέτρων, που ρυθμίζουν τη συμπεριφορά των εξισώσεων συσσώρευσης και απόπλυσης λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία, και είναι αντιπροσωπευτικές μεσαίου μεγέθους πόλεων.

Η επιτυχία της εκλογής τους θα φανεί και από το βαθμό προσέγγισης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις μετρήσεις ρύπων στην έξοδο του δικτύου ομβρίων, που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Η βροχή για την οποία έγινε προσομοίωση ήταν συνολικού ύψους 50mm, διάρκειας μιας ώρας και καταγράφηκε από βροχομετρικό σταθμό, που είναι εγκαταστημένος δίπλα στο εργοστάσιο ζάχαρης, που βρίσκεται στην είσοδο της πόλης.



Υδρογραφήματα στις εξόδους δικτύων ομβρίων πόλης Ορεστιάδας και προαστίου Οινόης. Ας σημειωθεί, ότι το δίκτυο ομβρίων της Οινόης έχει σχεδιαστεί για παροχή 12 m³/s.

Αναφορικά με την ποιότητα της επιφανειακής απορροής έγινε προσομοίωση των εξής επτά ρύπων:

- ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)
- βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD5)
- χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)
- συγκεντρώσεις αζώτου σε νιτρικά (NO₃-N)
- συγκεντρώσεις αζώτου σε ενώσεις αμμώνιου (NH₄-N)
- συγκεντρώσεις φωσφορικών (PO₄-P)
- συγκέντρωση κατιόντων υδρογόνου (PH)

Για να γίνει αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης έγινε λήψη δύο δειγμάτων βροχής:

- κατά τη διάρκεια των πρώτων 10 λεπτών της βροχόπτωσης
- κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων 50 λεπτών βροχόπτωσης

Λήφθηκαν δείγματα απορροής:

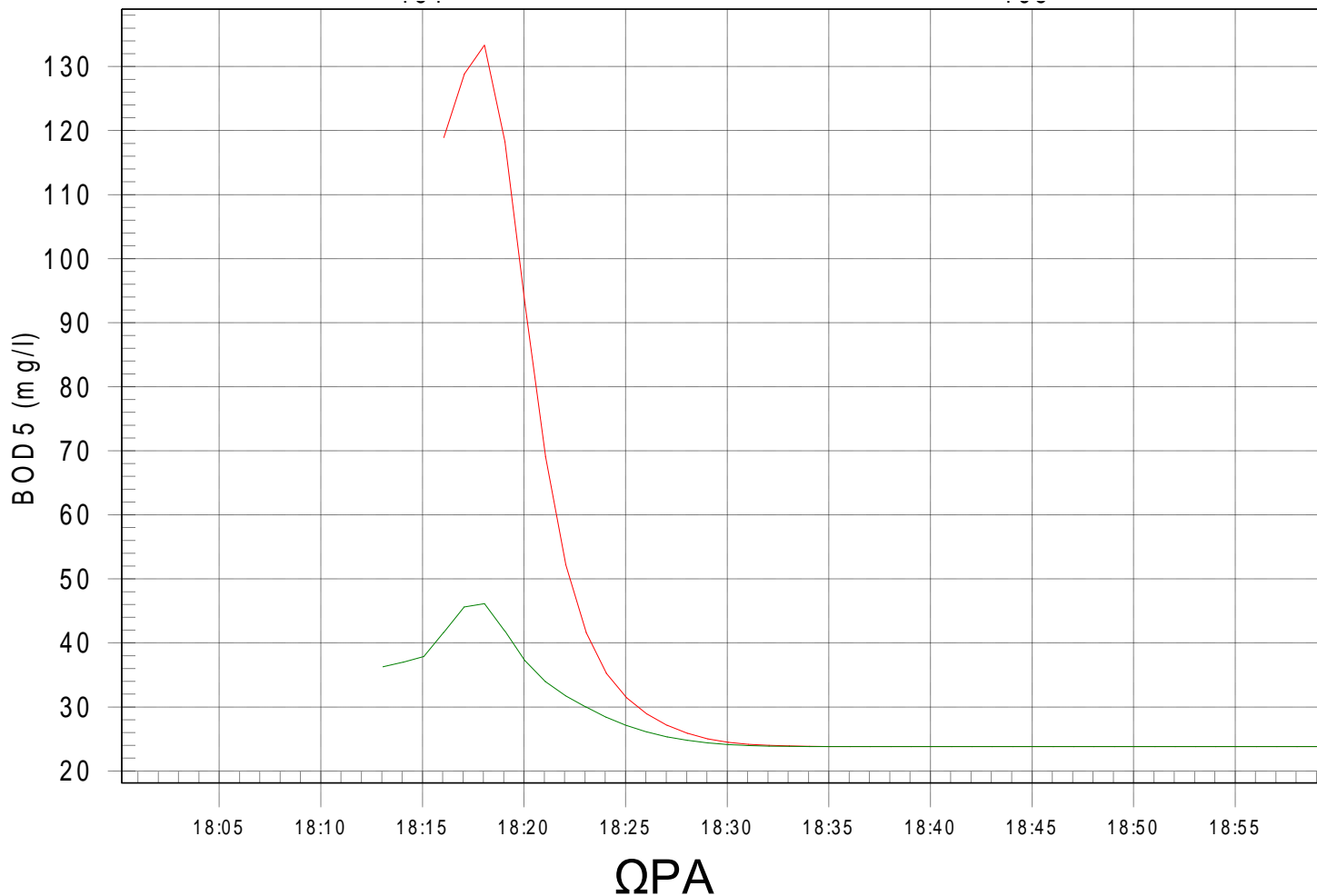
- στην έξοδο του δικτύου ομβρίων της πόλης της Ορεστιάδας
- στην έξοδο του δικτύου ομβρίων του προαστίου της Οινόης

Ο χρόνος δειγματοληψίας ήταν περίπου 10 λεπτά μετά την έναρξη της βροχής.

Τα δείγματα αυτά αναλύθηκαν στο εργαστήριο της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης Αποχέτευσης της Ορεστιάδας.

	ΔΕΙΓΜΑ ΒΡΟΧΗΣ		ΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	
ΕΙΔΟΣ ΡΥΠΙΟΥ	10 ΠΡΩΤΑ ΛΕΠΤΑ	50 ΕΠΟΜΕΝΑ ΛΕΠΤΑ	ΠΟΛΗΣ ΟΡΕΣΤΙΑΔΑΣ	ΠΡΟΑΣΤΙΟΥ ΟΙΝΟΗΣ
TSS	<150	0	700	760
BOD5	45	22	>100	34
COD	69	45	180	125
NO ₃ -N	6.81	2.74	8.64	4.06
NH ₄ -N	0	0	1.22	1.12
PO ₄ -P	2.1	1.4	16	18.5
pH	8.4	7.7	7.61	7.78

Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης δειγμάτων βροχής και απορροής



Συγκέντρωση BOD5 (στις 18:20) στην έξοδο δικτύου ομβρίων:

πόλη Ορεστιάδας

Οινόη

πρόβλεψη μοντέλου

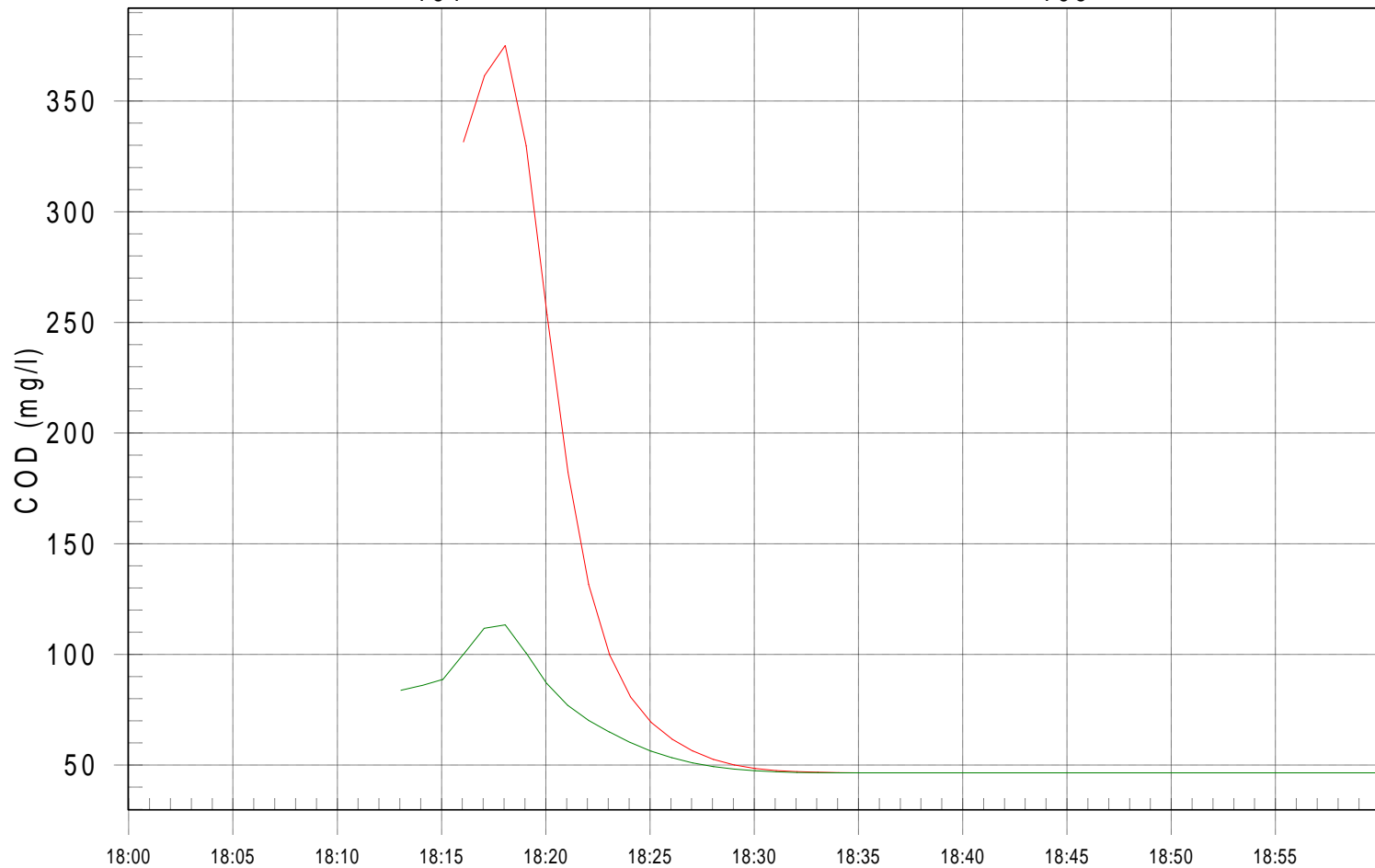
90 mg/l

37 mg/l

μετρηθείσα τιμή

100 mg/l

34 mg/l



Συγκέντρωση COD (στις 18:20) στην έξοδο δικτύου ομβρίων

πόλη Ορεστιάδας

Οινόη

πρόβλεψη μοντέλου

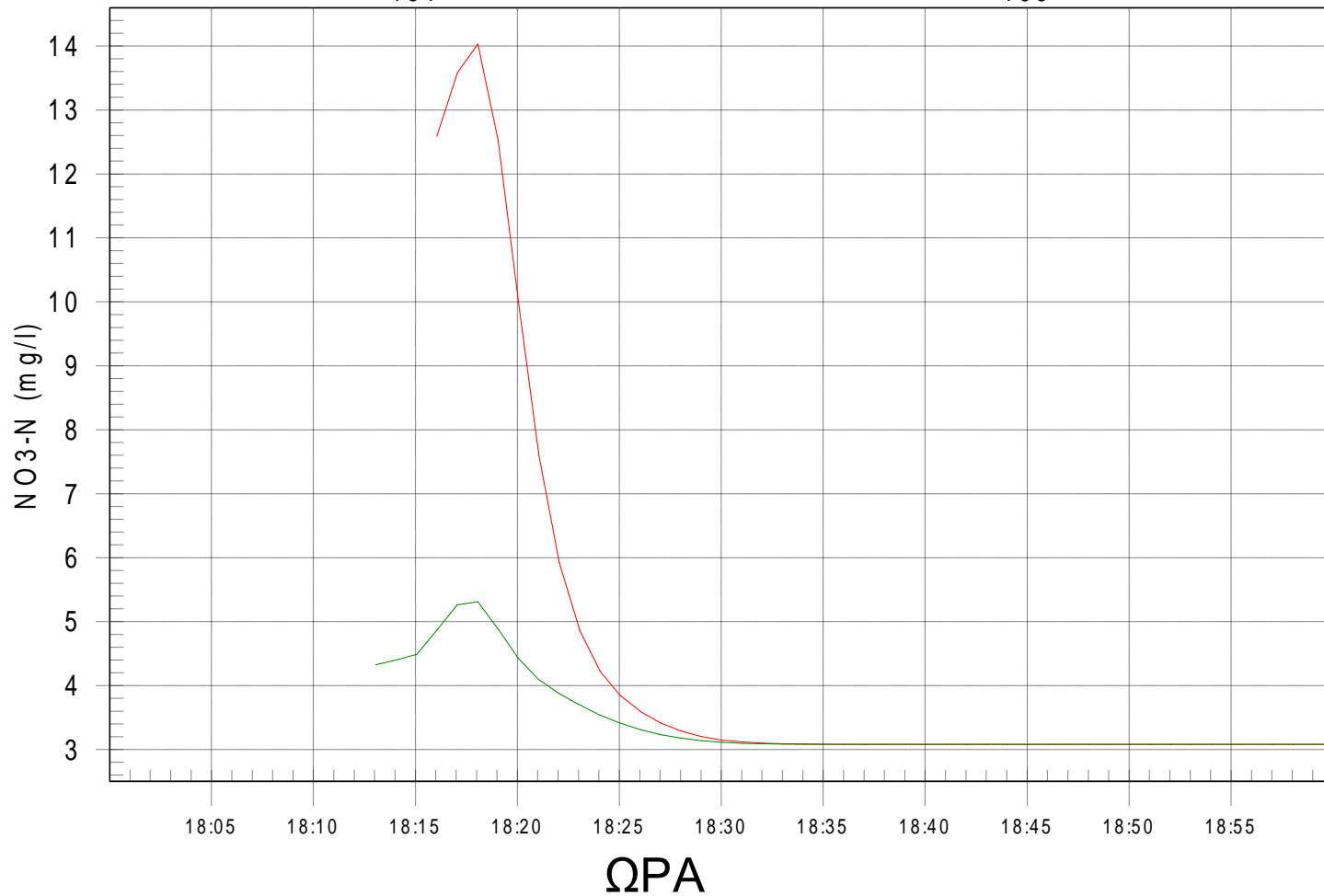
250 mg/l

80 mg/l

μετρηθείσα τιμή

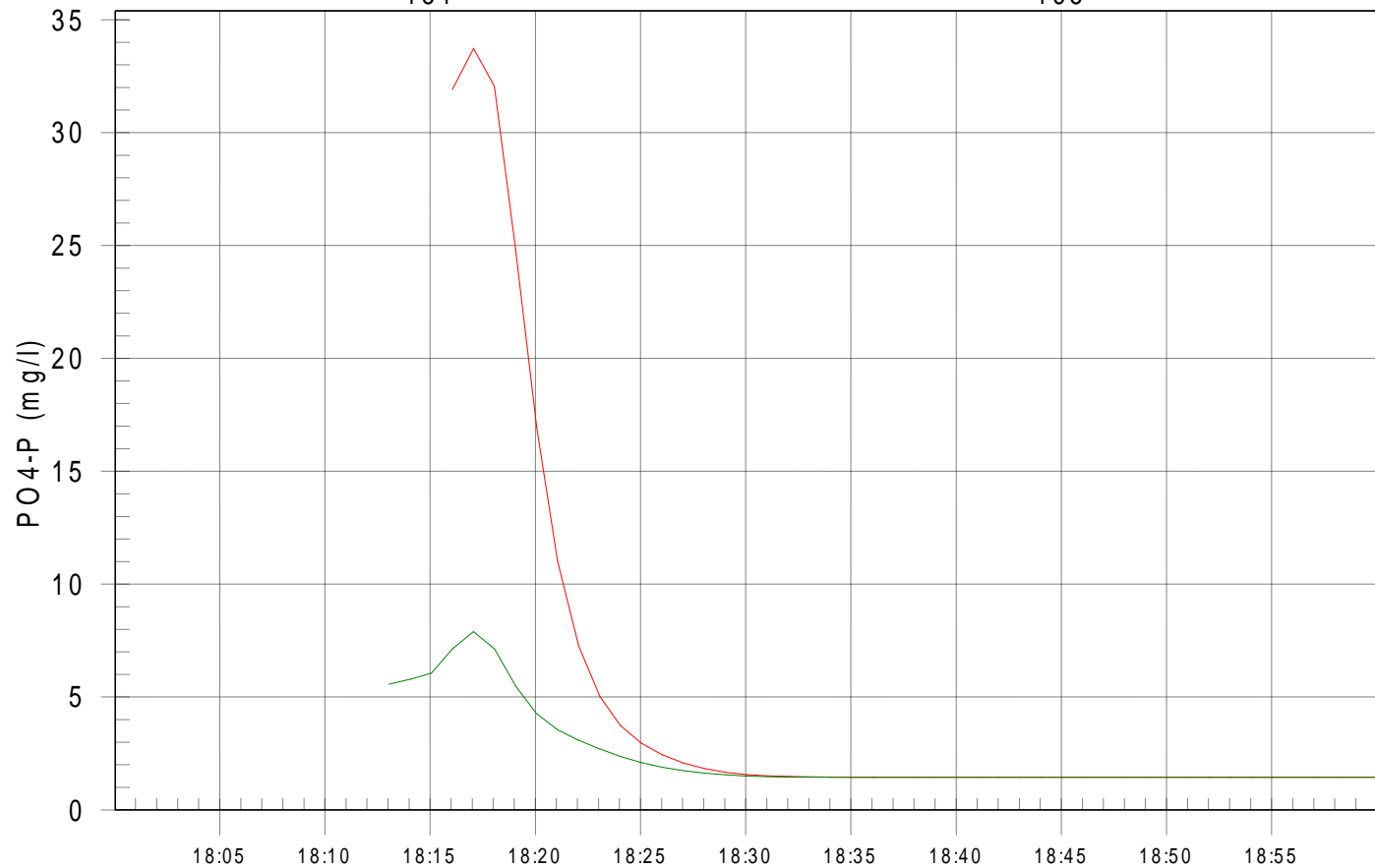
180 mg/l

125 mg/l



Συγκέντρωση αζώτου σε νιτρικά (NO₃-N) (στις 18:20) στην έξοδο δικτύου ομβρίων

	<u>πόλη Ορεστιάδας</u>	<u>Οινόη</u>
πρόβλεψη μοντέλου	10 mg/l	4.4 mg/l
μετρηθείσα τιμή	8.6 mg/l	4.1 mg/l



Συγκέντρωση φωσφορικών (PO₄-P) (στις 18:20) στην έξοδο δικτύου ομβρίων

πόλη Ορεστιάδας

Οινόη

πρόβλεψη μοντέλου

17 mg/l

4.0 mg/l

μετρηθείσα τιμή

16 mg/l

18.5 mg/l

Επίσης η πρόβλεψη του μοντέλου για τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) δεν ήταν επιτυχής, και η αιτία πρέπει να αναζητηθεί στις εισαχθείσες παραμέτρους αναφορικά με τον τρόπο συσσώρευσης και απόπλυσης των ρύπων.

Τέλος οι προβλεφθείσες τιμές PH ήταν αρκετά ακριβείς σε σχέση με τις μετρηθείσες, και υποδεικνύουν μη όξινη ατμόσφαιρα, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο καθώς δεν υπάρχουν βιομηχανίες στην περιοχή για να αυξηθεί η οξύτητα της βροχής.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή γίνεται προσομοίωση της ποιότητας της επιφανειακής απορροής της αστικής περιοχής της πόλης της Ορεστιάδας με τη χρήση του PCSWMM 2002 GIS, που ενσωματώνει μια σειρά από νέες δυνατότητες, όπως της εισαγωγής πληροφοριών σε γεωγραφική βάση δεδομένων.

Ως αποτελέσματα της προσομοίωσης παρήχθησαν υδρογραφήματα και «ρυπαρογραφήματα» στην έξοδο του δικτύου ομβρίων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι προβλέψεις της προσομοίωσης για διάφορους ρύπους συγκρίθηκαν με μετρηθείσες τιμές των ρύπων αυτών στην απορροή στην έξοδο του δικτύου ομβρίων.

Παρά το γεγονός ότι οι διάφοροι απαιτούμενοι παράμετροι εισόδου στο μοντέλο επιλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της ποιότητας της αστικής απορροής αντιπροσώπευαν με ικανοποιητική ακρίβεια την πραγματικότητα, όπως προέκυψε από τη σύγκρισή τους με τις μετρηθείσες τιμές.