

Χαρακτηρισμός Ποιότητας Απορροής Ομβρίων στην Πόλη της Ξάνθης

Χ. Ακράτος, Ι. Μποσκίδης, Β. Τσιχριντζής*

*Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνική Σχολή
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 67100 Ξάνθη*

**Τηλ./Fax: 25410-78113, E-mail: tsihrin@otenet.gr, tsihrin@env.duth.gr*

Περίληψη

Πραγματοποιήθηκε από το 2002 έως το 2004 ένα πρόγραμμα χαρακτηρισμού της ποιότητας της απορροής ομβρίων στην πόλη της Ξάνθης. Κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων, συλλέχθηκαν δείγματα απορροής ομβρίων στην επιφάνεια δρόμων και σε φρεάτια ομβρίων σε διάφορα σημεία της πόλης, ενώ συγχρόνως συλλέχθηκαν δείγματα νερού και μετρήθηκε η παροχή στην έξοδο του κύριου αγωγού ομβρίων της πόλης. Τα δείγματα αναλύθηκαν στο εργαστήριο για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών, νιτρικών, νιτροδών, φωσφορικών, βιοχημικά και χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, διαφόρων μετάλλων και του ολικού αριθμού κολοβακτηριδίων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις των περισσότερων ρύπων υπερβαίνουν κατά πολύ τις επιτρεπόμενες τιμές που έχει ορίσει η Νομαρχία για εκροές σε υδατικά συστήματα. Για παράδειγμα, μέγιστες μετρηθείσες τιμές αιωρούμενων στερεών, βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου και ορυκτελαίων/γράσου ήταν 1922, 192 και 1959 mg/L, αντίστοιχα.

Characterization of Urban Stormwater Runoff Quality in Xanthi, Greece

C. Akrotos, I. Mposkidis, V. Tsihrintzis*

*Laboratory of Ecological Engineering and Technology
Department of Environmental Engineering, School of Engineering
Democritus University of Thrace, 67100 Xanthi, Greece*

**Tel/Fax: +30-25410-78113; E-mail: tsihrin@otenet.gr, tsihrin@env.duth.gr*

Abstract

An intensive monitoring program was undertaken in years 2002 to 2004 to characterize the quality of urban stormwater runoff in the city of Xanthi, northern Greece. Stormwater runoff samples were collected during storm events on the street surface and in catch basins at various points covering a large area of the city. Water samples were also collected and the discharge rate was measured at the exit of the main storm

sewer of the city. The water samples were analyzed in the laboratory to determine TSS, NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{-2} , BOD, COD, heavy metal (Mn, Fe, Cu, Pb and Zn) concentrations, and total coliforms. Results indicate that the concentrations for most pollutants exceeded by far the Prefecture regulations for discharge into aquatic systems. For example, maximum measured concentrations for TSS, BOD and oil/grease were 1922, 192 and 1959 mg/L, respectively.

1. Εισαγωγή

Η αστική απορροή αναγνωρίζεται ως μια βασική μη σημειακή πηγή ρύπανσης, η οποία καταλήγει σε φυσικούς αποδέκτες. Προσπάθειες για την εκτίμηση της ποιότητας της αστικής απορροής έχουν γίνει σε πρόσφατες μελέτες, καθώς επίσης και προσπάθειες για πρακτικές βέλτιστης διαχείρισης (BMPs) για την ελαχιστοποίηση της μεταφοράς των ρύπων (Novotny and Olem 1994, Tsihrintzis and Hamid 1997a). Επιπλέον, ο χαρακτηρισμός της ποιότητας της αστικής απορροής είναι απαραίτητος, ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των επιπτώσεων στους φυσικούς αποδέκτες με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, π.χ., SWMM κ.α. (Tsihrintzis and Hamid 1998, Tsihrintzis and Hamid 1997b). Τέτοια μοντέλα απαιτούν δεδομένα για τα χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς και κατάλληλα δεδομένα για την πιστοποίησή τους.

Παρόλο που στις ΗΠΑ, σε χώρες της Ε.Ε. και σε άλλες χώρες έχουν γίνει αρκετές μελέτες σχετικές με την ποιότητα της αστικής απορροής (USEPA 1974, Lee and Bang 2000, Uscimura et al. 1997), στην Ελλάδα τέτοιες μελέτες είναι ελάχιστες (Dailipis and Dermisi 2002, Akrotas et al. 2004). Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια κάλυψης αυτού του κενού. Για αυτό το σκοπό σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε ένα πρόγραμμα παρακολούθησης για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας της αστικής απορροής στην Ξάνθη. Δείγματα απορροής, για την ανάλυση της ποιότητας του νερού συλλέχθηκαν από τις επιφάνειες των δρόμων και από τα φρεάτια σε διάφορα σημεία, καλύπτοντας μια μεγάλη έκταση της πόλης. Η παροχή μετρούνταν επίσης στην έξοδο του κεντρικού αγωγού ομβρίων υδάτων κατά την διάρκεια επεισοδίων βροχής, ενώ επίσης λαμβάνονταν και δείγματα νερού. Οι συγκεντρώσεις διαφόρων παραμέτρων της ποιότητας του νερού προσδιορίστηκαν με αναλύσεις στο εργαστήριο. Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

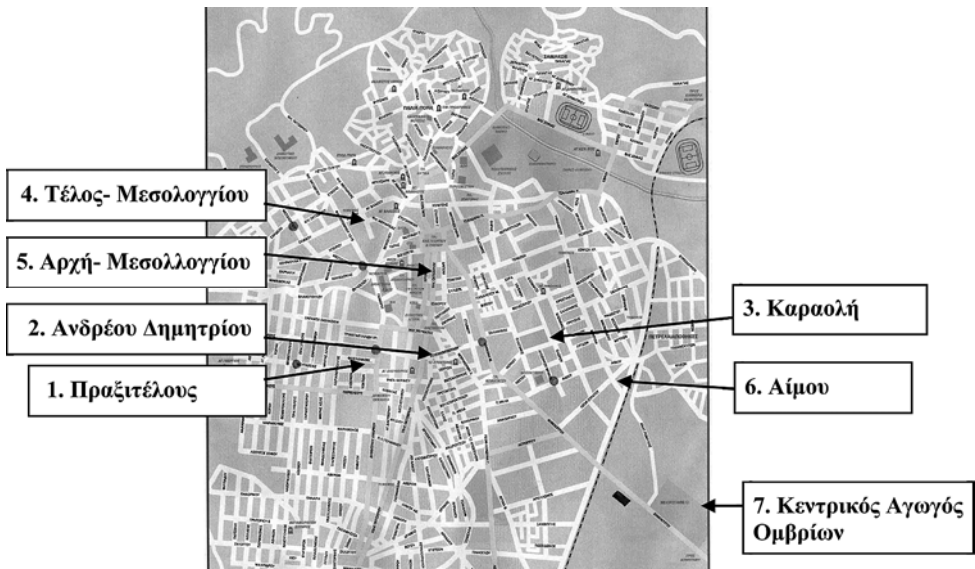
2. Περιγραφή περιοχής μελέτης και μεθοδολογίας

Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη απορροής του κεντρικού αγωγού ομβρίων (χωριστικό σύστημα) της πόλης της Ξάνθης, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της πόλης και μια μικρή φυσική λεκάνη στα ανάντι (Εικόνα 1). Το κύριο σημείο δειγμα-

τοληψίας ήταν η έξοδος του αγωγού ομβρίων στο νοτιοανατολικό όριο της πόλης (Εικόνα 2). Ο αγωγός είναι κυκλικής διατομής διαμέτρου 2 m, και καταλήγει σε φυσικό ανοικτό κανάλι, το οποίο είναι τραπεζοειδούς διατομής, με βάση περίπου 1,8 m και κλίση πρανών περίπου 1,5:1. Στο σημείο αυτό του αγωγού βρισκόταν και το σημείο δειγματοληψίας (Εικόνα 2). Το κανάλι τελικά καταλήγει στον χείμαρρο Κόσυνθο. Τα όρια διάθεσης υδάτων στον χείμαρρο ορίζονται από την Νομαρχία Ξάνθης και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Επίσης λαμβάνονταν δείγματα και σε έξι σημεία μέσα στην πόλη (Εικόνα 1). Από το κάθε σημείο λαμβάνονταν δύο δείγματα νερού, ένα από την επιφάνεια του δρόμου και ένα από το φρεάτιο. Αυτά τα σημεία δειγματοληψίας αντιστοιχούν σε διαφορετικές υπολέκάνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικές χρήσεις γης και όγκο κυκλοφορίας οχημάτων. Η κυρία χρήση γης της περιοχής περιλαμβάνει πολυκατοικίες και εμπορικές δραστηριότητες. Ο όγκος κυκλοφορίας είναι υψηλός στις εμπορικές περιοχές και χαμηλός στις περιοχές με τις κατοικίες. Το ποσοστό αδιαπερατότητας της περιοχής ήταν περίπου 100% για τα περισσότερα σημεία, κάτι το οποίο είναι τυπικό για τις Ελληνικές πόλεις. Τα έξι σημεία δειγματοληψίας καλύπτουν όλη την περιοχή στράγγισης του κεντρικού αγωγού ομβρίων και πάνω από τη μισή έκταση της πόλης. Τα φρεάτια συλλογής είναι απλά κιβώτια από οπλισμένο σκυρόδεμα βάθους 0,5 έως 1 m, πλάτους περίπου 0,5 m, τα οποία διατρέχουν όλο το πλάτος του δρόμου και ήταν καλυμμένα με σχάρες. Τα φρεάτια δεν είναι εξοπλισμένα με κάποια κατασκευή ελέγχου ποιότητας του νερού. Γενικά, στην περιοχή μελέτης δεν εφαρμόζονται μέτρα βέλτιστης διαχείρισης.

Πίνακας 1. Επιτρεπτά όρια για διάθεση υδάτων στον ποταμό Κόσυνθο.

Παράμετροι	Ανώτατα Επιτρεπτά Όρια	Επιτρεπτή Υπέρβαση
Θερμοκρασία	30	5
Αγωγιμότητα, $\mu\text{S}/\text{cm}$	1000	
pH	6-9	
DO, mg/L	5	
TSS, mg/L	20	5
BOD, mg/L	10	5
COD, mg/L	35	10
N-NO ₃ , mg/L	10	3
N-NO ₂ , mg/L	0.1	
PO ₄ , mg/L	2	0.5
Λίπη-Έλαια, mg/L	5	2
Ολικά κολοβακτηριοειδή (ανά 100 mL)	5000	



Εικόνα 1. Χάρτης της Ξάνθης με τα σημεία δειγματοληψίας.



Εικόνα 2. Φωτογραφία από το σημείο δειγματοληψίας κατάντι του κεντρικού αγωγού ομβρίων.

Η δειγματοληψία λάμβανε χώρα μόλις ξεκινούσε κάποιο επεισόδιο βροχής. Για την μετακίνηση της ερευνητικής ομάδας χρησιμοποιήθηκε το όχημα (κινητό εργαστήριο) του Εργαστηρίου Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας (όχημα τύπου Mercedes-Benz van, Model 312D), το οποίο είναι εξοπλισμένο και τροποποιημένο στο πίσω μέρος του με όλα τα απαραίτητα όργανα και εγκαταστάσεις ενός κανονικού

εργαστηρίου για δειγματοληψίες πεδίου και χημικές αναλύσεις. Στο κεντρικό αγωγό ομβρίων μετρούνταν η παροχή και λαμβάνονταν δείγματα ανά 15 λεπτά, ή αν χρειαζόταν πιο συχνά, από το ένα μέλος της ομάδας που παρέμενε στο σημείο. Για την μέτρηση της παροχής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ρευματομέτρου της USGS. Για την μέτρηση της ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρομαγνητικό ρευματομέτρο Valeport Model 801 (Πίνακας 2). Τα δείγματα ποιότητας νερού αποθηκεύονταν κατάλληλα σε ψυγείο για μεταφορά και ανάλυση στο εργαστήριο, ενώ επίσης ανά 15 λεπτά μετρούνταν επί τόπου η θερμοκρασία, η αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και το pH με τη χρήση των ειδικών οργάνων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας επισκέπτονταν τα έξι σημεία δειγματοληψίας στην λεκάνη απορροής και εκτός από τη συλλογή δειγμάτων νερού μετρούσαν τις παραπάνω αναφερθείσες παραμέτρους επί τόπου.

Τα δείγματα νερού μετά τη συλλογή μεταφέρονταν στο εργαστήριο και αναλύονταν σύμφωνα με πρότυπες μεθόδους (ΑΡΗΑ, 1998) για τις παρακάτω παραμέτρους: βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5-ημερών (BOD) από αδιάθικτο δείγμα, άζωτο νιτρικών, άζωτο νιτρικών, ορθό-φωσφορικά, λίπη και έλαια και βαρέα μέταλλα (Mn, Pb, Fe, Cu και Zn). Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) προσδιοριζόταν με την φωτομετρική μέθοδο, σε φιλτραρισμένα δείγματα. Μετεωρολογικά δεδομένα (ύψος βροχής, ταχύτητα ανέμου και θερμοκρασία αέρα) ήταν διαθέσιμα από τον μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου που λειτουργεί στο κοντινό χωριό της Γεννισιάς για τα έτη 2002 και 2003, ενώ για το έτος 2004 τα δεδομένα προέρχονταν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας, που λειτουργεί στην Πανεπιστημιούπολη στα Κιμμέρια Ξάνθης. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τις μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των επεισοδίων βροχής.

Πίνακας 2. Όργανα αυτόματης μέτρησης

Όργανο	Παράμετρος Μέτρησης	Εύρος	Ακρίβεια
Valeport 801 Electromagnetic current-meter	Ταχύτητα και κατεύθυνση	0–5 m/s	0.001 m/s
WTW LF 197	Αγωγιμότητα	10–2×10 ⁶ μS/cm	± 1.5%
WTW Oxi 197	Διαλυμένο οξυγόνο	0–50 mg/L	± 1%
WTW pH 197	pH	0–14	± 0.01
Valeport VLR 740	Στάθμη νερού	0–10 m	± 0.01%

Πίνακας 3. Μετεωρολογικά δεδομένα τις ημέρες των δειγματοληψιών.

Ημερομηνία	Ύψος Βροχής, mm	Ταχύτητα Ανέμου, m/s	Θερμοκρασία Αέρα, °C
02/12/02	4,4	3,2	9,1
04/12/02	21,8	2,7	12,5
05/12/02	42,4	3,4	11,3
12/12/02	0,6	2,6	1,2
17/02/03	0,0	6,4	1,1
11/03/03	0,0	2,4	7,5
14/03/03	8,8	1,9	5,1
21/03/03	1,6	2,2	5,6
22/03/03	1,4	2,4	1,7
01/04/03	5,4	2,1	9,3
24/03/04	5,2	0,5	12,5
05/05/04	28,8	0,9	15,5
24/05/04	24,4	2,6	15,3
01/09/04	10,00	1,32	24,94

3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Στατιστικές τιμές των συγκεντρώσεων ρύπων στην έξοδο του κεντρικού αγωγού παρουσιάζονται στο Πίνακα 4. Επίσης παρουσιάζονται στους Πίνακες 5 έως 10 δεδομένα από τα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας. Οι μέσες τιμές συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων για τον αγωγό και για τα σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 11. Τέλος, στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται το υδρογράφημα και τα ρυπογραφήματα στο κεντρικό αγωγό κατά τη δειγματοληψία της 21/3/2003.

Οι συγκεντρώσεις της αγωγιμότητας και των TSS ήταν γενικά υψηλότερες στον αγωγό από ότι στα φρεάτια. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μια διακύμανση στις τιμές τις αγωγιμότητας. Ειδικότερα, οι τιμές των TSS ήταν μια τάξης μεγέθους μεγαλύτερες στον αγωγό από το φρεάτιο στην οδό Πραξιτέλους. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και για τις συγκεντρώσεις των λιπών και ελαίων, παρόλο που οι μετρήσεις των λιπών και ελαίων στα φρεάτια ήταν περιορισμένες. Γενικά, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων στον αγωγό ήταν υψηλότερες από αυτές στα φρεάτια, ειδικά των ορθοφωσφορικών.

Πίνακας 4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού στον κεντρικό αγωγό.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS, mg/L	COD* mg/L	BOD mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Λίπη & Έλαια mg/L	Ολικά κολοβακτηρίδια N/100 mL
Μ.Ο.	112,07	15,75	8,39	5,04	154,84	29,49	21,88	1,27	1,04	0,06	0,52	70,67	2879
Τ.Α.	117,99	4,04	0,56	1,77	335,27	31,43	36,35	3,09	2,40	0,08	0,90	258,18	5173
Ελαχ.	12,50	8,40	7,48	3,24	1,60	0,00	0,00	0,12	0,00	0,01	0,00	0,00	0
Μεγ.	479,00	24,40	10,21	12,30	1922,00	100,80	192,00	22,42	9,24	0,51	2,96	1959,00	20000
ν	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

*Το COD προσδιορίστηκε σε διηθημένα δείγματα.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά του νερού στο σημείο δειγματοληψίας της οδού Πραξιτέλους.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Λίπη & Έλαια mg/L
Δείγμα Επιφανείας Δρόμου										
Μ.Ο.	106,37	13,78	8,65	5,30	91,55	1,31	0,25	0,04	0,40	42,50
Τ.Α.	99,59	3,74	1,24	1,61	90,88	1,08	0,16	0,03	1,07	29,02
Ελαχ.	14,73	7,90	6,80	3,51	1,30	0,01	0,07	0,01	0,00	10,80
Μεγ.	331,00	19,20	11,10	7,80	236,00	3,32	0,56	0,12	3,05	73,20
Ν	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Δείγμα Φρεατίου										
Μ.Ο.	152,91	13,58	8,61	5,46	241,40	0,73	0,33	0,02	0,87	57,30
Τ.Α.	132,37	3,75	1,42	1,60	546,97	0,48	0,24	0,01	1,35	40,59
Ελαχ.	13,40	7,90	6,50	4,26	2,60	0,00	0,09	0,01	0,06	8,00
Μεγ.	350,00	19,30	11,50	8,22	1589,00	1,43	0,72	0,04	2,44	104,00
ν	8	8	8	8	8	8	8	8	3	4

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά του νερού στο σημείο δειγματοληψίας της οδού Καραολή.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Λίπη & Έλαια mg/L
Δείγμα Επιφανειακής Δρόμου										
Μ.Ο.	109,56	11,67	6,77	9,55	155,37	1,49	0,36	0,04	0,95	21,90
Τ.Α.	70,17	4,95	2,39	4,29	176,38	1,69	0,27	0,02	1,47	34,09
Ελαχ.	15,11	7,75	3,73	3,87	0,46	0,13	0,00	0,02	0,06	0,00
Μεγ.	222,00	19,50	10,02	14,30	550,20	5,25	0,86	0,07	2,64	72,20
v	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Δείγμα Φρεατίου										
Μ.Ο.	158,26	14,22	6,87	8,22	199,76	0,78	0,47	0,05	0,77	48,20
Τ.Α.	193,24	5,91	2,00	4,34	151,90	0,94	0,38	0,06	1,15	85,34
Ελαχ.	16,09	8,34	3,36	4,20	19,76	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00
Μεγ.	607,00	24,40	8,75	14,10	452,63	2,96	1,12	0,17	2,48	197,00
v	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά του νερού στο σημείο δειγματοληψίας της οδού Ανδ. Δημητρίου.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Δίψη & Έλαια mg/L
Δείγμα Επιφανειακής Δρόμου										
Μ.Ο.	224,65	12,13	6,31	9,26	147,23	0,89	0,30	0,06	0,96	46,35
Τ.Α.	280,28	4,52	1,86	3,97	196,26	0,56	0,18	0,06	1,50	63,22
Ελαχ.	16,27	8,00	4,02	4,23	0,00	0,19	0,08	0,01	0,10	0,00
Μεγ.	819,00	19,00	8,25	14,10	503,00	1,95	0,65	0,18	2,69	137,60
v	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Δείγμα Φρεατίου										
Μ.Ο.	188,60	12,54	6,02	8,97	210,22	1,05	0,35	0,04	2,99	66,40
Τ.Α.	168,37	4,66	2,25	4,31	234,59	1,08	0,28	0,03	1,00	15,00
Ελαχ.	21,50	7,75	2,85	4,24	0,08	0,18	0,05	0,02	5,79	98,40
Μεγ.	515,00	19,20	8,32	14,30	617,00	2,54	0,78	0,09	0,99	23,05
v	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Πίνακας 8. Χαρακτηριστικά του νερού στο σημείο δειγματοληψίας της οδού Μεσολογίου - Τέρμα.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Λίπη & Έλαια mg/L
Δείγμα Επιφανειαός Δρόμου										
Μ.Ο.	57,70	13,47	7,77	9,11	91,47	2,74	0,23	0,02	0,08	24,27
Τ.Α.	50,42	5,52	0,42	3,77	62,80	4,73	0,13	0,01	0,01	18,13
Ελασχ	18,78	8,69	7,16	4,28	3,81	0,25	0,05	0,00	0,07	5,00
Μεγ.	126,60	19,20	8,09	12,90	162,20	12,35	0,44	0,04	0,09	41,00
v	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Δείγμα Φρεατίου										
Μ.Ο.	61,39	13,49	8,34	9,60	100,20	1,38	0,20	0,02	0,16	47,40
Τ.Α.	61,94	5,65	1,32	3,82	76,16	1,38	0,09	0,01	0,16	32,72
Ελασχ	12,66	8,63	6,98	4,42	4,98	0,42	0,08	0,00	0,05	21,00
Μεγ.	146,10	19,20	10,15	13,00	203,25	4,07	0,32	0,03	0,27	84,00
v	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά του νερού στο σημείο δειγματοληψίας της οδού Μεσολογγίου - Αρχή.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Λίπη & Έλαια mg/L
Δείγμα Επιφανειακής Δρόμου										
Μ.Ο.	116,23	13,56	8,74	9,49	74,00	2,81	0,41	0,03	0,10	15,20
Τ.Α.	116,47	5,25	1,46	3,72	55,04	3,67	0,25	0,01	0,01	11,87
Ελαχ	17,85	8,44	7,50	4,38	3,53	0,29	0,14	0,02	0,09	2,00
Μεγ.	306,00	18,80	10,72	13,70	152,00	10,37	0,73	0,05	0,11	25,00
ν	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Δείγμα Φρεατίου										
Μ.Ο.	123,50	15,23	7,75	10,00	74,82	3,84	0,36	0,01	0,11	102,67
Τ.Α.	153,35	5,15	0,37	4,27	50,59	6,73	0,28	0,01	0,00	126,82
Ελαχ	13,41	9,38	7,45	4,07	10,80	0,45	0,10	0,00	0,10	24,60
Μεγ.	343,00	19,10	8,16	14,00	126,90	17,54	0,74	0,03	0,11	249,00
ν	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

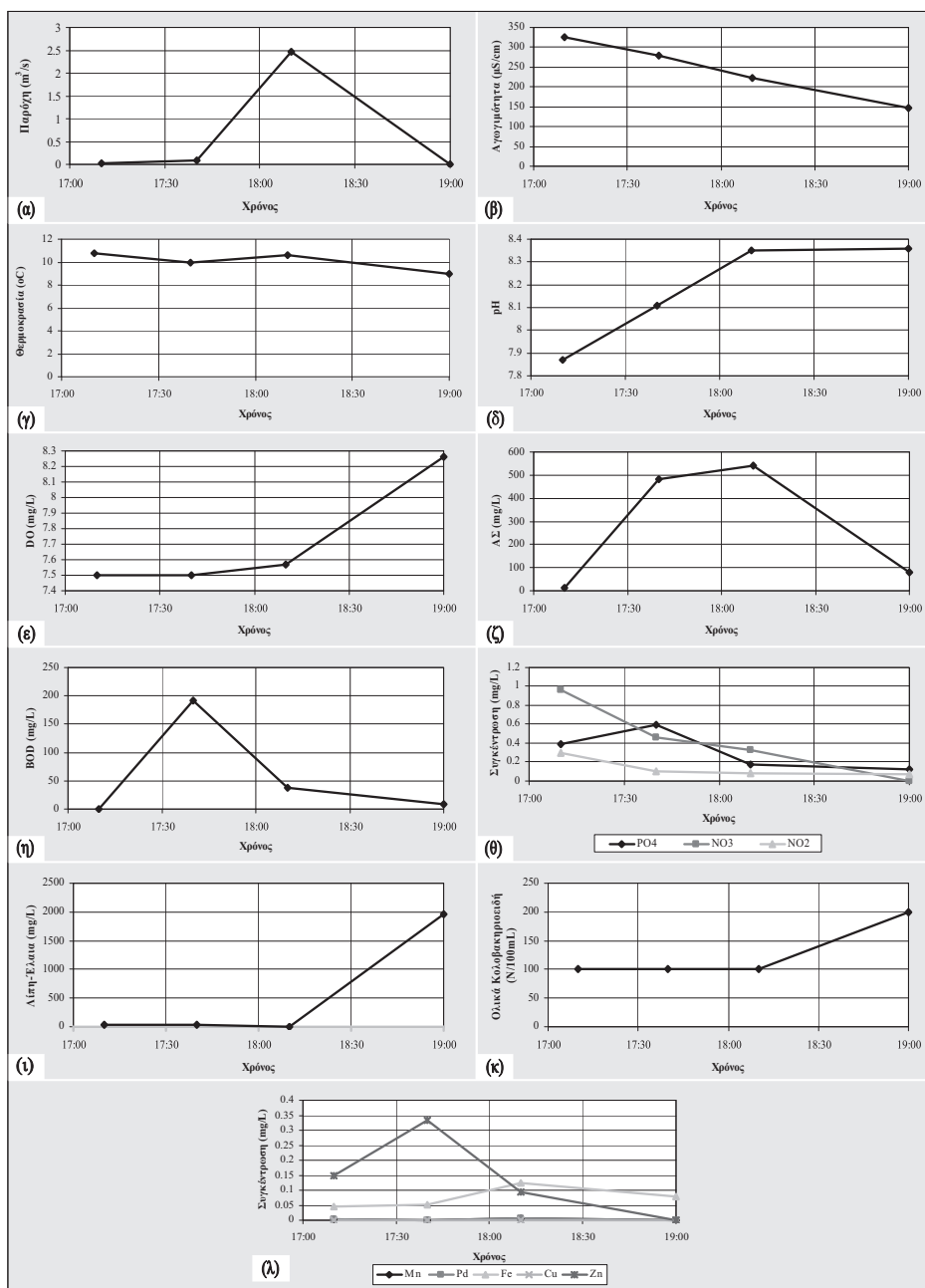
Πίνακας 10. Χαρακτηριστικά του νερού στο σημείο δειγματοληψίας της οδού Αίμων.

	Αγωγιμότητα μS/cm	Θερμοκρασία °C	pH	DO mg/L	TSS mg/L	PO ₄ mg/L	NO ₃ mg/L	NO ₂ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	Λίπη & Έλαια mg/L
Δείγμα Επιφανειαός Δρόμου										
Μ.Ο.	185,24	14,66	8,37	8,98	475,38	1,01	0,38	0,04	0,72	42,25
Τ.Α.	218,67	6,55	1,42	4,26	675,58	1,33	0,39	0,03	1,02	31,87
Ελασχ	20,20	8,26	5,92	3,90	6,40	0,00	0,07	0,01	0,07	17,40
Μεγ.	729,00	25,60	10,31	14,30	1865,90	4,49	1,40	0,10	2,24	87,00
v	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Δείγμα Φρεατίου										
Μ.Ο.	185,94	14,76	8,34	7,92	224,30	1,28	1,18	0,04	0,77	61,80
Τ.Α.	147,09	6,67	1,22	3,70	352,73	1,58	2,87	0,02	1,22	33,73
Ελασχ	22,20	8,42	6,54	3,60	6,88	0,14	0,09	0,01	0,06	22,80
Μεγ.	416,00	25,80	10,14	13,00	1137,20	5,31	8,82	0,09	2,60	104,00
v	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Πίνακας 11. Μέσες Τιμές συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα σημεία δειγματοληψίας.

	Mn mg/L	Pb mg/L	Fe mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L
Κεντρικός αγωγός	0,046	0,023	0,621	0,011	0,523
Πραξιτέλους (Επ.)	0,023	0,000	0,165	0,025	0,225
Πραξιτέλους (Φρ.)	0,010	0,000	0,169	0,012	0,148
Καραολή (Επ.)	0,005	0,000	0,104	0,012	0,453
Καραολή (Φρ.)	0,068	0,000	0,214	0,027	0,302
Ανδ. Αημητρίου (Επ.)	0,118	0,000	0,199	0,009	6,507
Ανδ. Αημητρίου (Φρ.)	0,000	0,000	0,072	0,018	0,067
Μεσολογγίου-Αρχή (Επ.)	0,009	0,000	0,120	0,000	0,296
Μεσολογγίου-Αρχή (Φρ.)	0,007	0,000	0,232	0,000	0,106
Μεσολογγίου-Τέρμα (Επ.)	0,023	0,000	0,223	0,000	0,010
Μεσολογγίου-Τέρμα (Φρ.)	0,014	0,000	0,400	0,000	0,376
Αίμου (Επ.)	0,024	0,000	0,210	0,031	0,454
Αίμου (Φρ.)	0,017	0,000	0,213	0,020	0,274

Καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, σημαντικές μεταβολές των συγκεντρώσεων TSS παρατηρήθηκαν με τιμές στον αγωγό από 1,60 mg/L έως 1922 mg/L. Το BOD και το COD μετρήθηκαν μόνο στον αγωγό. Οι τιμές του BOD έφτασαν τα 192 mg/L. Η χαμηλότερη τιμή ήταν 0,0 mg/L, που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3, η οποία μετρήθηκε αμέσως πριν την έναρξη της απορροής. Οι τιμές του COD φαίνονται γενικότερα χαμηλότερες του BOD γιατί μετρήθηκαν σε διηθημένα δείγματα. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στον αγωγό παρουσίασαν μεγάλες διακυμάνσεις. Όσο αφορά τις συγκεντρώσεις των ιόντων NO_2^- και NO_3^- , αυτές μπορεί να οφείλονται στην κίνηση των οχημάτων και στις καύσεις που γίνονται κοντά στην πόλη. Οι συγκεντρώσεις των ορθο-φωσφορικών προέρχονται πιθανότατα από την χρήση απορρυπαντικών. Γενικά, οι συγκεντρώσεις των νιτρωδών δεν ήταν τόσο υψηλές όσο των νιτρικών και των ορθο-φωσφορικών. Τα λίπη και έλαια επίσης παρουσίασαν διακύμανση κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών με τιμές μέχρι και 1959 mg/L. Τέλος, τα ολικά κολοβακτηρίδια ήταν περίπου της τάξης των 2879/100mL κατά μέσο όρο και έφτασαν έως τα 20000/100mL. Από τα μέταλλα στον αγωγό, ο Fe είχε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, ακολουθούν ο Zn, και τα Pb, Mn και Cu με χαμηλές συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων ήταν υψηλότερες στον αγωγό από ότι στην οδό. Τα μέταλλα με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ήταν ο Fe και ο Zn και ακολουθούν τα Mn, Pb και Cu.



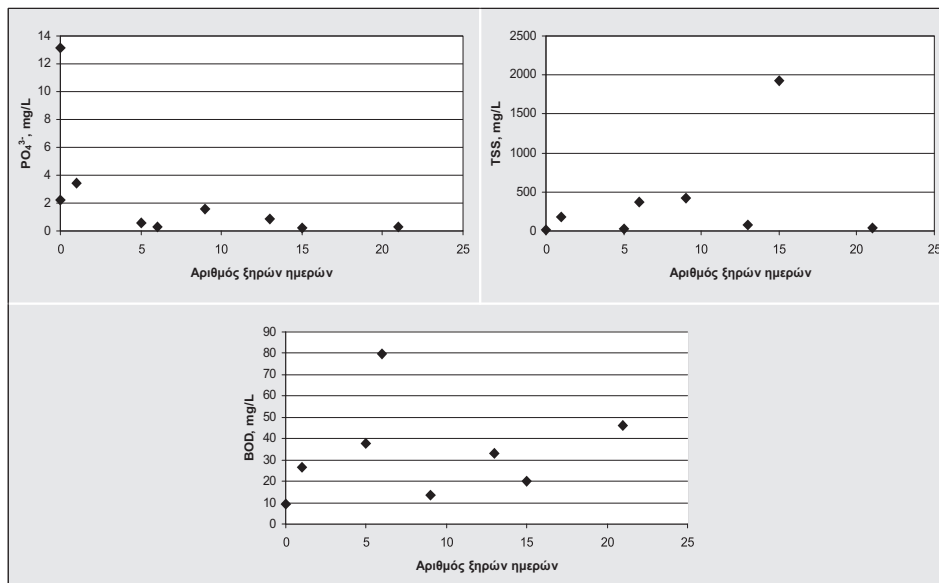
Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά απορροής στις 21/3/2003 στον κεντρικό αγωγό ομβρίων:

(α) Υδρογράφημα, (β) αγωγιμότητα, (γ) θερμοκρασία, (δ) pH, (ε) DO, (ζ) TSS, (η) BOD, (θ) νιτρικά, νιτρώδη και ορθο-φωσφορικά, (ι) λίπη και έλαια, (κ) ολικά κολοβακτηριδία, (λ) βαρέα μέταλλα.

Από το Σχήμα 3, συμπεραίνονται τα εξής:

- 1) η αγωγιμότητα μειώνεται και το pH αυξάνεται καθώς το υδρογράφημα περνάει,
- 2) το DO είχε χαμηλές τιμές κατά τη διάρκεια του υδρογραφήματος και αυξανόταν καθώς το υδρογράφημα περνούσε,
- 3) τα TSS και το BOD αυξάνονταν όσο περνούσε το υδρογράφημα και ήταν κοντά στο μηδέν πριν και μετά το υδρογράφημα,
- 4) οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών ήταν υψηλότερες κατά τη διάρκεια του υδρογραφήματος και μειώνονταν μετά το υδρογράφημα,
- 5) τα λίπη και τα έλαια ήταν υψηλότερα μετά το υδρογράφημα και
- 6) οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, εκτός του Mn, ήταν σε συγκρίσιμα επίπεδα κατά τη διάρκεια και μετά το υδρογράφημα.

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει γραφήματα διαφόρων συγκεντρώσεων διαφόρων ρύπων σε σχέση με τις ξηρές μέρες πριν το επεισόδιο της βροχής. Είναι εμφανές ότι τα ορθο-φωσφορικά δεν δείχνουν συσχέτιση με τις ξηρές ημέρες, αντιθέτως με τα TSS και το BOD. Σαν γενική παρατήρηση τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα με τις τυπικές τιμές και τις παρατηρήσεις της ποιότητας της αστικής απορροής στις ΗΠΑ (Akratos et al. 2004, Novothy and Olem 1944).



Σχήμα 4. Διαγράμματα συσχέτισης των ορθο-φωσφορικών, των TSS και του BOD με τον αριθμό των ξηρών ημερών.

4. Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασία είναι φανερό ότι η αστική απορροή μεταφέρει σημαντικές ποσότητες ρύπων. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων εξαρτώνται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην πόλη. Παραδείγματος χάριν, οι συγκεντρώσεις των ορθο-φωσφορικών είναι υψηλές λόγω της χρήσης απορρυπαντικών στο καθαίρισμα αυλών, στεγών και πεζοδρομίων, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών και των νιτρωδών είναι υψηλότερες σε περιοχές με υψηλή κίνηση οχημάτων. Οι συγκεντρώσεις των TSS, των ορθο-φωσφορικών και του BOD επίσης δείχνουν ισχυρή συσχέτιση με το φαινόμενο της πρώτης απόπλυσης. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων δεν δείχνουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των δειγμάτων στην επιφάνεια των δρόμων και των φρεατίων συλλογής, πιθανόν λόγω του τρόπου κατασκευής των φρεατίων. Τέλος, είναι εμφανές ότι η αστική απορροή στην πόλη της Ξάνθης υπερβαίνει τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις διάθεσης σε υδατικό σύστημα. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν μέτρα βέλτιστης διαχείρισης στην πόλη για την βελτίωση της ποιότητας της αστικής απορροής.

Βιβλιογραφία

1. Akrotos, C.S., Gergoula, Z. and Tsihrintzis, V.A., 2004. *Characterization of Urban Stormwater Runoff Quality in Xanthi, Greece*, Proc. Int. Conf. Protection and Restoration of the Environment VII, Myconos. Greece.
2. APHA (American Public Health Association), American Water Works Association, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition, APHA, Washington D.C.
3. Dalipis, D. and Dermisi, N., 2002. *Urban Runoff Quality: Management Measures and Practices*. Proc. Int. Conf. Protection and Restoration of the Environment VI, Skiathos. Greece.
4. Lee, J.H. and Bang, K.W. 2000. *Characterization of Urban Stormwater Runoff*. Water Research, 34: 1773-1780.
5. Novotny, V. and Olem, H. 1994. *Water Quality-Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
6. Tsihrintzis, V.A. and Hamid, R. 1997a. *Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review*. Water Resources Management, 11: 137-164.
7. Tsihrintzis, V.A. and Hamid, R. 1997b, *Urban Stormwater Quantity/Quality Modeling Using the SCS Method and Empirical Equations*. Journal of the American Water Resources Association, 33: 163-176.

8. Tsihrintzis, V.A. and Hamid, R. 1998, *Runoff Quality Prediction from Small Urban Catchments Using SWMM*. Hydrological Processes, 12: 311-329.
9. Uchimura, K., Nakamura, E. and Fujita, S., 1997. *Characteristics of Stormwater Runoff and its Control in Japan*. Water Science and Technology, 36: 141-147.
10. US Environmental Protection Agency (USEPA), 1974, *Water Quality Management Planning for Urban Runoff*. EPA 440/9-75-004, USEPA, Washington, US.