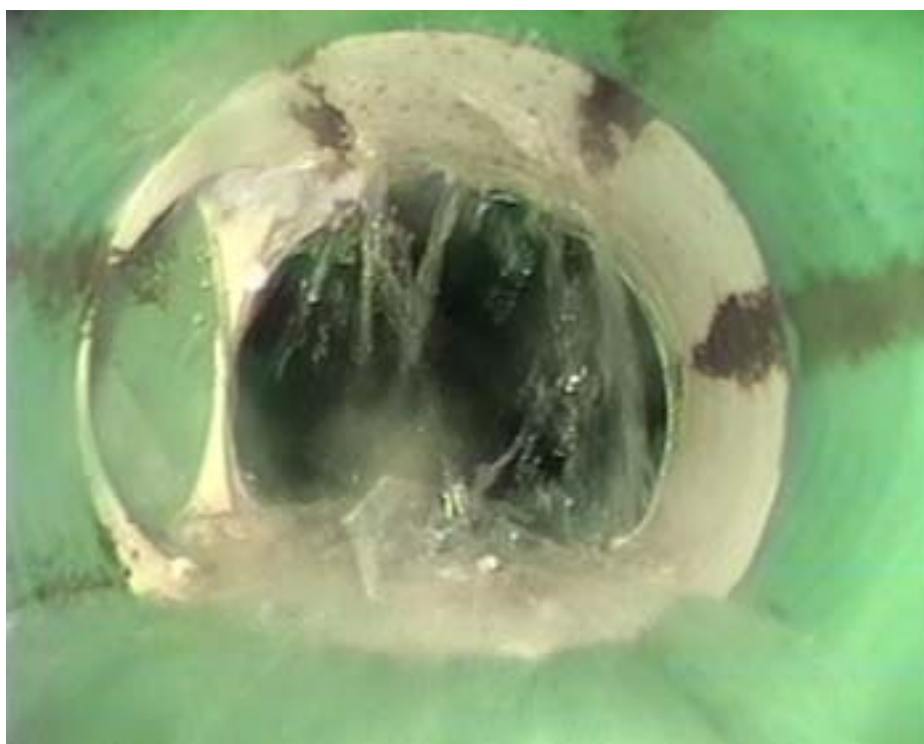




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων

Διπλωματική εργασία



Παρασιτικές Εισροές σε Δίκτυο Ακαθάρτων

Ζαλαχώρη Ιωάννα

Επιβλέπων καθηγητής: Δ. Κουτσογιάννης, Αναπλ. Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2005

Ευχαριστίες:

Στην εισαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για να ευοδωθούν οι προσπάθειές μου. Καταρχήν τον επιβλέποντα και δάσκαλό μου κ. Δ. Κουτσογιάννη, που ακούραστα μου διέθεσε τις γνώσεις και τον χρόνο του, ανοίγοντας μου το δρόμο της έρευνας. Τον καθηγητή κ. Α. Ανδρεαδάκη για τις συμβουλές του κατά την εκπόνηση της εργασίας. Τον καθηγητή κ. Ι. Στεφανάκο για τη βοήθειά του στη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τις ΔΕΥΑ Ιωαννίνων και Καρδίτσας, οι οποίες στάθηκαν πολύτιμοι αρωγοί στην προσπάθειά μου. Ειδικότερα: τον γενικό διευθυντή της ΔΕΥΑ Ιωαννίνων κ. Κ. Γιωτάκη για την ευαισθητοποίησή του στο ζήτημα των παρασιτικών εισροών και τον χημικό μηχανικό της ΔΕΥΑ Καρδίτσας κ. Κ. Παπαθανασίου για την προθυμία του παρόλα τα εμπόδια.

Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω τη διπλωματική μου εργασία στους γονείς μου,

Γιάννα Ζαλαχώρη

18/07/2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι παρασιτικές εισροές σε δίκτυα ακαθάρτων αποτελούν ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα των αστικών δικτύων αποχέτευσης. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία οι πρόσθετες εισροές συχνά ανέρχονται στο 100 % της παροχής λυμάτων, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο, την εγκατάσταση, το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο έχει καταρτιστεί σε λίγες χώρες, ενώ σε κάποιες άλλες είναι σε εξέλιξη ερευνητικά προγράμματα. Πληθώρα μεθόδων συστήνονται διεθνώς για την ανίχνευση και τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πέρα από τη διεθνή επισκόπηση, αναπτύχθηκαν πιλοτικές εφαρμογές στον ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα στις πόλεις των Ιωαννίνων και της Καρδίτσας. Για κάθε πόλη διερευνήθηκαν οι συνθήκες σχετικά με τις παρασιτικές εισροές και στη συνέχεια συντάχθηκε μοντέλο περιγραφής και ποσοτικοποίησής τους. Στη συνέχεια ελέγχθηκαν οι επιδόσεις του μοντέλου και προσδιορίστηκαν οι συνιστώσες των ακαθάρτων για κάθε πόλη.

Επιπροσθέτως, στο πλαίσιο της εξερεύνησης των συνθηκών σχετικά με τις πρόσθετες εισροές στην Ελλάδα και ελλείψει δεδομένων, έγινε μια πρωταρχική ποιοτική διερεύνηση του προβλήματος στο Άργος και στο Ναύπλιο.

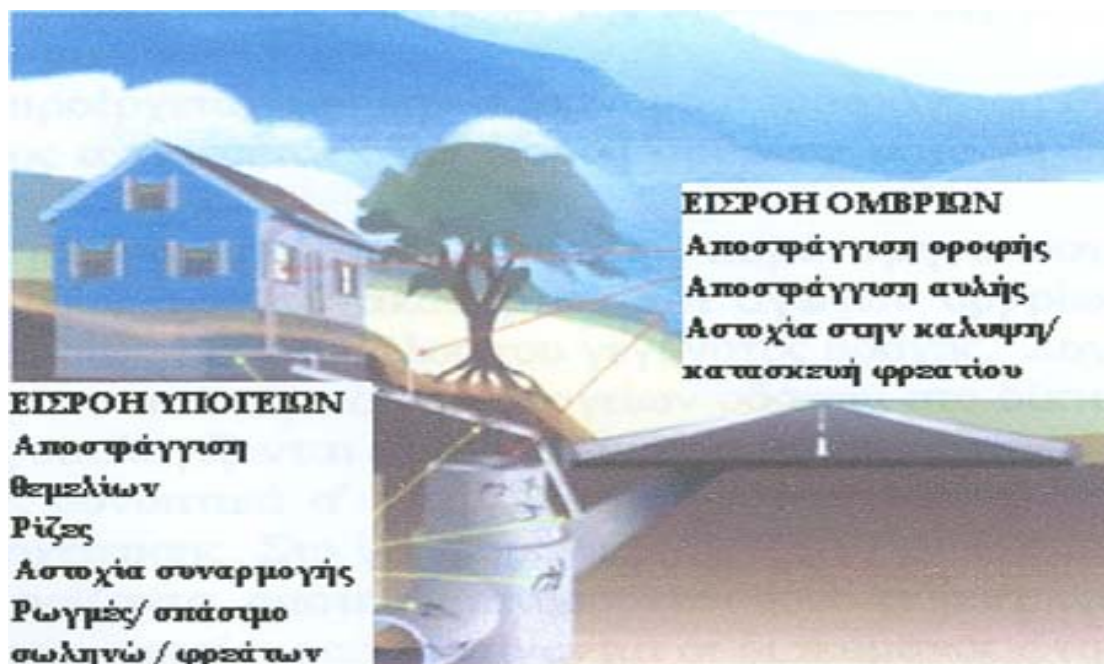
ABSTRACT

Infiltration and inflow consist one of the major problems in sewer systems. According to international reviews infiltration and inflow are often estimated as 100 % of sewage flow, causing major damage both to the system and the treatment facility. In some countries proper regulation has been applied, though in others research is still in process. International reference provides a variety of methods for the identification of I/I sources and the rehabilitation of sewers.

During the present dissertation, pilot projects have been conducted concerning Greece and cities of Ioannina and Karditsa in particular. At first infiltration and inflow conditions were identified for each city and then a proper model was developed for the quantification of I/I. Finally the reliability of the model was verified and the components of sewage were analysed.

In addition and while exploring the infiltration/ inflow conditions in Greece a primary investigation was conducted concerning the cities of Argos and Nafplio.

Κεφάλαιο 1ο: Διεθνές θεσμικό πλαίσιο & αναφορές



ΟΡΙΣΜΟΙ

Ως παρασιτικές εισροές ορίζονται οι εισροές υπογείων και ομβρίων υδάτων στα δίκτυα ακαθάρτων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται το πρόβλημα των παρασιτικών εισροών σε χωριστικά δίκτυα αποχέτευσης. Στο Σχήμα 1.1 φαίνονται οι κύριες πηγές παρασιτικών εισροών σε σύνθητες αστικό δίκτυο αποχέτευσης. Αναλυτικά:

Υπόγεια ύδατα εισέρχονται στο δίκτυο μέσω:

- κατεστραμμένων αγωγών
- ρωγματομένων αγωγών
- ατελειών στη σύνδεση και τους αρμούς αγωγών
- ατελειών στη σύνδεση και τους αρμούς αγωγών - φρεατίων
- αρμών συνδέσεως στους αγωγούς του δημοσίου δικτύου

Το κύριο χαρακτηριστικό της εισροής υπογείων υδάτων στα δίκτυα ακαθάρτων είναι η εποχιακή μεταβολή: μεγαλύτερες ποσότητες εισρέουν την άνοιξη και μικρότερες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Σημειώνεται ότι σε παραθαλάσσιες περιοχές οι εισροές υπογείων υδάτων μεταβάλλεται με βάση την παλίρροια. Στη Μεσόγειο η διακύμανση της ακτογραμμής εξαιτίας παλιρροϊκών φαινομένων είναι μικρή συγκριτικά με τον υπόλοιπο κόσμο γι' αυτό και η συνιστώσα των υπογείων υδάτων που οφείλεται σε τέτοιου είδους φαινόμενα δε λαμβάνεται συνήθως υπόψιν. Σύμφωνα με την υπηρεσία κοινής ωφελείας της Μασαχουσέτης (1993) για τις εισροές υπογείων υδάτων ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι:

- μέγιστη εισροή υπογείων υδάτων ορίζεται η μέση τιμή της παροχής ακαθάρτων κατά τις νυχτερινές ώρες (00:00 έως 06:00) σε περίοδο υψηλής στάθμης υδροφόρου ορίζοντα.
- ελάχιστη εισροή υπογείων υδάτων ορίζεται η μέση τιμή της παροχής ακαθάρτων κατά τις νυχτερινές ώρες (00:00 έως 06:00) σε περίοδο χαμηλής στάθμης υδροφόρου ορίζοντα.

Σημειώνεται ότι πρόσφατες μελέτες του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Ζυρίχης (ETH 2003) αμφισβητούν τους ορισμούς των παραπάνω παραμέτρων καθώς σύγχρονες μελέτες και στατιστικές υποστηρίζουν ότι με βάση τον σύγχρονο τρόπο ζωής η νυχτερινή παροχή λυμάτων δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέα.

Εισροή ομβρίων υδάτων καλείται η επιφανειακή απορροή που εισέρχεται στο δίκτυο από:

- καλύμματα φρεατίων
- παράνομη σύνδεση της απαγωγής ομβρίων από κτήρια (σκεπές, αυλές, θεμελίωση) στο δίκτυο ακαθάρτων
- εκτεθειμένους σπασμένους και ρωγματομένους αγωγούς
- διασταυρώσεις ελαττωματικών αγωγών ακαθάρτων και αγωγών ομβρίων

Η εισροή ομβρίων υδάτων επηρεάζεται από την επιφανειακή απορροή της ευρύτερης περιοχής και γι' αυτό η συμβολή τους στην παροχή ακαθάρτων είναι σχεδόν άμεση. Ιδιαίτερα μετά από γεγονότα βροχόπτωσης παρατηρούνται υψηλές αιχμές στην παροχή ακαθάρτων. Εντούτοις συχνά παρατηρείται συμβολή των ομβρίων ακόμα και ύστερα από ημέρες, ιδιαίτερα αν έχουν προηγηθεί διαδοχικές υγρές ημέρες. Σύμφωνα με την υπηρεσία κοινής ωφελείας της Μασαχουσέτης (1993) για τις εισροές ομβρίων αναλύονται δύο επιμέρους συνιστώσες:

- η άμεση εισροή ομβρίων προέρχεται από την παράνομη αποστράγγιση σκεπών (υδρορροών), από τα καπάκια φρεατίων. Ο όρος αναφέρεται στην εισροή ομβρίων κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά την βροχόπτωση.
- η εισροή ομβρίων με υστέρηση προέρχεται από την παράνομη αποστράγγιση θεμελίων, από τη διασταύρωση ελαττωματικών αγωγών ακαθάρτων και αγωγών ομβρίων. Ο όρος αναφέρεται στη σταδιακή συμβολή των ομβρίων μετά το τέλος του γεγονότος βροχής. Συχνά δύσκολα διαχωρίζεται η συνιστώσα αυτή των ομβρίων από τις εισροές υπογείων υδάτων στο δίκτυο ακαθάρτων, γι' αυτό στα μοντέλα ποσοτικοποίησης υπολογίζονται ενιαία.

Στο Σχήμα 1.2 φαίνονται συνοπτικά σ' ένα γράφημα οι συνιστώσες της παροχής ακαθάρτων ενός τυχαίου αστικού δικτύου αποχέτευσης. Στο γράφημα εξετάζεται το ενδεχόμενο έντονης βροχόπτωσης σε περίοδο υψηλού υδροφόρου ορίζοντα, οπότε αναπτύσσονται τόσο εισροές ομβρίων, όσο και ακαθάρτων. Η κλίμακα του σχήματος είναι η ωριαία, οπότε φαίνονται οι διακυμάνσεις της παροχής λυμάτων και των παρασιτικών εισροών στη διάρκεια της ημέρας. Παρατηρείται ότι στο παρακάτω γράφημα έγινε διαχωρισμός της εισροής υπογείων υδάτων και της εισροής ομβρίων υδάτων με υστέρηση ωρών ή ημερών. Στην πράξη και ιδιαίτερα στα ελληνικά αστικά αποχετευτικά δίκτυα ο διαχωρισμός αυτός δύσκολα μπορεί να γίνει.



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Είναι ιδιαίτερα σημαντική η οπτική αντίληψη των πηγών παρασιτικών εισροών. Στο σημείο αυτό και πριν αναλυθούν οι επιπτώσεις από τις πρόσθετες εισροές στο δίκτυο παρατίθεται φωτογραφικό υλικό από τις συχνότερα απαντόμενες πηγές παρασιτικών εισροών σ' ένα αστικό δίκτυο αποχέτευσης. Ενδεικτικά φαίνεται στο Σχήμα 1.3 η παράνομη σύνδεση υδρορροής με το δίκτυο ακαθάρτων αντί του δικτύου ομβρίων και η εισροή υπογείων υδάτων από ατέλεια στον αρμό μεταξύ δύο αγωγών, η τελευταία φωτογραφία έχει ληφθεί από κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης κατά την επιθεώρηση του δικτύου. Επιπλέον στο Σχήμα 1.4 εικονίζονται ένας ολοκληρωτικά κατεστραμμένος αγωγός ακαθάρτων και ένα κατεστραμμένο φρεάτιο με ανύπαρκτο κάλυμμα.



Σχήμα 1. (αριστερά) Παράνομη αποστράγγιση σκεπής στο δίκτυο ακαθάρτων, (δεξιά) εισροή από ατέλεια στη σύνδεση αγωγών

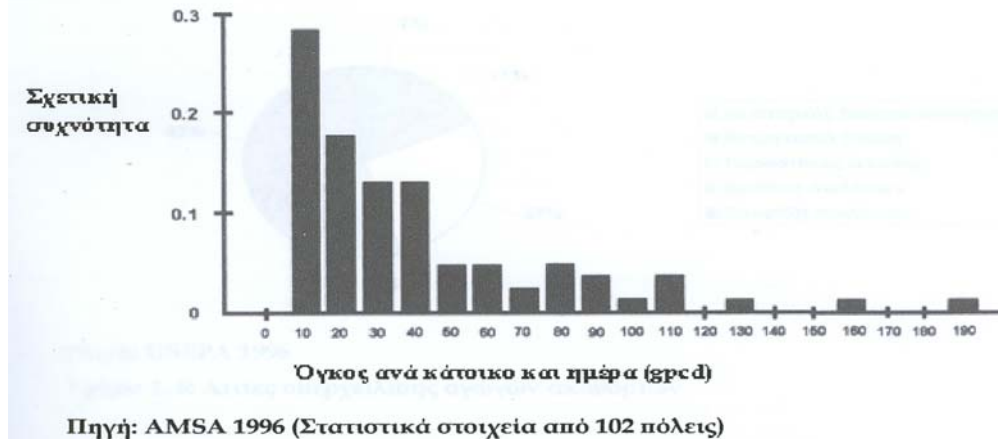
Σχήμα 1.: (αριστερά) κατεστραμμένος αγωγός (δεξιά) κατεστραμμένο κάλυμμα φρεατίου

ΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ :

Συγκριτικές μελέτες (Heany et al. 1997) στα αμερικανικά δίκτυα αποχέτευσης έδειξαν ότι κατά τη δεκαετίες του 1960 -1970, οπότε κατασκευάστηκε η πλειονότητα των δικτύων, η παροχή σχεδιασμού ακαθάρτων ανά κάτοικο και ημέρα υπολογιζόταν στο διάστημα 756 - 1512 L/κάτοικο & ημέρα (200 - 400 gpcd). Αντίθετα τα σύγχρονα δίκτυα μελετώνται για παροχή σχεδιασμού ακαθάρτων 380 L/κάτοικο & ημέρα, γεγονός που αποδεικνύει ότι τα υπάρχοντα δίκτυα είναι δύο έως τέσσερις φορές υπερδιαστασιολογημένα με βάση την παροχή ακαθάρτων υπό ξηρές συνθήκες σε χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως τα δίκτυα θα έπρεπε θεωρητικά να μπορούν να παροχετεύσουν τις πρόσθετες εισροές. Εντούτοις δέκα μελέτες σε αμερικανικές πόλεις από την USEPA (1990) δείχνουν ότι οι αιχμές της παροχής ακαθάρτων κυμαίνονται από 3,5 έως 20 φορές της παροχής ακαθάρτων υπό ξηρές συνθήκες σε χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα, ενώ υπερφόρτωση του δικτύου παρατηρείται όταν οι παρασιτικές εισροές ξεπεράσουν την παροχή αυτή κατά τέσσερις με πέντε φορές. Εντούτοις στο Houston (Jeng et al. 1996) έχει καταγραφεί αύξηση έως και 30 φορές των αιχμών ακαθάρτων σε σχέση με την μέση παροχή ακαθάρτων υπό ξηρές συνθήκες. Γενικότερα (Petroff 1996) έχει υπολογιστεί ότι οι συνολικές παρασιτικές εισροές

σε ένα τυπικό αστικό αποχετευτικό δίκτυο στις ΗΠΑ ανέρχονται στο 50 % της συνολικής εισερχόμενης παροχής στην εγκατάσταση επεξεργασίας.

Στο σχήμα 1.5 φαίνονται οι εκτιμώμενες παρασιτικές εισροές σε gpcd (gallons per capita & day) συναρτήσει της σχετικής συχνότητας παρατήρησής τους με βάση τα δεδομένα 102 αμερικανικών πόλεων. Σημειώνεται ότι με ποσοστό εμφάνισης 28 % οι πρόσθετες εισροές στο δίκτυο ανέρχονται σε 10 gpcd (38 L/κάτοικο & ημέρα), ενώ στο 6 % των περιπτώσεων οι παρασιτικές εισροές είναι μεγαλύτερες από 130 gpcd (490 L/κάτοικο & ημέρα). Το Σχήμα 1:5 αποδεικνύει το μέγεθος του προβλήματος στις ΗΠΑ. Τονίζεται ότι οι ΗΠΑ ασχολούνται με το ζήτημα των παρασιτικών εισροών από τη δεκαετία του 1970 και παρέχουν στη διεθνή βιβλιογραφία πληθώρα στατιστικών δεδομένων.



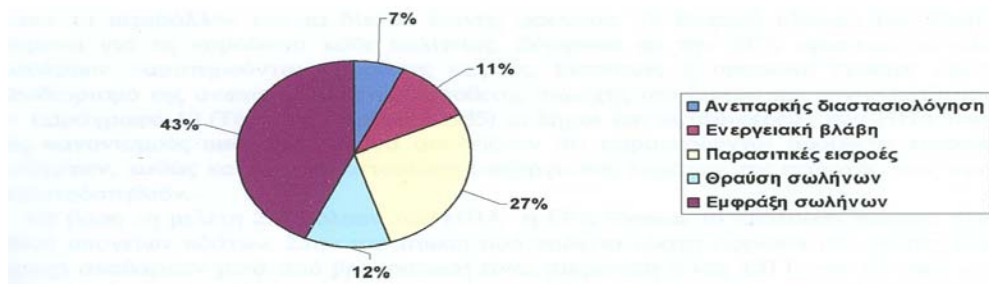
Σχήμα 1.: Εκτιμώμενες παρασιτικές εισροές ανάλογα με τη σχετική συχνότητα εμφάνισής τους.

Η αυξημένη παροχή των παρασιτικών εισροών σε δίκτυα ακαθάρτων επιφέρει σοβαρότατες οικονομικές και λειτουργικές συνέπειες στο σύνολο του δικτύου. Επιγραμματικά αναφέρονται:

- η υπερφόρτωση των αποχετευτικών αγωγών
- η υπερχειλίση των αποχετευτικών αγωγών με άμεση συνέπεια την εκροή ακαθάρτων σε ιδιωτικές ιδιοκτησίες
- η ανεπαρκής επεξεργασία των λυμάτων
- η αύξηση του κόστους μεταφοράς και επεξεργασίας των λυμάτων
- η επιβάρυνση της δημόσιας υγείας
- η επιβάρυνση του οικιστικού και φυσικού περιβάλλοντος

Αναλυτικά η παροχέτευση στο δίκτυο ακαθάρτων παροχής μεγαλύτερης από την μέση αναμενόμενη υπό ξηρές συνθήκες και χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα προκαλεί υπερφόρτωση του δικτύου. Όταν η τιμή αυτή ξεπεράσει και την παροχή σχεδιασμού του δικτύου τότε παρατηρείται υπερχειλίση κατά τόπους του δικτύου με σοβαρές επιπτώσεις στο δίκτυο, τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Στο Σχήμα 1.6 εικονίζονται οι κυριότερες αιτίες υπερχειλίσης αγωγών ακαθάρτων με βάση 6 παραδείγματα αστικών δικτύων στις ΗΠΑ (USEPA 1996). Η αύξηση της παροχής ακαθάρτων προκαλεί υπερφόρτωση και στην εγκατάσταση επεξεργασίας, καθώς η συνολική εισερχόμενη παροχή ακαθάρτων στην εγκατάσταση ενδέχεται να ξεπεράσει την παροχή σχεδιασμού της και να μην μπορούν να παροχετευθούν οι εισερχόμενες ποσότητες. Επιπλέον η επεξεργασία των λυμάτων, όταν οι παρασιτικές εισροές αποτελούν σημαντικό ποσοστό των ακαθάρτων είναι ανεπαρκής, καθώς δεν είναι δυνατή η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου στο απαιτούμενο ποσοστό. Ως συνέπεια, συγκεκριμένα για την Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν πληρούνται τα κριτήρια της Οδηγία 91/271 και δε θα πρέπει να γίνεται διάθεση της εκροής της εγκατάστασης στον τελικό αποδέκτη ή επαναχρησιμοποίηση της. Εντούτοις η τελική εκροή, παρά την ανεπαρκή επεξεργασία, διατίθεται σε ποτάμια, θάλασσες ή χρησιμοποιείται για άρδευση βλάπτοντας τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Εκτός από τις λειτουργικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι παρασιτικές εισροές επιβαρύνουν οικονομικά τον τοπικό δήμο. Η μεταφορά και η επεξεργασία πρόσθετων ποσοτήτων από το δίκτυο και την εγκατάσταση αντίστοιχα έχει αυξημένο ενεργειακό κόστος, καθώς απαιτείται αυξημένη λειτουργία των αντλιών για την παροχέτευση μεγαλύτερης παροχής ακαθάρτων. Επιπλέον οι αυξημένες παρασιτικές εισροές οδηγούν στην περίπτωση υπάρχουσας εγκατάστασης σε επέκτασή της νωρίτερα από το αρχικά προβλεπόμενο, ενώ στην περίπτωση νέας εγκατάστασης στην υπερδιαστασιολόγησή της με αύξηση του κόστους κατασκευής. Ανάλογες είναι οι οικονομικές επιπτώσεις για τον δήμο και τους πολίτες σε περίπτωση υπερδιαστασιολόγησης του δικτύου. Η οικονομική επιβάρυνση των τοπικών κοινωνιών αποτέλεσε την αιτή απόδειξη του προβλήματος και οδήγησε στην σύνταξη μελετών και θεσμικών κανόνων .



Πηγή: USEPA 1996

Σχήμα 1. 6: Αιτίες υπερχειλίσης αγωγών ακαθάρτων

ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ ΑΜΕΡΙΚΗΣ

Στις ΗΠΑ το ζήτημα των παρασιτικών εισροών ερευνάται από τη δεκαετία του 1970. Την ίδια περίοδο θεσπίστηκε και το πρώτο νομοθετικό πλαίσιο για την ανίχνευση και τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών. Έκτοτε οι διατάξεις ανά δεκαετία σχεδόν αναπροσαρμόζονται, ώστε να πληρούν τις νέες κατασκευαστικές και λειτουργικές απαιτήσεις. Επιπλέον αναπροσαρμογή των κανονισμών γίνεται με βάση τα τοπικά δεδομένα κάθε πολιτείας, ώστε να εξυπηρετούνται οι τοπικές ανάγκες. Ως παράδειγμα αναγκαίας αναπροσαρμογής αναφέρεται παρακάτω η πολιτεία της Louisiana.

Με βάση στατιστικά δεδομένα και μετρήσεις (1982) από 120 πόλεις προέκυψε πως πάνω από 50 % των αμερικανικών πόλεων επιτρέπουν στο δίκτυό τους παρασιτικές εισροές της τάξης του $0,46 \text{ m}^3 / \text{d/cm diam/ km}$ ή περισσότερο. Στον Πίνακα 1.1 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα δεδομένα που αναλύθηκαν. Με αφορμή αυτή την έρευνα η υπηρεσία προστασία περιβάλλοντος (USEPA) αποφάσισε από κοινού με τις αρμόδιες αρχές κάθε πολιτείας την θέσπιση αυστηρότερου θεσμικού πλαισίου για την ανίχνευση και τον περιορισμό των πρόσθετων εισροών σε σχέση με το ήδη υπάρχον από τη δεκαετία του 1970.

Πίνακας 1. 1: Συγκεντρωτικά δεδομένα για 120 πόλεις

Αριθμός Πόλεων	Ποσοστό επί του συνόλου	Ανώτατη ανεκτή τιμή (m ³ / d/cm diam/ km)
4	3,1	1.40
4	3,1	0.93
1	0,8	0.74
2	1,6	0.65
1	0,8	0.55
63	49,2	0.46
11	8,6	0.42-0.28
16	12,5	0.23-0.14
21	16,4	0.09
5	3,9	0.05

Πηγή: USEPA & ASCE/WPCF 1982

Environmental Protection Agency (EPA):

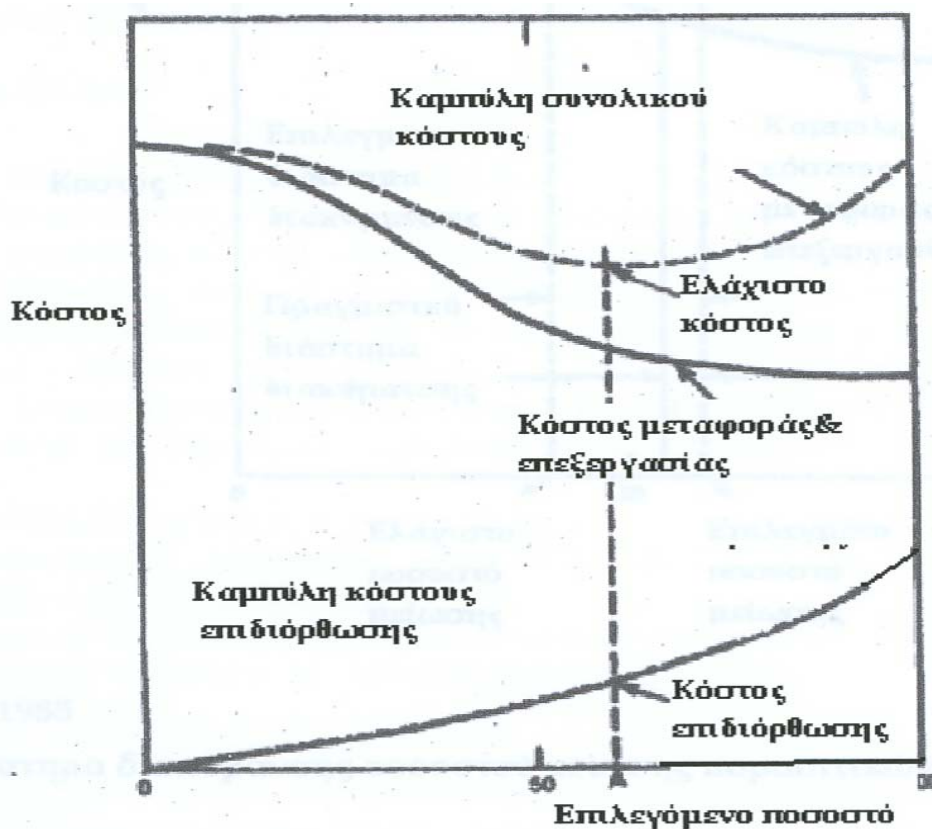
Η Environmental Protection Agency (EPA) αποτελεί το ανώτατο ομοσπονδιακό όργανο όσον αφορά το περιβάλλον και τα δίκτυα κοινής ωφελείας. Το θεσμικό πλαίσιο που θεσπίζει αποτελεί γνώμονα για τη νομοθεσία κάθε πολιτείας. Σύμφωνα με την EPA πρακτικά σε όλα τα δίκτυα ακαθάρτων παρατηρούνται πρόσθετες εισροές. Εντούτοις η υπηρεσία θέσπισε κριτήρια για το προσδιορισμό της ανώτατης ανεκτής πρόσθετης παροχής στο δίκτυο και την εγκατάσταση. Με βάση την παράγραφο 40 (Τόμος 35, Άρθρο I 1985) οι δήμοι και οι περιφέρειες των ΗΠΑ που υπέγραψαν τους κανονισμούς υποχρεούνται να αποδείξουν ότι παρατηρούνται πρόσθετες εισροές στο δίκτυο ακαθάρτων, καθώς και στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της περιοχής τους προκειμένου να χρηματοδοτηθούν.

Με βάση τη μελέτη 270 πόλεων των ΗΠΑ η EPA θέσπισε το ακόλουθο θεσμικό πλαίσιο για την εισροή υπογείων υδάτων. Στην περίπτωση που υπόγεια ύδατα εισρέουν στο δίκτυο και η συνολική παροχή ακαθάρτων μετά από βροχόπτωση είναι μικρότερη ή ίση 450 L ανά κάτοικο και ημέρα (120 gpcd τότε η υπηρεσία δικαιούται στη φάση του σχεδιασμού και κατασκευής να μην απαιτήσει σύνταξη πρόσθετης μελέτης, ενώ στη φάση λειτουργίας διατίθενται κονδύλια για επιδιόρθωση προβληματικών τμημάτων. Στην περίπτωση που η συνολική παροχή ακαθάρτων μετά από βροχόπτωση υπερβαίνει τα 450 L ανά κάτοικο και ημέρα (120 gpcd) στη φάση μελέτης και κατασκευής απαιτείται ειδική άδεια από την περιφερειακή υπηρεσία της EPA για να μη συνταχθεί ειδική μελέτη για τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών. Επιπλέον πρέπει να κατατεθεί από τη δημοτική αρχή συγκριτική οικονομική ανάλυση που να αποδεικνύει ότι η επεξεργασία των πρόσθετων εισροών είναι οικονομικότερη από την αποτελεσματική επιδιόρθωση του δικτύου. Ακόμη πρέπει να κατατεθούν στην υπηρεσία αποδεικτικά στοιχεία για την οικονομική δυνατότητα του δήμου να καλύψει το ποσοστό που του αναλογεί τόσο κατά την κατασκευή, όσο και κατά τη λειτουργία. Τονίζεται ότι σε περίπτωση που η εγκατάσταση επεξεργασίας σχεδιαστεί να παροχετεύει το σύνολο της παροχής ακαθάρτων η περιφερειακή υπηρεσία της EPA δεν επιχορηγεί τις πρόσθετες πέραν των 450 L ανά κάτοικο και ημέρα (120 gpcd) εισροές. Σε περίπτωση που η EPA απαιτεί ειδική μελέτη για τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών πριν την επιχορήγησή της θα πρέπει να κατατεθεί από τις δημοτικές αρχές σχέδιο περιορισμού των εισροών και συγκριτική οικονομική ανάλυση των δυνατών λύσεων τόσο για τη φάση μελέτης και κατασκευής, όσο και για τη φάση λειτουργίας. Κατόπιν έγκρισης η EPA επιχορηγεί την οικονομικότερη επιλογή.

Με βάση τη μελέτη 45 δικτύων ακαθάρτων η EPA θέσπισε το ακόλουθο θεσμικό πλαίσιο. Στην περίπτωση που όμβρια ύδατα εισρέουν στο δίκτυο και η συνολική παροχή ακαθάρτων μετά από βροχόπτωση είναι μικρότερη ή ίση 1040 L ανά κάτοικο και ημέρα (275 gpcd) τότε η υπηρεσία δικαιούται στη φάση του σχεδιασμού και κατασκευής να μην απαιτήσει σύνταξη πρόσθετης μελέτης για τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών, ενώ στη φάση λειτουργίας διατίθενται κονδύλια για επιδιόρθωση προβληματικών τμημάτων. Στην περίπτωση που η συνολική παροχή

ακαθάρτων μετά από βροχόπτωση υπερβαίνει τα 1040 L ανά κάτοικο και ημέρα (275 gpcd) ή παρατηρείται υπερφόρτωση του δικτύου κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων η ΕΡΑ απαιτεί τη σύνταξη μελέτης ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών και αξιολόγησης των δυνατών μεθόδων επιδιόρθωσης. Με βάση τα αποτελέσματα των προηγούμενων μελετών επιλέγεται η πιο οικονομική μέθοδος επιδιόρθωσης του δικτύου. Στη συνέχεια η τελική επιλεγόμενη μέθοδος εγκρίνεται από την περιφερειακή υπηρεσία της ΕΡΑ και στη συνέχεια τα έργα επιχορηγούνται.

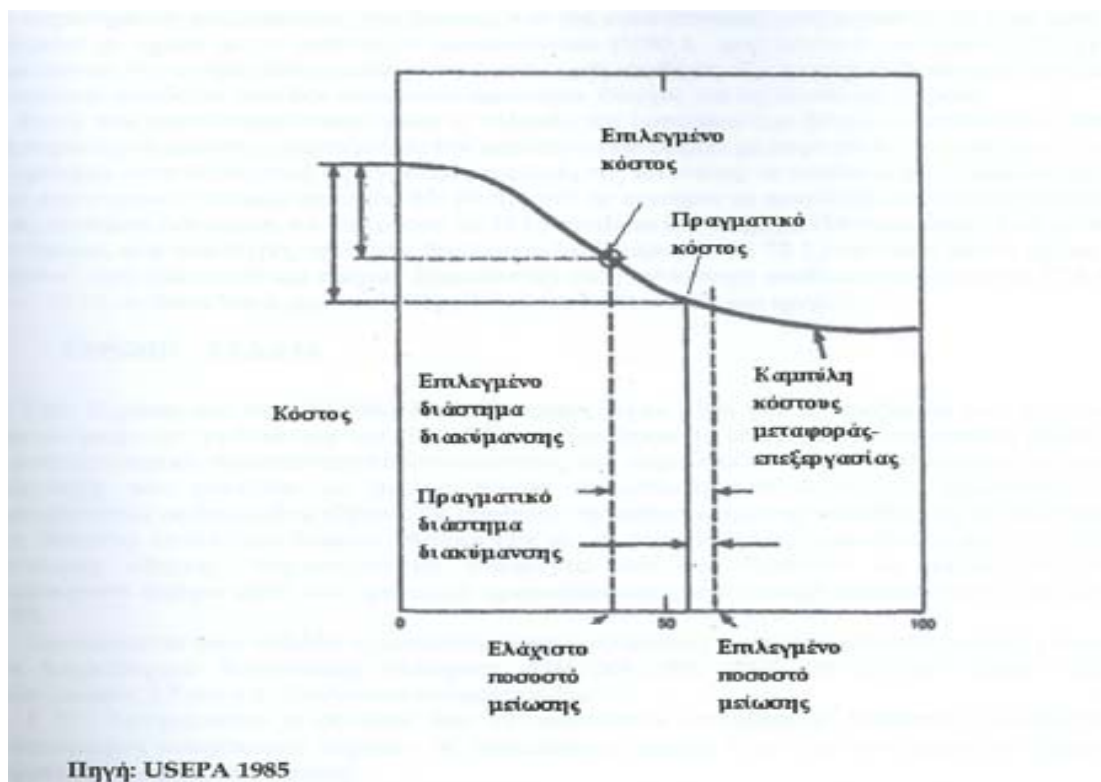
Σύμφωνα με τα πρότυπα της ΕΡΑ η οικονομοτεχνική μελέτη που συντάσσεται από τις δημοτικές αρχές πρέπει να καθορίζει το βέλτιστο ποσοστό περιορισμού των παρασιτικών εισροών, δηλαδή το ποσοστό με το οποίο επιτυγχάνεται η μέγιστη επιδιόρθωση του δικτύου για το ελάχιστο κόστος. Στο Σχήμα 1.7 παριστάνεται το βέλτιστο κόστος σε σχέση με τις καμπύλες κόστους μεταφοράς - επεξεργασίας και κόστους επιδιόρθωσης (για τη φάση λειτουργικότητας). Τονίζεται ότι στο πραγματικό κόστος επιδιόρθωσης περιλαμβάνονται το κόστος της μελέτης περιορισμού των πρόσθετων εισροών, το κόστος επιθεώρησης και το κόστος επιδιόρθωσης του δικτύου.



Πηγή: USEPA 1985

Επιπλέον μετά από ένα χρόνο λειτουργίας του κατασκευασθέντος ή επιδιορθωμένου συστήματος η περιφερειακή υπηρεσία της ΕΡΑ ελέγχει κατά πόσον επιτεύχθηκε ο περιορισμός των παρασιτικών εισροών στον επιδιωκόμενο βαθμό. Πρακτικά το ακριβές ποσοστό μείωσης των πρόσθετων εισροών είναι δύσκολο να επιτευχθεί, γι' αυτό ορίστηκε από την υπηρεσία ένα διάστημα μέσο στο οποίο πρέπει να κυμαίνεται το πραγματικό ποσοστό περιορισμού των εισροών. Το διάστημα αυτό οριοθετείται από το ελάχιστο αποδεκτό ποσοστό μείωσης και από το επιθυμητό με βάση τη μελέτη ποσοστό. Αν το πραγματικό απομάκρυνσης κυμαίνεται εντός του επιθυμητού διαστήματος τότε βεβαιώνεται από την ΕΡΑ η καλή λειτουργία του δικτύου και της

εγκατάστασης. Σε περίπτωση που το ποσοστό περιορισμού είναι μικρότερο από το ελάχιστο αποδεκτό ποσοστό τότε θα παρατηρηθεί υπερφόρτωση του δικτύου και της εγκατάστασης. Ακόμη το αποδεκτό διάστημα διακύμανσης του ποσοστού μείωσης στην πράξη περιορίζεται για παράδειγμα αν το κόστος επιδιόρθωσης αυξηθεί σε σχέση με το προβλεπόμενο το διάστημα μειώνεται ή αν το κόστος μεταφοράς και επεξεργασίας είναι μικρότερο από το εκτιμώμενο. Γι' αυτό συνιστάται στις δημοτικές αρχές να επαναυπολογίζεται το αποδεκτό διάστημα διακύμανσης του ποσοστού μείωσης των παρασιτικών εισροών κατά την επιθεώρηση του δικτύου, μετά από την ολοκλήρωση της μελέτης και μετά την ολοκλήρωση διαφόρων φάσεων της κατασκευής.



Σχήμα 1.8: Διάστημα διακύμανσης ποσοστού μείωσης παρασιτικών εισροών

Louisiana

Η πολιτεία της Λουιζιάνα (2001) αποδέχεται την ομοσπονδιακή νομοθεσία (EPA) για την καλή λειτουργία του δικτύου αποχέτευσης σύμφωνα με την οποία οι εισροές υπογείων υδάτων δε θα πρέπει να ξεπερνούν τα 450 L ανά κάτοικο και ημέρα (120 grcd) και των ομβρίων υδάτων ίση 1040 L ανά κάτοικο και ημέρα (275 grcd). Εντούτοις, επειδή η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στην πολιτεία είναι γενικά ψηλότερη από μέση στάθμη των υπογείων υδάτων στις υπόλοιπες πολιτείες, η τοπική υπηρεσία περιβάλλοντος ορίζει ως ανώτατο αποδεκτό όριο για την εισροή υπογείων υδάτων τα 570 L ανά κάτοικο και ημέρα (150 grcd). Με βάση μετρήσεις (2001) η βασική ροή στις υδρολογικές λεκάνες της πολιτείας για όλο το έτος υπολογίστηκε σε 265 L ανά κάτοικο και ημέρα (70 grcd). Επιπλέον η μέση ημερήσια εισροή υπογείων υδάτων μετρημένη για διάστημα δύο εβδομάδων σε περίοδο υψηλού υδροφόρου ορίζοντα ισούται με 300 L ανά κάτοικο και ημέρα (80 grcd). Με βάση αυτά τα δεδομένα προέκυψε το ανώτατο όριο των 570 L ανά κάτοικο και ημέρα (150 grcd).

Η νομοθεσία της Louisiana ορίζει πως σε περίπτωση που η εισροή υπογείων υδάτων είναι μικρότερη από το ανώτατο όριο δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος για τις παρασιτικές εισροές. Σε περίπτωση που οι εισροές ξεπερνούν το όριο των 570 L ανά κάτοικο και ημέρα (150 grcd) απαιτείται τόσο στη φάση μελέτης - κατασκευής, όσο και στη φάση λειτουργίας η ειδική μελέτη

ανίχνευσης και περιορισμού των παρασιτικών εισροών η οποία πρέπει να συνοδεύεται από οικονομοτεχνική συγκριτική μελέτη των δυνατών λύσεων.

Όσον αφορά στις εισροές ομβρίων στο δίκτυο η τοπική υπηρεσία περιβάλλοντος σε συνεργασία θεωρεί ως ανώτατο αποδεκτό όριο τα 1140 L ανά κάτοικο και ημέρα (300 gpcd) με την προϋπόθεση ότι δεν παρατηρείται υπερφόρτωση του δικτύου και της εγκατάστασης επεξεργασίας. Το όριο αυτό είναι αυξημένο σε σχέση με το αντίστοιχο ομοσπονδιακό (1040 L ανά κάτοικο και ημέρα (275 gpcd)). Σημειώνεται ότι το όριο αυτό υπολογίστηκε υπό υγρές συνθήκες. Για εισροή ομβρίων που δεν ξεπερνά το ανώτατο αποδεκτό όριο δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος για τις πρόσθετες εισροές.

Εκτός των προαναφερθέντων ορίων η πολιτεία της Louisiana έχει θεσπίσει εναλλακτικά κριτήρια για παρασιτικές εισροές συσχετίζοντας την ποσότητα που εισρέει με το μέγεθος του συνολικού δικτύου. Το κριτήριο αυτό εξυπηρετεί τις αγροτικές περιοχές της πολιτείας, σε αντίθεση με τα προαναφερθέντα όρια που αφορούν αστικές περιοχές. Με βάση αυτά τα κριτήρια οι συνολικές παρασιτικές εισροές υπό ξηρές συνθήκες δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 16 L/cm diam km & ημέρα (1800 gallons/ inch diam mile και ημέρα), ενώ υπό υγρές συνθήκες δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 32 L/cm diam km & ημέρα (3600 gallons/ inch diam mile και ημέρα). Σημειώνεται ότι η αντίστοιχη αποδεκτή τιμή από την EPA (1981) είναι 15 L/cm diam km & ημέρα (1690 gallons/ inch diam mile και ημέρα)

ΕΥΡΩΠΗ - ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ευρώπη και στην Ελλάδα λίγες αναφορές είχαν γίνει για το πρόβλημα των παρασιτικών εισροών μέχρι και τη δεκαετία του 1990. Εδώ και μια δεκαετία σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες έχουν αρχίσει ερευνητικές προσπάθειες ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών, ενώ γίνεται προσπάθεια εφαρμογής των μοντέλων σε αστικά δίκτυα αποχέτευσης. Αναλυτικά οι προσπάθειες αυτές περιγράφονται σε παρακάτω εδάφιο. Ως συνέπεια της καθυστερημένης ενασχόλησης με το ζήτημα δεν έχει θεσπιστεί κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο είτε με τη μορφή εθνικής νομοθεσίας, είτε με τη μορφή κοινοτικής οδηγίας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στη Γερμανία οι παρασιτικές εισροές λαμβάνονται υπόψιν κατά τον σχεδιασμό προσαυξάνοντας την παροχή λυμάτων κατά 100 % (Matrz 1970).

Συγκεκριμένα στην Ελλάδα η μοναδική θεσμική πρόβλεψη για τις παρασιτικές εισροές γίνεται από τον Κτιριοδομικό Κανονισμό (Απόφαση 3046/304/1988, ΦΕΚ 59 Δ' /1989 Άρθρο 26) στις παραγράφους 3.7 και 4.3. Αναλυτικά αναφέρεται ότι:

§ 3.7. Απαγορεύεται η σύνδεση των εγκαταστάσεων αποχέτευσης λυμάτων ή αποβλήτων με εγκαταστάσεις αποχέτευσης ομβρίων σε οποιοδήποτε σημείο, πλην του παντοροϊκού δημόσιου ή δημοτικού αγωγού αποχέτευσης

§ 4.3. Εάν δε υπάρχουν αγωγοί κατάλληλοι για τη διάθεση των ομβρίων, τότε αυτή μπορεί να γίνεται στα ρείθρα των πεζοδρομίων. Σε περίπτωση αδυναμίας διάθεσης των ομβρίων και εκεί, είναι δυνατή η διάθεση των ομβρίων σε απορροφητικό φρέαρ.

Επιπλέον η ΕΥΔΑΠ (1985) σύστηνε κατά τον σχεδιασμό δικτύων και εγκαταστάσεων επεξεργασίας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας να προσαυξάνεται η παροχή σχεδιασμού των ακαθάρτων κατά 30 % στις περιοχές με υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα και κατά 20 % στις περιοχές με αντίστοιχα χαμηλή στάθμη, ώστε να συνυπολογίζονται οι παρασιτικές εισροές. Εντούτοις, και με βάση τα παραδείγματα των Ιωαννίνων, της Καρδίτσας και του Άργους - Ναυπλίου που ακολουθούν στα επόμενα κεφάλαια, είναι εμφανές ότι οι τιμές αυτές δεν είναι ικανοποιητικές και δεν αντικατοπτρίζουν το μέγεθος των παρασιτικών εισροών στα ελληνικά αστικά δίκτυα αποχέτευσης. Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι είναι επιτακτική ανάγκη η διαμόρφωση θεσμικού πλαισίου για την ανίχνευση και τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών σε εθνικό επίπεδο, αλλά και σε κοινοτική βάση στα πρότυπα της αμερικανικής νομοθεσίας, δηλαδή ενιαίοι κανονισμοί κατά τόπους αναπροσαρμοσμένοι.

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ

Η ανίχνευση των παρασιτικών εισροών μπορεί να γίνει αφενός ποιοτικά αναλύοντας τα λειτουργικά και ποσοτικά δεδομένα, αφετέρου κατόπιν εκτενούς επιθεώρησης του δικτύου. Η ποιοτική ανίχνευση αποτελεί την πρώτη ένδειξη για το πρόβλημα και ταυτόχρονα την απαραίτητη διεξοδικότερης έρευνας. Μια πρώτη ποιοτική ανίχνευση των παρασιτικών εισροών εύκολα προκύπτει συγκρίνοντας τη μέση παροχή ακαθάρτων με την μετρημένη παροχή υπό συνθήκες υψηλού υδροφόρου ορίζοντα ή κατόπιν βροχόπτωσης. Σε περίπτωση που η μετρημένη παροχή ξεπερνά σημαντικά τη μέση τιμή της χρονοσειράς των ακαθάρτων αυτό αποτελεί ένδειξη της εισροής υπογείων ή ομβρίων υδάτων στο δίκτυο.

Μια άλλη ποιοτική μέθοδος ανίχνευσης των πρόσθετων εισροών στο δίκτυο αποτελεί η σύγκριση της μέσης τιμής της παροχής ακαθάρτων με την μέση υδατική κατανάλωση. Θεωρείται ότι εξετάζονται ημερήσια δεδομένα και ότι συνήθως η παροχή ακαθάρτων κυμαίνεται στο 75 έως 95 % της υδατικής κατανάλωσης. Σημειώνεται ότι στην Ελλάδα (ΕΥΔΑΠ 1985) το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 60 - 85 % της υδατικής κατανάλωσης. Αν από τη σύγκριση των μέσων ημερήσιων ανά μήνα μεγεθών προκύψει ότι η παροχή ακαθάρτων αποτελεί σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό της υδατικής κατανάλωσης από το αναμενόμενο, ιδιαίτερα κατά τους εαρινούς μήνες, τότε το γεγονός αυτό αποτελεί μια πρώτη ποιοτική ανίχνευση παρασιτικών εισροών στο δίκτυο.

Ποιοτική ανίχνευση των παρασιτικών εισροών μπορεί να γίνει και με χρήση των λειτουργικών δεδομένων της εγκατάστασης επεξεργασίας. Για παράδειγμα σε περίπτωση που η μέση ημερήσια τιμή της συγκέντρωσης του BOD₅ κατά τους εαρινούς μήνες είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή της για το υπόλοιπο έτος, αυτό αποτελεί ένδειξη αραιώσης της συγκέντρωσης BOD₅ από εισροές υπογείων υδάτων.

Τέλος, σε περίπτωση που είναι διαθέσιμες μετρήσεις της παροχής ακαθάρτων και του ύψους βροχής σε ωριαία κλίμακα, η ποιοτική ανίχνευση των παρασιτικών εισροών γίνεται συσχετίζοντας τις ωριαίες τιμές της παροχής ακαθάρτων και της βροχόπτωσης κατά τις πρώτες πρωινές ώρες (00:00 έως 06:00). Αν η συσχέτιση είναι σημαντική, τότε όμβρια ύδατα εισρέουν στο δίκτυο. Επιπλέον, σημειώνεται ότι η παροχή ακαθάρτων λαμβάνει την ελάχιστη τιμή της κατά τις πρώτες πρωινές ώρες. Σε περίπτωση που η ελάχιστη αυτή τιμή διαφέρει σημαντικά την άνοιξη, τότε ενδεχομένως υπόγεια νερά εισρέουν στους αγωγούς. Εντούτοις, τονίζεται ότι η θεώρηση της ελάχιστης παροχής ακαθάρτων κατά τις πρωινές ώρες τείνει να καταρριφθεί (ΕΤΗ 2003).

Οι ενδείξεις που προκύπτουν από την ανάλυση δεδομένων πρέπει να επιβεβαιωθούν από την επιθεώρηση του δικτύου. Με τη χρήση διαφόρων μεθόδων, οι οποίες αναλύονται παρακάτω, επιβεβαιώνονται οι ποιοτικές εκτιμήσεις και εντοπίζονται κατά το δυνατόν οι πηγές των παρασιτικών εισροών. Οι πιο συνήθεις μέθοδοι εντοπισμού των πρόσθετων εισροών είναι:

- επιθεώρηση φρεατίων ειδικά κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης,
- έλεγχος του δικτύου μέσω κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης,
- μέθοδος καπνού (smoke test),
- χρήση χρωστικών ουσιών (dye water test), και
- έλεγχος αγωγών και αρμών με εφαρμογή πίεσης (σε συνδυασμό με το κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης)

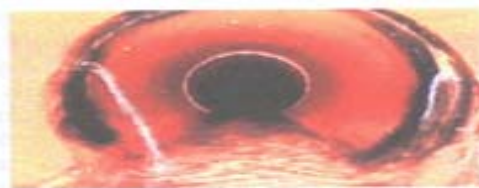
Αναλυτικά, η επιθεώρηση των φρεατίων στοχεύει στον εντοπισμό όμβριων εισροών εξαιτίας ανεπαρκούς στεγάνωσης, ρωγμών στα τοιχώματα ή ολικής καταστροφής του φρεατίου. Η επίσκεψη των φρεατίων συστήνεται κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης, οπότε είναι εμφανής η πηγή των εισροών. Τα φρεάτια, όπου εντοπίζονται εισροές, καταγράφονται ώστε να επιδιορθωθούν.

Μια σημαντικότερη μέθοδος ανίχνευσης των πρόσθετων εισροών είναι ο έλεγχος με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης. Σημειώνεται ότι συνήθιζεται η χρήση διαφορετικού εξοπλισμού στους

κεντρικούς συλλεκτήρες και στους δευτερεύοντες αγωγούς. Ο τυπικός εξοπλισμός αποτελείται από βιντεοκάμερα, ενσύρματο ή ασύρματο τηλεκατευθυνόμενο όχημα για τη μετακίνηση της κάμερα στο εσωτερικό των αγωγών και ψηφιακή συσκευή καταγραφής και παρακολούθησης των μεταδιδόμενων εικόνων. Η μεταφορά του συνεργείου συνήθως γίνεται με ειδικό όχημα (Καναδάς/ ΗΠΑ). Με τη βοήθεια της βιντεοκάμερας εντοπίζονται ρωγμές και κατεστραμμένοι αγωγοί και αρμοί, παραμορφωμένοι και μετατοπισμένοι σωλήνες, κατεστραμμένοι ελαστικοί στεγανοποιητικοί δακτύλιοι. Ακόμα σε περίπτωση επιθεώρησης ιδιωτικών συνδέσεων ανιχνεύεται η ενδεχόμενη παράνομη σύνδεση της απογωγής ομβρίων από κτήρια (σκεπή, αυλών, θεμελίωση) στο δίκτυο ακαθάρτων. Συστήνεται ο έλεγχος με χρήση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης να γίνεται σε περίοδο υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και ιδιαίτερα αμέσως μετά από βροχόπτωση. Σημειώνεται πως η αξιοπιστία των παρατηρήσεων αυξάνεται σημαντικά αν ο αγωγός έχει καθαριστεί πριν την διεξαγωγή της επιθεώρησης. Ο καθαρισμός γίνεται με εισπίεση νερού στα τοιχώματα του σωλήνα, οπότε απομακρύνονται ρίζες και πέτρες.

Η μέθοδος του καπνού (smoke test) είναι εύκολη και οικονομική μέθοδος ανίχνευσης της παράνομης αποστράγγισης σκεπών, αυλών και θεμελίων στο δίκτυο ακαθάρτων. Επιπλέον με τη μέθοδο αυτή μπορεί να ανιχνευτούν εγκαταλελειμμένοι βόθροι των οποίων η εκροή κατά του εαρινούς μήνες ή μετά από έντονη βροχόπτωση καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου εισπνέζεται καπνός σε ιδιωτικούς αγωγούς του δικτύου. Ο εισερχόμενος στο δίκτυο καπνός μπορεί να διαφύγει μόνο από τις πηγές εισροής ομβρίων. Εντούτοις, σε περίπτωση που ο καπνός δε διαφύγει αυτό δεν συνεπάγεται απαραίτητα ανυπαρξία παράνομης αποστράγγισης, καθώς παραμορφώσεις των σωλήνων ενδεχομένως εμποδίζουν τη διέξοδο του καπνού. Για την ανίχνευση εισροών ομβρίων υδάτων από το δίκτυο ομβρίων στο δίκτυο ακαθάρτων, προστίθεται χρωματισμένο νερό στο δίκτυο ομβρίων σε διατομή κοντά στο επίφοβο σημείο. Αν το χρωματισμένο νερό ανιχνευθεί στο δίκτυο ακαθάρτων, τότε πιστοποιείται η εισροή. Η εισροή ομβρίων στην περίπτωση αυτή ενδεχομένως οφείλεται σε ταυτόχρονη ύπαρξη ελαττωματικών αγωγών στη διασταύρωση των δύο δικτύων.

Τέλος, για τον εντοπισμό των παρασιτικών εισροών μέσω των αρμών του δικτύου εισάγεται στον αγωγό κυλινδρικός σωλήνας με διογκούμενα άκρα. Στη θέση της συναρμογής τα άκρα σφραγίζουν τον αγωγό. Στη συνέχεια εφαρμόζεται νερό ή αέρας υπό πίεση (5 έως 10 psi / 0,35 έως 0,7 atm). Αν η εξασκούμενη πίεση αρχίσει να μειώνεται, τότε ο αρμός δεν είναι στεγανός. Στην περίπτωση μικρορωγμών η επισκευή μπορεί να γίνει επιτόπου στεγανώνοντας τοπικά τον αρμό. Η διαδικασία καταγράφεται από κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης.



Σχήμα 1. 9: (αριστερά) μέθοδος καπνού

(δεξιά) ανίχνευση εισροής με χρήση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Η αντιμετώπιση των παρασιτικών εισροών αποτελεί πολυπαραμετρική συνάρτηση τόσο των λειτουργικών και περιβαλλοντικών ωφελειών, όσο και της οικονομικής επιβάρυνσης για την τοπική κοινωνία. Στην αντιμετώπιση του προβλήματος διακρίνονται δύο σκέλη: η αντιμετώπιση στο στάδιο μελέτης - κατασκευής και η αντιμετώπιση στο στάδιο λειτουργίας.

Στάδιο μελέτης – κατασκευής

Για τον περιορισμό των παρασιτικών εισροών κατά τον σχεδιασμό του δικτύου πρέπει να ληφθεί υπόψη το ισχύον θεσμικό πλαίσιο και η διαστασιολόγηση να γίνει με βάση τις διατάξεις του. Σε περίπτωση που κατάλληλοι κανονισμοί δεν υπάρχουν, τότε η διαστασιολόγηση θα πρέπει να γίνει κατόπιν εκτίμησης των μέγιστων παρασιτικών εισροών στην περιοχή. Σε ανάλογες περιπτώσεις στη Γερμανία (Martz 1970) η παροχή σχεδιασμού των ακαθάρτων προσαυξάνεται κατά 100 % ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και την κρίση του μελετητή. Ομοίως για την εγκατάσταση επεξεργασίας. Για την αντιμετώπιση της εισροής ομβρίων στο φάση μελέτης και κατασκευής απαιτείται επιμελής σχεδιασμός και τοποθέτηση καλυμμάτων φρεατίων με έμφαση στη στεγανότητα, καθώς και πρόβλεψη για υπερυψωμένη είσοδο φρεατίου (ASCE/ WPCF 1982).

Εξίσου σημαντικά με τα δεδομένα σχεδιασμού είναι τα υλικά κατασκευής του δικτύου που θα οριστούν από τη μελέτη. Η επιλογή σύγχρονων και κατάλληλων κατά περίπτωση υλικών περιορίζει τις πρόσθετες εισροές στο δίκτυο για μεγάλο μέρος της ζωής του δικτύου. Σημειώνεται ότι για παράδειγμα η χρήση ελαστικών στεγανών δακτυλίων στους αρμούς του δικτύου περιορίζει κατά το δυνατόν την εισροή υπογείων υδάτων. Επιπλέον η επιλογή σωλήνων σκυροδέματος σε παραθαλάσσιο οικισμό, όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι καθόλη τη διάρκεια του έτους ψηλότερα από τους αποχετευτικούς αγωγούς, ενδεχομένως να οδηγήσει σε εισροή υπογείων υδάτων στο δίκτυο, αφού η ευαισθησία του σκυροδέματος στο θαλάσσιο νερό είναι γνωστή.

Μια ακόμη καθοριστική παράμετρος για τη συμπεριφορά του δικτύου κατά τη λειτουργία του αποτελεί η ποιότητα της κατασκευής του. Επιμελής τοποθέτηση και σύνδεση των αγωγών συμβάλουν στην ελαχιστοποίηση των παρασιτικών εισροών, τουλάχιστον κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του δικτύου. Για τον περιορισμό παράνομων αποστραγγίσεων στο δίκτυο ακαθάρτων απαιτείται εκτενής επιθεώρηση αυλών, σκεπών και θεμελίων σε όλο το εύρος του δικτύου.

Στάδιο λειτουργίας

Σημειώνεται εξ αρχής ότι δεν είναι δυνατή η απομάκρυνση του συνόλου των παρασιτικών εισροών. Κάθε μελέτη επισκευής του δικτύου ορίζει το επιδιωκόμενο ποσοστό απομάκρυνσης των παρασιτικών εισροών το οποίο συνήθως κυμαίνεται από 30 έως 50 % (σπάνια επιτυγχάνεται απομάκρυνση 50 %). Μεγαλύτερο ποσοστό είναι οικονομικά ασύμφορο. Κατά τη λειτουργία του δικτύου η αντιμετώπιση των παρασιτικών εισροών μπορεί να γίνει είτε με επανακατασκευή ή επέκταση της υπάρχουσας εγκατάστασης, είτε με διεξοδική επιδιόρθωση του δικτύου. Δεν είναι εξ αρχής σαφές ποιο από τα δύο ενδεχόμενα είναι προτιμότερο. Για το λόγο αυτό συντάσσεται συγκριτική οικονομοτεχνική μελέτη για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης. Σε περίπτωση που με βάση την οικονομοτεχνική μελέτη υποδειχθεί η επιδιόρθωση του δικτύου ως προτιμότερη η δημοτική αρχή οφείλει να προβεί στις ενέργειες που περιγράφονται παρακάτω. Τονίζεται ότι θα πρέπει ήδη πριν τη σύνταξη της οικονομοτεχνικής μελέτης να έχει επιθεωρηθεί το δίκτυο και να έχουν εντοπιστεί οι πηγές των πρόσθετων εισροών.

Στην περίπτωση που κατά τον έλεγχο των φρεατίων βρέθηκε ελλιπής στεγανότητά τους το κάλυμμα είτε αντικαθίσταται είτε στεγανώνεται με χρήση ελαστικής μεμβράνης περιφερειακά. Αντίστοιχα αν έχει εντοπιστεί ρωγμάτωση ή αστοχία στον σκελετό του φρεατίου μια αποτελεσματική μέθοδος επιδιόρθωσης είναι η τοποθέτηση περιφερειακά μανδύα από σκυρόδεμα, ώστε να σφραγιστούν οι πηγές παρασιτικών εισροών.

Για την επιδιόρθωση ρωγματομένων αγωγών στη βιβλιογραφία (Massachusetts DEP, 1997, Mark & Wade 2000, Ewald & Kratzer, 2003) προτείνεται είτε η εκσκαφή και επιδιόρθωση είτε η

επιδιόρθωση με σύγχρονες μεθόδους με την ελάχιστη δυνατή εκσκαφή και παρακώλυση των συγκοινωνιών. Αναλυτικά, για παράδειγμα το σφράγισμα ρωγμών στα τοιχώματα του αγωγού ή στους συνδετήριους αρμούς αντιμετωπίζεται είτε επί τόπου κατά την ανίχνευσή τους με τη χρήση τηλεκατευθυνόμενων μηχανισμού (μικρορομπότ), είτε με εκσκαφή επιδιόρθωση ή αντικατάσταση και επανατοποθέτηση. Ειδικά για την επιδιόρθωση πλαστικών σωλήνων (PVC, PE) οι διεθνείς αναφορές υποδεικνύουν τη εισαγωγή του νέου σωλήνα μέσω φρεατίου στον αγωγό και με τηλεχειρισμό τοποθέτησή του στην ελαττωματική διατομή. Η μέθοδος αυτή καλείται «διαμόρφωση και τοποθέτηση» (fold & form) και είναι σύγχρονη και οικονομική. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχει και η μέθοδος «επιτόπου αντιμετώπισης» (cure in place) η μέθοδος αυτή είναι προγενέστερη από τη μέθοδο «διαμόρφωση και τοποθέτηση» και ενδείκνυται για αγωγούς μικρότερων διαμέτρων καθώς τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι πιο εύκαμπτα. Κατά την εφαρμογή της «επιτόπου αντιμετώπισης» τσόχα σε μορφή ρολό εισάγεται στον αγωγό. Στο εσωτερικό του ρολό έχει τοποθετηθεί κλειστή μεμβράνη γεμάτη νερό. Το νερό με την εισαγωγή του στο αγωγό θερμαίνεται και εντύνει τη μεμβράνη, τεντώνοντας ταυτόχρονα την τσόχα, η οποία καλύπτει σταδιακά το εσωτερικό του αγωγού.

Οι σύγχρονες τεχνολογίες που αναλύθηκαν προηγουμένως είναι ταχύτερες και οικονομικότερες από τις παραδοσιακές μεθόδους (εκσκαφή και αντικατάσταση). Υπολογίστηκε στην πόλη St Lawrence της Pennsylvania ότι ο λόγος του κόστους των σύγχρονων προς το κόστος των παραδοσιακών ισούται με 1: 2. Επιπλέον μειώνουν τον χρόνο εκτέλεσης των εργασιών από μερικές εβδομάδες σε μερικές μέρες. Εντούτοις σε περίπτωση μεγάλης βλάβης ή καταστροφής του αγωγού η εκσκαφή και επανατοποθέτηση αποτελούν τη μοναδική εναλλακτική.

Όσον αφορά στην παράνομη σύνδεση της απαγωγής ομβρίων από κτήριο (σκεπή, αυλών, θεμελίωση) στο δίκτυο ακαθάρτων, η καθαίρεση των παράνομων συνδέσεων αποτελεί την μόνη εναλλακτική. Στο πλαίσιο της καθαίρεσης συμπεριλαμβάνεται η αποσύνδεση των υδρορροών και των αγωγών αποστράγγισης θεμελίων από το δίκτυο και ο προσανατολισμός και η σύνδεσή τους στο δίκτυο ομβρίων.

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης κατά το στάδιο λειτουργίας είναι ο επανέλεγχος. Ιδιαίτερα στις αμερικανικές πόλεις η επιδιόρθωση συνοδεύεται από πρόγραμμα επανελέγχου και συντήρησης εύρους 5 έως 10 ετών. Έχει αποδειχθεί ότι ένα πρόγραμμα συνεχούς παρακολούθησης κατόπιν της εκτενούς επιδιόρθωσης μειώνει κατά 70 - 90 % τα συμβάντα υπερφόρτωσης ή υπερχειλίσσης στο μέλλον. Σε παρακάτω εδάφιο αναλύεται διεξοδικά ένα τέτοιο πρόγραμμα.

ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ

Συχνά μετά την επιδιόρθωση του δικτύου παρατηρείται κατά την επιθεώρησή του μετά τις επισκευές ότι νέες πηγές υπογείων εισροών έχουν δημιουργηθεί ή επεκταθεί. Ο μηχανισμός που γεννά το φαινόμενο περιγράφεται παρακάτω (Fernandez & Gresh, 1998). Σύμφωνα με τον νόμο του Darcy για μονοδιάστατη κίνηση σε ομογενές μέσο ισχύει: $v = k \cdot I$, όπου v : η ταχύτητα, k : υδραυλική αγωγιμότητα, i : υδραυλική κλίση. Σημειώνεται ότι το εδαφικό υλικό που περιβάλλει τον αγωγό ακαθάρτων είναι πιο περατό σε σχέση με το φυσικό έδαφος της περιοχής. Η υδραυλική αγωγιμότητα για οριζόντια ροή στο εδαφικό υλικό που περιβάλλει τον αγωγό δίνεται: $k_c = \sum k_j \cdot h_j / h$, όπου k_j : υδραυλική ικανότητα στρώματος j , h_j : πάχος στρώματος, h : πάχος υδροφορέα πάνω από την ατέλεια.

Η εισροή υπογείων υδάτων δίνεται: $Q_{IN} = CA \cdot \sqrt{2gh}$, όπου C : συν/τής οπής, A : επιφάνεια ατέλειας. Για την κίνηση των υπογείων υδάτων προς των αγωγό η παροχή υπολογίζεται: $Q_T = v \cdot d \cdot L$, όπου d : η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα πάνω από τον αγωγό, L : το ευθύγραμμο μήκος του αγωγού τάφρου. Κατά την κίνηση των υπόγειων υδάτων ένα ποσοστό εισέρχεται στο αγωγό ακάθαρτο, ενώ το υπόλοιπο συνεχίζει στο έδαφος. Η παροχή των υδάτων που συνεχίζουν να κινούνται στο στρώμα: $Q = Q_1 + Q_{T1-2} - Q_{IN}$, όπου: Q συνολική παροχή υπογείων υδάτων

κινούμενων στο στρώμα, Q_1 : παροχή υπογείων που συνεχίζει μετά την ατέλεια 1, Q_{T1-2} : η παροχή υπογείων υδάτων που προστίθεται στο τμήμα μεταξύ των ατελειών 1 και 2. Με βάση την τελευταία εξίσωση μετά την επιδιόρθωση της ατέλειας 1 η κινούμενη παροχή υπογείων υδάτων προσυξάνεται, οπότε μεγαλύτερη ποσότητα παροχετεύεται στην ατέλεια 2.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΧΩΡΟ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν οι κανονισμοί που συντάχθηκαν διεθνώς για την ανίχνευση και την αντιμετώπιση των παρασιτικών εισροών στα δίκτυα ακαθάρτων. Η δημιουργία θεσμικού πλαισίου αποτελεί το πρώτο βήμα στην πορεία προς την ανίχνευση και επίλυση του προβλήματος. Το δεύτερο θεμελιώδες βήμα είναι η εφαρμογή των κανονισμών στην πράξη και η μείωση στο ελάχιστο των πρόσθετων εισροών στο δίκτυο. Παρακάτω θα παρατεθούν διεθνή παραδείγματα πόλεων που εφάρμοσαν τους εθνικούς ή τοπικούς κανονισμούς και θα αναλυθεί η αποτελεσματικότητα των εφαρμοσθέντων μεθόδων. Τα παραδείγματα που αναφέρονται προέρχονται από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη και οι σχετικές πληροφορίες συλλέχθηκαν κυρίως μέσω του Διαδικτύου, αλλά και μέσω προσωπικής επικοινωνίας.

ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ

Στις Ηνωμένες Πολιτείες το θεσμικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση των παρασιτικών εισροών δημιουργήθηκε, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τη δεκαετία του 1970 και έκτοτε αναβαθμίζεται και ανανεώνεται περιοδικά. Η ενασχόληση για σχεδόν τριάντα χρόνια των αρμόδιων υπηρεσιών στις Ηνωμένες Πολιτείες με το σοβαρό πρόβλημα των παρασιτικών εισροών αποδεικνύεται με την πληθώρα των παραδειγμάτων από αμερικανικές πόλεις που θέσπισαν πρόγραμμα αντιμετώπισης του προβλήματος. Η πλειονότητα των παραδειγμάτων προήλθαν από το Διαδίκτυο. Αυτό που αξίζει εξαρχής να σημειωθεί είναι η βαρύτητα που δίνουν οι αμερικανικές δημοτικές αρχές στην ενημέρωση των δημοτών για τη σημασία των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο ακαθάρτων της πόλης. Χαρακτηριστικό είναι το ερωτηματολόγιο που μοιράστηκε από την Plant City, Florida και το οποίο παρατίθεται στο Παράρτημα.

St. Lawrence, Pennsylvania

Παρατίθεται το παράδειγμα της πόλης *St Lawrence* στην πολιτεία της *Pennsylvania*. Το δίκτυο ακαθάρτων της πόλης είναι χωριστικό και κατασκευασμένο στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η πλειοψηφία των αγωγών είναι αργιλοπορτιτικοί, σωλήνες ανθεκτικοί στο χρόνο και τη χημική διάβρωση. Ο δήμος χρεώνεται από την τοπική εγκατάσταση επεξεργασίας για κάθε 1000 γαλόνια (3780 L) λυμάτων που εισέρχονται στην εγκατάσταση. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, οπότε αναβαθμίστηκε η εγκατάσταση επεξεργασίας οι δημοτικές αρχές της περιοχής δεν ασχολήθηκαν με τις πρόσθετες εισροές στο δίκτυο. Με την αναβάθμιση της εγκατάστασης υπολογίστηκε ότι οι παρασιτικές εισροές στο δίκτυο ανέρχονται περίπου σε 180000 gpd (680 m³ /d), παροχή που ισοδυναμεί με τον 40 % της συνολικής παροχής ακαθάρτων. Στο σημείο αυτό κατόπιν της αναγκαίας οικονομικής ανάλυσης υπολογίστηκε ότι περιορισμός των πρόσθετων εισροών εντός των αποδεκτών ορίων θα εξοικονομήσει περίπου 62000 \$ το χρόνο. Το κόστος αυτό έχει δύο κύριες συνιστώσες αφενός το λειτουργικό κόστος για την επεξεργασία της πρόσθετης παροχής (ενεργειακό κόστος, κόστος πρόσθετων ποσοτήτων χημικών) και αφετέρου κατασκευαστικό κόστος για τις αναγκαίες μακροπρόθεσμα αναβαθμίσεις στην εγκατάσταση εξαιτίας της υπερφόρτωσης και της ανεπάρκειας της.

Εντοπισμός

Πρωταρχικό μέλημα των υπευθύνων του δήμου ήταν ο εντοπισμός των παρασιτικών εισροών. Αρχικά στάλθηκαν συνεργεία του δήμου σε επίφοβα σημεία κατά τις νυχτερινές ώρες, οπότε στατιστικά παρατηρείται η ελάχιστη παροχή ακαθάρτων, και μέσω των ανθρωποθυρίδων επιθεώρησαν ένα τμήμα του δικτύου. Στη συνέχεια απομονώθηκαν τμήματα του δικτύου, καθαρίστηκαν με υψηλής πίεσης νερό και με τη χρήση βιντεοκάμερας έγινε εκτενέστερη επιθεώρηση. Μια πιο οικονομική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε κατά τόπους, αντί της βιντεοσκόπησης, είναι η μέθοδος του καπνού (smoke test). Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε από το δήμο του St Lawrence για την ανίχνευση παράνομων συνδέσεων των αγωγών αποστράγγισης ιδιωτικών αυλών, οροφών και υπογείων.

Κατά τον εντοπισμό των παρασιτικών εισροών βρέθηκαν οι πηγές των 130000 gpd (492 m³/d). Εντούτοις οι υπεύθυνοι του δήμου αδυνατούσαν να ανιχνεύσουν την πηγή των υπόλοιπων 50000 gpd (189 m³/d). Τότε αποφάσισαν να ελέγξουν τους μετρητές παροχής, που έχουν τοποθετήσει σε διατομές του δικτύου και οι οποίοι μεταφέρουν ηλεκτρονικά τις ενδείξεις τους στον κεντρικό υπολογιστή του δήμου. Αποδείχτηκε ότι οι μετρητές αυτοί αν και ήταν βαθμονομημένοι, εντούτοις η παροχή που υπολογιζόταν στον κεντρικό υπολογιστή με βάση τα δεδομένα αυτών, αντιστοιχούσε σε μικρότερο μήκος αγωγού. Με διόρθωση των δεδομένων εισόδου εντοπίστηκε η πηγή των υπολειπόμενων 50000 gpd (189 m³/d).

Αντιμετώπιση

Στην επόμενη φάση ο δήμος του St Lawrence έπρεπε να αντιμετωπίσει τα ανιχνευθέντα προβλήματα. Καταρχήν δόθηκε εντολή στα αρμόδια συνεργεία παράλληλα με το τηλεοπτικό έλεγχο να επισκευάζονται οι μικροβλάβες που συναντώνται στους σωλήνες, π.χ. μικρορωγμές. Τέτοιου είδους μικροβλάβες ήταν η πλειοψηφία των προβλημάτων που καλέστηκε ο δήμος να αντιμετωπίσει. Ακολούθως σε λίγες περιπτώσεις έπρεπε να γίνει αντικατάσταση του αγωγού και για το λόγο αυτό έγινε εκσκαφή του επίμαχου τμήματος και τοποθέτηση νέου σωλήνα. Κάτω από κεντρικό οδικό άξονα της πόλης δεν μπορούσε να γίνει χρήση της προαναφερθείσας μεθόδου, γι' αυτό σε συνολικό μήκος αγωγών 1000 ft (305 m) τοποθετήθηκαν μέσω των ανθρωποθυρίδων νέοι πλαστικοί αγωγοί σχήματος U μέσα στους υπάρχοντες, στη συνέχεια εφαρμόζεται αέρας υπό πίεση εντός του αγωγού και οι νέοι σωλήνες παίρνουν την κατάλληλη μορφή. Οι συνδέσεις με του όμορους αγωγούς γίνεται με τη χρήση τηλεχειριζόμενου ρομπότ και κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης. Η τεχνική αυτή είναι σύγχρονη, αποκαλείται "fold and form" και ανήκει στην κατηγορία των σύγχρονων τεχνολογιών που δεν απαιτούν εκσκαφή για την επιδιόρθωση του αγωγού. Υπολογίστηκε από τον δήμο St Lawrence ότι για το μήκος των 1000 ft (305 m) που έγινε χρήση αυτής της μεθόδου το κόστος ήταν μειωμένο κατά 50 % σε σύγκριση με το αντίστοιχα για εκσκαφή και αντικατάσταση.

Πρόληψη

Μέλημα του δήμου St Lawrence ήταν, πέρα από την αντιμετώπιση, η πρόληψη για τυχόν επανεμφάνιση του προβλήματος. Στα πλαίσια της πρόληψης οι αρμόδιες αρχές τοποθέτησαν ηλεκτρονικό σύστημα επιθεώρησης και μέτρησης της παροχής στα πιο επίφοβα σημεία του δικτύου και παρακολουθούνται συστηματικά οι τιμές των παροχών, ιδιαίτερα μετά από γεγονότα βροχής. Τα συλλεχθέντα από όλο το δίκτυο στοιχεία εισάγονται σε κεντρική βάση δεδομένων

κάνοντας χρήση και του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (G.I.S.). Επιπλέον επειδή το δίκτυο είναι αρκετά παλιό συμφωνήθηκε ένα σχέδιο χρονικού εύρους μιας δεκαετίας, όπου τα πρώτα πέντε έτη θα αναζητηθούν τα αναγκαία κονδύλια, ενώ τα επόμενα πέντε θα γίνει επιδιόρθωση και αντικατάσταση των προβληματικών τμημάτων. Τέλος κρίθηκε ιδιαιτέρως σημαντική από το δημοτικό συμβούλιο η ενημέρωση των πολιτών μέσω των ανοικτών συζητήσεων, ενημερωτικών επιστολών, άρθρων στον τοπικό τύπο και κατ' οίκον επισκέψεων καθώς και η συμμετοχή τους στις αποφάσεις που λαμβάνονται. (*Ewald & Kratzer, 2000*)

Tulsa, Oklahoma

Εντοπισμός

Ανάλογη ήταν η διαδικασία που εφαρμόστηκε στην πόλη *Tulsa* στην πολιτεία της *Oklahoma*. Τονίζεται ότι η πόλη θεωρείται μικρή για τα αμερικανικά δεδομένα και ο δήμος της *Tulsa* διαθέτει 4 άτομα προσωπικό σε προσωρινή βάση στην αρμόδια υπηρεσία. Οι υπεύθυνοι αρχικά επιχείρησαν μια πρώτη αξιολόγηση του δικτύου ακαθάρτων της πόλης, ακολουθώντας την οδηγία που εξέδωσε η Environmental Protection Agency (EPA Title 40). Εντούτοις οι πρωταρχικές τους προσπάθειες δεν απέφεραν την αναμενόμενη και απαιτούμενη μείωση στις πρόσθετες εισροές του δικτύου, γιατί αρκέστηκαν σε σημειακές διορθώσεις του δικτύου. Διαπιστώνοντας τη μικρή αποτελεσματικότητα των αρχικών διορθώσεων, οι αρμόδιες τοπικές αρχές αποφάσισαν εκτενή επιθεώρηση στο σύνολο του δικτύου. Αρχικά επανελέγχθηκαν τα καπάκια από τις ανθρωποθυρίδες και τα φρεάτια, καθώς σύμφωνα με μελέτη των τοπικών υπηρεσιών μεγάλο μέρος 50% των όμβριων εισροών προέρχεται από εκεί. Τα κυριότερα προβλήματα που εντοπίστηκαν μετά την επιθεώρηση στα καπάκια των φρεατίων ήταν κατασκευαστικές αστοχίες και ελλιπή σφραγίσματα.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια κατάλληλου συνεργείου επιθεωρήθηκε το δίκτυο με τη βοήθεια βιντεοκάμερας, ώστε να ανιχνευθούν οι εισροές. Αναφορικά βρέθηκαν σημειακά αγωγοί διαβρωμένοι, παραμορφωμένοι ή και μετατοπισμένοι, ατελώς κατασκευασμένοι και συνδεδεμένοι ανά τμήματα. Από την επιθεώρηση του δικτύου σημαντικότερο ποσοστό των συνολικών πρόσθετων εισροών προέρχεται από παράνομες διοχετεύσεις στο δίκτυο ακαθάρτων της αποστράγγισης ιδιωτικών αυλών, οροφών και υπογείων. Για τον εντοπισμό τέτοιων παράνομων συνδέσεων χρησιμοποιήθηκε κατά τόπους η μέθοδος καπνού (*smoke test*), η βιντεοσκόπηση επίφοβων διατομών και η μέθοδος χρωματισμού του νερού. Οι προαναφερθείσες μέθοδοι αναλύθηκαν εκτενώς σε παραπάνω εδάφια.

Αντιμετώπιση

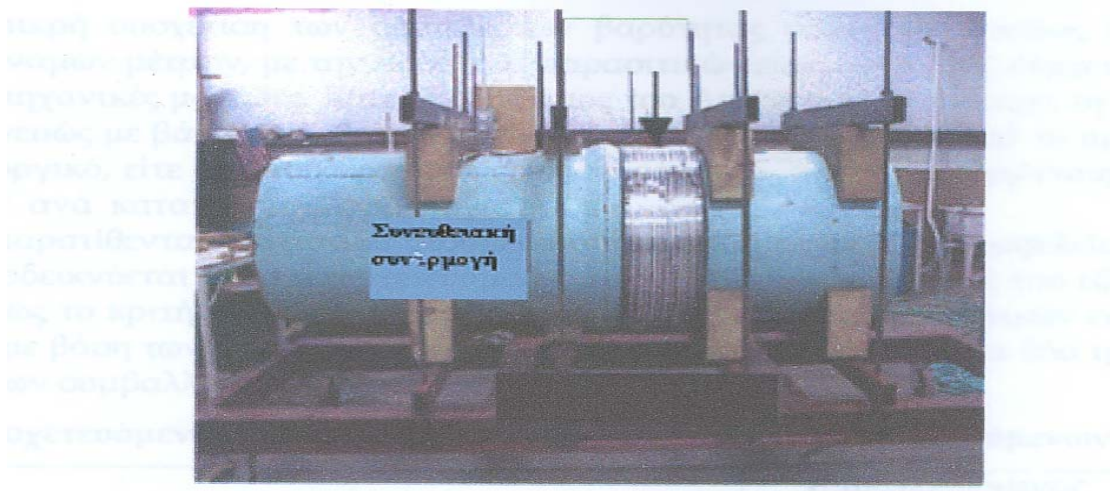
Μετά τον εντοπισμό της προέλευσης των πρόσθετων εισροών έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις στο δίκτυο. Αναλυτικά τμήματα αγωγών αντικαταστάθηκαν, επιδιορθώθηκαν, τοποθετήθηκαν στεγανοί ελαστικοί δακτύλιοι στους αρμούς, διορθώθηκαν κατά το δυνατόν οι αστοχίες στην κατασκευή και το σφράγισμα των φρεατίων και των ανθρωποθυρίδων. Τέλος εντοπίστηκαν οι παράνομες συνδέσεις και με τη συνεργασία των ενοίκων αποσυνδέθηκαν οι αγωγοί αποστράγγισης των αυλών, οροφών και υπογείων από το δίκτυο ακαθάρτων, επιδιορθώθηκαν οι ατέλειες στις ιδιωτικές συνδέσεις ή αντικαταστάθηκαν οι κατεστραμμένοι ιδιωτικοί αγωγοί. Εντούτοις υπήρξαν μεμονωμένες περιπτώσεις πολιτών που αρνήθηκαν είτε να γίνει έλεγχος στο ιδιοκτησία τους, είτε να συμμορφωθούν με τις αναγκαίες επιδιορθώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές κινήθηκαν από το δήμο της *Tulsa* οι απαραίτητες νομικές διαδικασίες.

University of Houston, Texas: Δοκιμές αγωγών έναντι παρασιτικών εισροών για ποικίλες φορτίσεις

Στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Houston υπό την αιγίδα της Environmental Protection Agency (USEPA) έγιναν εκτενείς δοκιμές για τις παρασιτικές εισροές που προέρχονται από τους αρμούς των αγωγών για διάφορες φορτίσεις. Στο πλαίσιο των δοκιμών ελέγχθηκαν αρκετά δείγματα σωλήνων σε εφαρμογή νερού υπό πίεση. Οι δοκιμές που τυποποιήθηκαν ήταν: συνευθειακή και υπό γωνία σύνδεση αγωγών και εξάσκηση διατμητικών τάσεων στη συναρμογή των σωλήνων.

Αναλυτικά για τον έλεγχο της συνευθειακής σύνδεσης αγωγών επιλέχθηκαν σωλήνες διαμέτρου 760 mm (30 inch), τοποθετήθηκαν συνθετικοί στεγανοί δακτύλιοι και στη συνέχεια εφαρμόστηκε διαδοχικά νερό με πίεση 0.20, 0.27, 0.34, 0.40, για 5 λεπτά και 0.47 atm για 10 λεπτά (3, 4, 5, 6, 7 psi). Για τη δοκιμή για την γωνιακή απόκλιση της συναρμογής επιλέχθηκαν και πάλι σωλήνες διαμέτρου 760 mm (30 inch), τοποθετήθηκαν στεγανοί δακτύλιοι στη συναρμογή, στη συνέχεια στρέφονται οι συμβαλλόμενοι αγωγοί και εφαρμόζεται διαδοχικά νερό με πίεση 0.20, 0.27, 0.34, 0.40, για 5 λεπτά και 0.47 atm για 10 λεπτά (3, 4, 5, 6, 7 psi). Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε για τη δοκιμή της συναρμογής σε διατμητικά φορτία: επιλέχθηκαν σωλήνες διαμέτρου 760 mm (30 inch), η σύνδεση προστατεύτηκε με στεγανή μεμβράνη και στη συνέχεια ασκήθηκε ταυτόχρονα διατμητικά φορτία και διαδοχικά νερό με πίεση 0.20, 0.27, 0.34, 0.40, για 5 λεπτά και 0.47 atm για 10 λεπτά (3, 4, 5, 6, 7 psi). Οι εισροές συλλέγονται από το εργαστήριο του πανεπιστημίου και μετρώνται με ακρίβεια ml. Κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών σημειώθηκαν η πίεση με την οποία εφαρμόστηκε το νερό και ο χρόνος για τον οποίο ασκήθηκε, ενώ οι ενδείξεις των διατμητικών τάσεων καταγράφονταν. Στη συνέχεια επιθεωρείται η συναρμογή των αγωγών για ρωγμές ή αστοχίες.

(Liu & Virulanandan, 2003)



Σχήμα 1.10: Δοκιμή συνευθειακής συναρμογής



Σχήμα 1.11: Υπό γωνία σύνδεση αγωγών

Austin, Texas: Καταμερισμός στον εξυπηρετούμενο πληθυσμό των οικονομικών επιπτώσεων παρασιτικών εισροών

Η επίπτωση των παρασιτικών εισροών που μετατρέπει το πρόβλημα σε πρωτίστης σημασίας για δήμους είναι το πρόσθετο κόστος για την συλλογή και επεξεργασία των αυξημένων παροχών ακαθάρτων. Η υπηρεσία κοινής ωφελείας του δήμου Austin στο Texas συνέταξε μελέτη για το βέλτιστο καταμερισμό του επιπρόσθετου κόστους.

Σύμφωνα με το Austin City Connection (2001) το κόστος γενικά κατανέμεται με βάση τον αριθμό των εξυπηρετούμενων κατοίκων και τον όγκο που αυτοί συνεισφέρουν. Γενικά δεν είναι εύκολο και συχνά και ούτε δυνατό να εντοπιστεί με ακρίβεια η προέλευση του συνόλου των παρασιτικών εισροών, γι' αυτό ο καταμερισμός του κόστους γίνεται για όλους τους συμβαλλόμενους με βάση διάφορα κριτήρια. Σημειώνεται ότι βρέθηκε πως σημαντικότερες πηγές παρασιτικών εισροών είναι οι συναρμογές αγωγών, γι' αυτό και το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους κατανέμεται σύμφωνα με τον αριθμό των συμβαλλομένων καταναλωτών. Εντούτοις οι καταναλωτές με μεγαλύτερο όγκο συνεισφοράς χρεώνονται το πρόσθετο κόστος με βάση τα κυβικά (m³) που συνεισφέρουν. Γενικότερα ο δήμος υιοθέτησε το κριτήριο της χρέωσης του κόστους των παρασιτικών εισροών κατά το ένα τρίτο (33,3 %) με βάση των όγκο συνεισφοράς των καταναλωτών και κατά τα δύο τρίτα (66,7 %) με βάση των αριθμό των συμβαλλομένων καταναλωτών (ASCE, APWA, WEF). Ο δήμος αναγνωρίζει ότι ακριβέστερος εντοπισμός και χρέωση των πρόσθετων εισροών, εφόσον δεν γίνει επιθεώρηση του συνόλου του δικτύου, μπορεί να γίνει αν είναι γνωστή η ηλικία κατά τόπους του δικτύου, η ποιότητα και τα υλικά κατασκευής, οι αποδεδειγμένες πηγές εισροών.

Ο δήμος Austin επιχείρησε να εφαρμόσει τη αποκαλούμενη μέθοδο των ισοδύναμων μέτρων δηλαδή των ισοδύναμων μέτρων αγωγού που αντιστοιχούν για κάθε καταναλωτή, καθώς λαμβάνει υπόψιν τόσο τον αριθμό των καταναλωτών, όσο και την ποσότητα που κάθε καταναλωτής συμβάλει κατά κατηγορία. Αρκετές κοινότητες έχουν εφαρμόσει τη μέθοδο αυτή, έχει όμως ένα βασικό μειονέκτημα: τη μικρή συσχέτιση των συντελεστών βαρύτητας από τους οποίους υπολογίζεται ο αριθμός των ισοδύναμων μέτρων, με την ποσότητα παρασιτικών εισροών που προέρχεται από μεγάλες εμπορικές και βιομηχανικές μονάδες. Επιπλέον ο δήμος του Austin έχει υπογράψει τη συνθήκη Clean Water Act και συνεπώς με βάση το άρθρο 40 αυτής υποχρεούται: είτε να χρεώνει το πρόσθετο κόστος, όπως και το λειτουργικό, είτε με βάση κριτήρια συνεισφερόμενου όγκου, εξυπηρετούμενης έκτασης, αριθμό συνδέσεων ανά καταναλωτή, φορολογίας.

Στον Πίνακα 1.2 παρατίθενται στατιστικά δεδομένα από τις υπηρεσίες κοινής ωφελείας των ΗΠΑ με βάση τα οποία αποδεικνύεται ότι ο παροχτετούμενος όγκος δεν είναι ανάλογος του εξυπηρετούμενου πληθυσμού. Συνεπώς το κριτήριο χρέωσης του πρόσθετου κόστους των παρασιτικών εισροών κατά το ένα τρίτο (33,3 %) με βάση των όγκο συνεισφοράς των

καταναλωτών και κατά τα δύο τρίτα (66,7 %) με βάση τον αριθμό των συμβαλλομένων καταναλωτών (ASCE, APWA, WEF).

Πιν. 1.2: Παροχτευόμενος όγκος σε σχέση με το ποσοστό των εξυπηρετούμενων καταναλωτών.

Ποσοστό καταναλωτών	Αριθμός συνδέσεων	Παροχτευόμενος όγκος
100%	100%	
75%	75%	25%
66,70%	60%	33,3%
60%	20%	40%
50%		50%
		80%
		100%

Πηγή: Στατικά στοιχεία υπηρεσιών κοινής ωφέλειας δήμων ΗΠΑ

Πηγή: Στατικά στοιχεία υπηρεσιών κοινής ωφέλειας δήμων ΗΠΑ

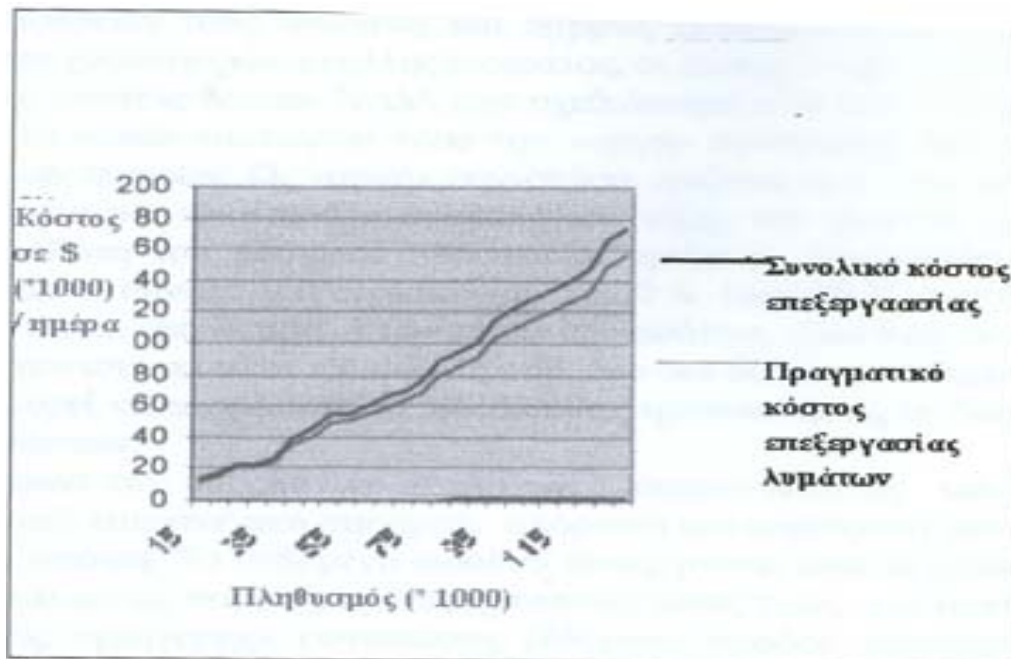
University of Houston, Texas: Εκτίμηση οικονομικού κόστους παρασιτικών εισροών στο δίκτυο

Σύμφωνα με την μελέτη του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου του Houston και στατιστικά διαπολιτειακά δεδομένα (1998) για τα 1.3 δισεκατομμύρια μέτρα χωριστικού δικτύου ακαθάρτων στις ΗΠΑ, συνολικής αξίας ενός τρισεκατομμυρίου δολαρίων, το κόστος επιδιόρθωσης του δικτύου ανέρχεται σε 34 δισεκατομμύρια δολάρια. Κάθε χρόνο δαπανάται ένα δισεκατομμύριο για επιδιόρθωση του δικτύου. Το εκτιμώμενο κόστος είναι υψηλό, γιατί τουλάχιστον ως τη δεκαετία του 1980 η επιδιόρθωση γινόταν κυρίως με εξολοκλήρου εκκαφή και αντικατάσταση των ελαττωματικών αγωγών.

Εξαιτίας του μεγάλου κόστους επιδιόρθωσης του δικτύου, οι Pasari και Vipulanandan (1998) υπό την αιγίδα της Environmental Protection Agency (EPA) επιχειρήσαν να υπολογίσουν αναλυτικά τις συνιστώσες τους κόστους. Με πόλη εφαρμογής την Broward County στη Florida με πληθυσμό 113700 και δίκτυο ακαθάρτων συνολικού μήκους 430 m, οι μελετητές συνέταξαν τον ακόλουθο πίνακα για 0, 10 και 30 % παρασιτικές εισροές επί του συνόλου της παροχής ακαθάρτων.

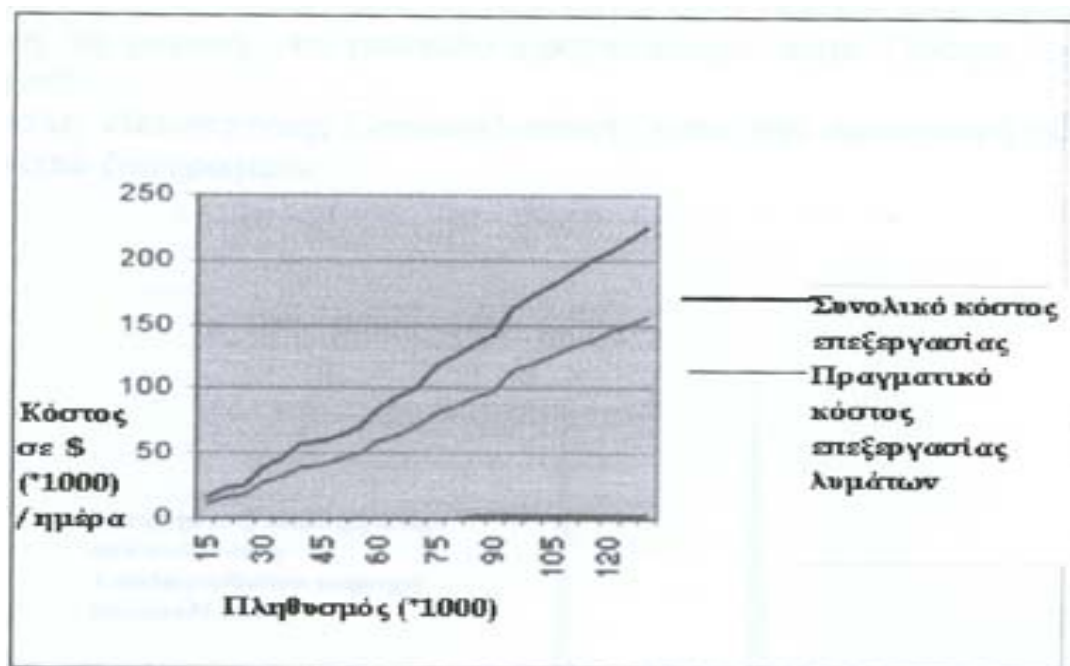
Πίνακας 1.3: Κόστος επεξεργασίας και μεταφοράς ανά κάτοικο & ημέρα (Pasari και Vipulanandan,1998)

Παρασιτικές Εισροές	Κόστος επεξεργασίας λυμάτων ανά κάτοικο & ημέρα	Κόστος επεξεργασίας παρασιτικών εισροών ανά κάτοικο & ημέρα	Κόστος μεταφοράς ανά κάτοικο & ημέρα
0 % της συνολικής παροχής ακαθάρτων	\$ 1.1	\$ 0.0	\$ 0.014
10 % της συνολικής παροχής ακαθάρτων	\$ 1.2	\$ 0.07	\$ 0.015
30 % της συνολικής παροχής ακαθάρτων	\$ 1.7	\$ 0.26	\$ 0.018



Πηγή: Liu & Vipulanandan, 2003

Σχήμα 1.12: Εκτιμώμενο κόστος για 10 % παρασιτικών εισροών



Πηγή: Liu & Vipulanandan, 2003

Σχήμα 1.13: Εκτιμώμενο κόστος για 30 % παρασιτικές εισροές

Παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα ότι το πρόσθετο κόστος επεξεργασίας εξαιτίας των παρασιτικών εισροών για εξυπηρετούμενο πληθυσμό 115000 ισούται με 20000 \$ ανά ημέρα για 10 % παρασιτικές εισροές στο δίκτυο και 50000 \$ ανά ημέρα για 30 % παρασιτικές εισροές. Το κόστος αυτό ανοιγμένο σε ετήσια βάση καταδεικνύει τις σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις των πρόσθετων εισροών στο δίκτυο ακαθάρτων.

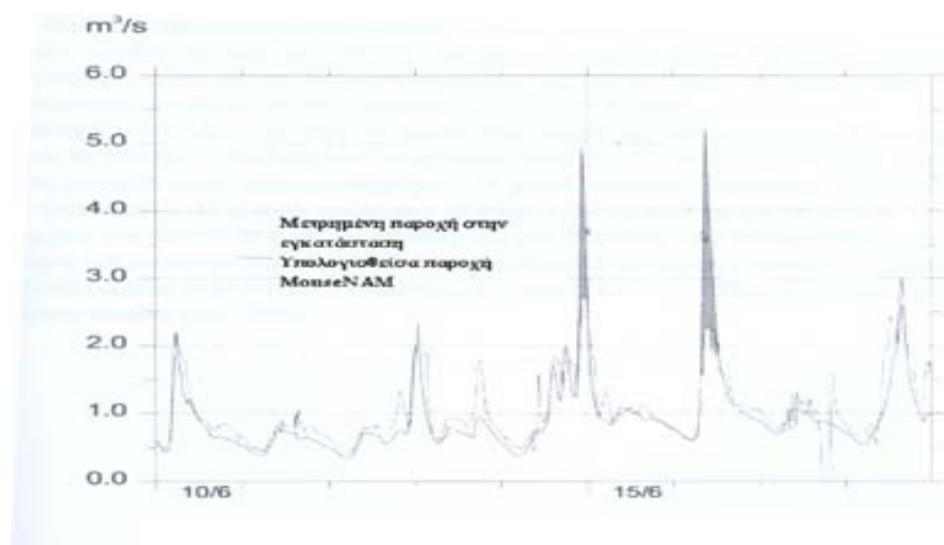
ΕΥΡΩΠΗ

Σουηδία:

Μια από τις κύριες δυσχέρειες στον υπολογισμό των πρόσθετων εισροών στο δίκτυο είναι η ποσοτικοποίηση των συνιστωσών τους: υπόγειες και όμβριες εισροές. Για την σύνταξη κατάλληλου μοντέλου απαιτείται χρήση χρονοσειρών μεγάλης διάρκειας, οι οποίες αναλύονται στατιστικά. Σ' αυτή τη βάση δημιουργήθηκε το μοντέλο Mouse NAM, που σχεδιάστηκε από τους Gustafsson, Hernebring & Hammarlund (1999), το οποίο υπολογίζει τόσο την «αργή» συνιστώσα, όσο και την «γρήγορη» συνιστώσα των παρασιτικών εισροών. Ως «αργή» συνιστώσα ορίζεται από τους επιστήμονες η εισροή υπογείων υδάτων στο δίκτυο και ιδιαίτερα η συμβολή της τήξης του χιονιού, που για τη Σουηδία αποτελεί σημαντικό τροφοδότη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Υπολογίζεται ότι με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου σε σύνολο 100 περιπτώσεων το 50 % έως 90 % των συνολικών ετήσιων παρασιτικών εισροών οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη τήξη χιονιού. «Γρήγορη» συνιστώσα είναι η συμβολή ομβρίων στο δίκτυο ακαθάρτων. Σημειώνεται ότι η λογική του μοντέλου μπορεί να εφαρμοστεί με κατάλληλες τροποποιήσεις σε δίκτυο ομβρίων και σε παντορορικά δίκτυα ακαθάρτων.

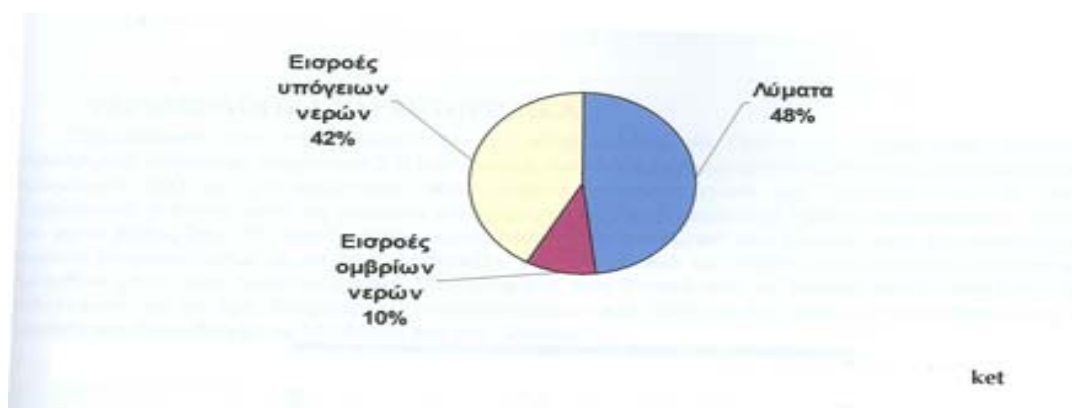
Το μοντέλο προσομοιώνει τον υδρολογικό κύκλο της εκάστοτε λεκάνης και τον διαχωρίζει σε τέσσερα στάδια: τήξη χιονιού, επιφανειακή απορροή, ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη. Η εξάτμιση και η βροχόπτωση λαμβάνεται υπόψη. Τα δεδομένα εισόδου προέρχονται από μετρήσεις, αλλά τα τελικά αποτελέσματα συγκρίνονται με τις παρατηρημένες ημερήσιες μέσες τιμές για αρκετά έτη. Αναλυτικά για τον προσδιορισμό της «γρήγορης» συνιστώσας δεδομένα εισόδου αποτελούν: η απορρέουσα επιφάνεια, ο χρόνος συρροής και οι καμπύλες χρόνου συγκέντρωσης - επιφάνειας για τη μέθοδο χρόνου - επιφάνειας ή ο συντελεστής απόδοσης για μη γραμμικό μοντέλο αποθήκευσης. Δεδομένα εισόδου για την εκτίμηση των όμβριων εισροών αποτελεί το ύψος βροχής σε κλίμακα μικρότερη από την ημερήσια. Για την «αργή» συνιστώσα τα δεδομένα εισόδου είναι: η απορρέουσα επιφάνεια, ο συντελεστής κατεισδυσης, η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα και οι χρονικές σταθερές για την βασική απορροή. Επίσης δεδομένα εισόδου αποτελούν τα ημερήσια ύψη βροχής στα οποία γίνεται διόρθωση λόγω εξάτμισης. Μ' αυτή τη μορφή το μοντέλο εφαρμόστηκε στην Πράγα, στο Ζάγκρεμπ, στην Λουμπλιάνα και στο Σύδνεϋ.

Συγκεκριμένα στην πόλη Helsingborg Oresundverket από την εφαρμογή του μοντέλου Mouse NAM προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 1.14: Μετρημένη και υπολογισθείσα παροχή στην εγκατάσταση.

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.9 παρατηρείται ότι η συμβολή των επηρεάζει τις αιχμές της παροχής ακαθάρτων και ανέρχεται σε 10%, ενώ τα υπόγεια νερά συμβάλουν κατά 42 % στην διαμόρφωση της παροχής ακαθάρτων.



Σχήμα 1.15: Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων στην πόλη Helsingborg Oresundverket

Zurich, Ελβετία - Bouguenais, Γαλλία:

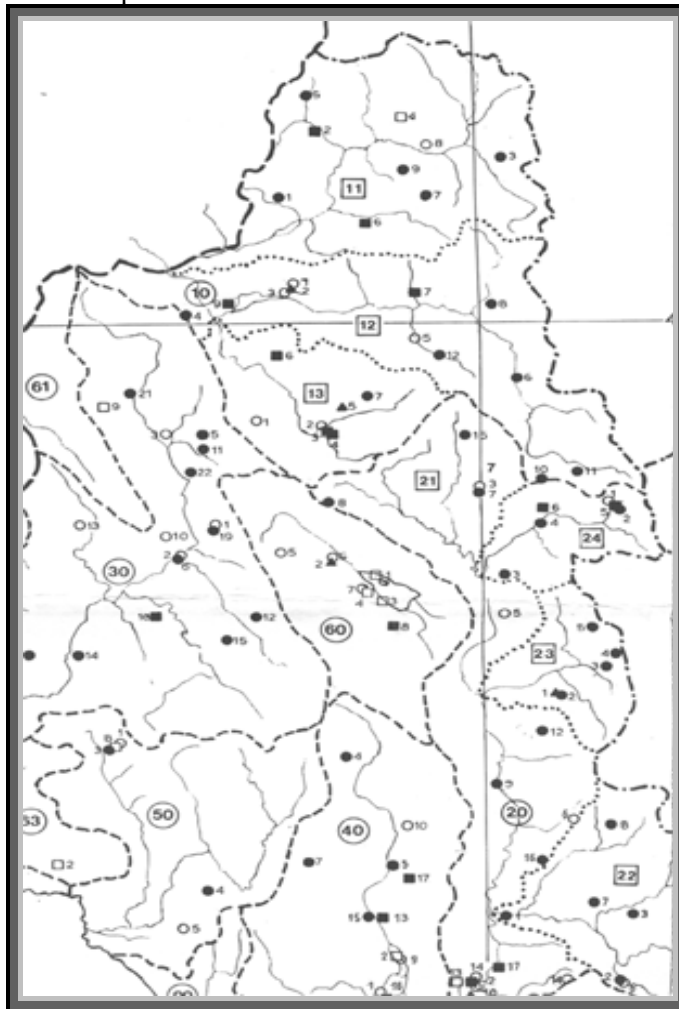
Το Τεχνολογικό Ίδρυμα της Ζυρίχης (ETH 2003) συνέταξε μοντέλο για την ποσοτικοποίηση των παρασιτικών εισροών σε δίκτυα ακαθάρτων για ξηρές συνθήκες, που αποσκοπεί στον υπολογισμό της εισροής των υπόγειων υδάτων που εισέρχονται στο δίκτυο. Το μοντέλο επικεντρώθηκε στην έμμεση εκτίμηση των υπόγειων υδάτων μέσω φυσικών δεικτών και μαθηματικών αναλύσεων, όπως υδρολογικοί δείκτες (σταθερά συστατικά υπόγειου νερού π.χ. NO₃), ίχνη απολύμανσης από εισροή νερού ύδρευσης από διαρροή αγωγών ύδρευσης (π.χ. χλώριο) και συνδυασμένη ανάλυση χρονοσειρών παροχής και ρυπαντικού φορτίου. Τελικός στόχος του μοντέλου είναι η παραγωγή τυποποιημένης μεθόδου για τον διαχωρισμό των συνιστωσών του νερού. Το μοντέλο συντάσσεται ταυτόχρονα με την παρούσα διπλωματική από του καθηγητές Oliver Kracht και Willi Gujer με την χρηματοδότηση ευρωπαϊκών κονδυλίων και την αιγίδα τεσσάρων πανεπιστημίων και επτά πόλεων. Η σύγχρονη ανάπτυξη του μοντέλου με την παρούσα διπλωματική δεν επέτρεψε την περαιτέρω παρουσίαση των χαρακτηριστικών του (προσωπική επικοινωνία με Oliver Kracht).

Αντίστοιχο μοντέλο, για την εκτίμηση της συμβολής των υπογείων, αναπτύχθηκε από το Laboratoire de Ponts et Chaussées στο Bouguenais στην Γαλλία από τους Belhadj, Joannis & Raimbault (1995). Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 16 μήνες ωριαίων μετρήσεων της βροχόπτωσης και της παροχής ακαθάρτων. Η εισροή υπογείων υδάτων προσομοιώθηκε με τη χρήση 6 παραμέτρων. Τα αποτελέσματα του μοντέλου ήταν ικανοποιητικά για διάφορες υπό δοκιμή συνθήκες, αλλά το βασικό μειονέκτημα του μοντέλου ήταν η αλληλοσυσχέτιση των παραμέτρων εισόδου, που εμποδίζει τη χρήση του σε εξειδικευμένες περιπτώσεις. Εντούτοις η αξιοπιστία το μοντέλου ελέγχεται κατά την εφαρμογή του σε δίκτυα ακαθάρτων (2000).

Κεφάλαιο 2ο: Δίκτυο ακαθάρτων Ιωαννίνων

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Πρωτεύουσα του νομού Ιωαννίνων, η πόλη μελέτης τα Γιάννενα, ανήκει στην ομώνυμη υδρολογική λεκάνη με επιφάνεια 508 km². Μορφολογικά η περιοχή μελέτης αποτελεί οροπέδιο μέσου υψομέτρου 500 m. Το κυριότερο υδρογραφικό χαρακτηριστικό της λεκάνης είναι η λίμνη Παμβώτιδα, η οποία μετά τις εργασίες αποστράγγισης της Λαψίστας έχει επιφάνεια 23 km² και μέσο βάθος 5m. Η υδρολογική λεκάνη Ιωαννίνων χωρίζεται στα βόρεια από την υδρολογική λεκάνη Παρακαλάμου με το όρος Μιτσικέλι, στα νότια από τις υδρολογικές λεκάνες Λούρου και Αράχθου με τα όρη Ανεμοράχη και Μανωλίαςσα, στα δυτικά από τη λεκάνη του Καλαμά και του Βελτίτσιου με τα όρη Μαρμάρων, Νεοχωρόπουλου και Πεδίνης και προς τα ανατολικά από τη λεκάνη του Αράχθου με το Μιτσικέλι και τον Δρίσκο.



Πηγή: ΥΠ.ΑΝ.

Σχήμα 2. 1: Υδρολογική Λεκάνη Ιωαννίνων (60), Υδρολογική Λεκάνη Αώου (10), Υδρολογική Λεκάνη Λούρου (40) με σημειωμένους τους βροχομετρικούς, μετεωρολογικούς και κλιματολογικούς σταθμούς.

Την υδρολογική λεκάνη των Ιωαννίνων μπορούμε να τη χωρίσουμε σε δύο (2) κύριες υπολεκάνες: την υπολεκάνη της λίμνης Παμβώτιδας και την υπολεκάνη της Τάφρου Λαψίστας. Η υδρολογική υπολεκάνη της Παμβώτιδας συγκεντρώνει τις απορροές του ανατολικού τμήματος (Λογγάδες, Χαροκόπι, Κουτσέλιο) και του δυτικού τμήματος (Βουνοπλαγιά έως Πεδινή). Η ανατολική πλευρά της λίμνης βρίσκεται σε επαφή με τα ανθρακικά πετρώματα του Μιτσικελίου και επικοινωνεί με τον υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται σ' αυτούς τους σχηματισμούς. Αποδέκτης των απορροών είναι κυρίως η λίμνη Παμβώτιδα. Με ρυθμιζόμενο θυρόφραγμα η λίμνη υπερχειλίζει προς τη μεριά του Περάματος και τα υπερχειλίζοντα νερά της λίμνης παροχετεύονται στην Τάφρο Λαψίστας μέσω της κεντρικής αποχευτικής τάφρου στη σήραγγα της Ροδοτοπίου και στη συνέχεια οδηγούνται στον Βέλτσικο παραπόταμο του ποταμού Καλαμά. Η ΔΕΗ παρακολουθεί συστηματικά την απορροή του συστήματος Παμβώτιδας-Λαψίστας και εκτίμησε για την περίοδο 1970-1985 την παροχή σε 3,8 m³/s. Επιπροσθέτως μια ποσότητα (όχι αμελητέα) παροχετεύεται στις καταβόθρες της Καστρίτας κυρίως το χειμώνα. Η υδρολογική λεκάνη της Τάφρου Λαψίστας συγκεντρώνει τις απορροές του βόρειου τμήματος και τις προαναφερθείσες υπερχειλίσεις της λίμνης. Αποδέκτης των απορροών της Τάφρου Λαψίστας είναι κυρίως η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Βελτίτσικου. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι έκτος από τις δύο κύριες υπολεκάνες της περιοχής μέσα στον υδροκρίτη υπάρχουν και άλλες κλειστές υπολεκάνες που η απορροή τους παροχετεύεται μέσω των καταβόθρων που αναπτύσσονται στα καρστικά τους πετρώματα.

Τα υδρογεωλογικά όρια της λεκάνης των Ιωαννίνων είναι: στα ανατολικά το εκτενές στρώμα φλύσχη, στα δυτικά τα Τριαδικά λατυποπαγή στη λεκάνη του Παρακαλάμου, στα βόρεια οι τεταρτογενείς αποθέσεις και τα Τριαδικά λατυποπαγή και στα νότια τα καρστικά συστήματα που οριοθετούνται από Αράχθου και Λούρου. Ως προς την υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών του υπεδάφους της λεκάνης σημειώνονται τα εξής: οι Εβαπορίτες και τα Τριαδικά λατυποπαγή είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί, αν και τα συνυπάρχοντα στρώματα των ασβεστολιθικών και δολομιτικών λατύπων αυξάνουν τοπικά την υδροπερατότητα τους. Τα ανθρακικά πετρώματα είναι σε γενικές γραμμές υδροπερατά. Την ιδιότητά τους αυτή εντείνει η καρστικοποίηση των ασβεστολίθων, όπου οι αναπτυσσόμενες ρωγμές, διακλάσεις συμβάλουν στην ανάπτυξη και τροφοδότηση του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής. Εντούτοις η ύπαρξη περιμετρικά του στρώματος ασβεστολίθων πυριτικών και αργιλικών υλικών οδηγεί στον περιορισμό ως μηδενισμό σημειακά της υδροπερατότητας του στρώματος. Τα στρώματα φλύσχη που συναντώνται εκτενώς στα ανατολικά της λεκάνης είναι αδιαπέρατα. Επιπλέον οι ψαμμιτικό-μαργαϊκές αποθέσεις Βουρδινάλιου, που αναπτύσσονται στα πεδινά και στα πρανή της λεκάνης είναι αδιαπέρατοι. Αντίθετα οι Μειοπλειοκαινικές και οι αλλουβιακές αποθέσεις που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης είναι υδροπερατές, αποτελούμενες από αργίλους κυρίως και επιφανειακότερα από άμμους, κροκάλες και χαλίκια.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της υδρογεωλογίας της λεκάνης των Ιωαννίνων αποτελεί η επαφή των ανθρακικών πετρωμάτων με τις τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης. Χαρακτηριστικό της εκδήλωσης αυτής της επαφής είναι ο σημαντικός αριθμός καταβόθρων που αναπτύσσεται στα δυτικά και νότια της λεκάνης και μέσω των οποίων γίνεται η αποστράγγισή της. Μια άλλη εκδήλωση της επαφής αυτής είναι η πληθώρα των πηγών που εμφανίζονται κυρίως στα ανατολικά της λεκάνης στην επαφή της υπολεκάνη της λίμνης Παμβώτιδας με το όρος Μιτσικέλλι. Πολλές από αυτές βρίσκονται εντός της λεκάνης Ιωαννίνων και άλλες περιφερειακά αυτής. Η παροχή των σημαντικότερων πηγών παρατηρείται συστηματικά. Για παράδειγμα η παροχή της Κρύας εκτιμήθηκε σε 0,43 m³/s, του Σαντινίκου (Στρουνίου) σε 0,36 m³/s και της Τούμπας σε 0,32 m³/s. Τονίζεται ότι οι παραπάνω πηγές είναι οι κύριοι παράγοντες αποφόρτισης του καρστικού συστήματος Μιτσικελίου. Στην ευρύτερη περιοχή λαμβάνουν χώρα αντλητικές γεωτρήσεις η ακτίνα επίδρασης των οποίων συμπεριλαμβάνει ορισμένες πηγές. Το γεγονός αυτό καθιστά τη μέτρηση των παροχών ιδιαίτερα των πηγών Κρύας και Τούμπας ιδιαίτερα δυσχερή. Το πιεζομετρικό φορτίο του υδροφορέα μειώνεται με αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής των πηγών ανάλογα με την αντλούμενη παροχή. Παρατηρήθηκε, μάλιστα, στείρευση των πηγών σε ξηρές περιόδους εξαιτίας των αντλήσεων. (Σμυρνιώτης κ.α., 1997)

Χαρακτηριστικός είναι ο συγκεντρωτικός Πίνακας 2.1 ο οποίος εμφανίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των υδρολιθικών σχηματισμών του ηπειρωτικού τμήματος της Ηπείρου. Οι πληροφορίες για το υδρολογικό ισοζύγιο του διαμερίσματος της Ηπείρου προέρχονται από το διαδίκτυο (www.itia.ntua.gr/?id=571&stn=docinfo&lang=1). Με βάση αυτές σημειώνεται ότι υπολογίζεται χωριστά το υδρολογικό ισοζύγιο για το ηπειρωτικό και για νησιωτικό τμήμα του διαμερίσματος της Ηπείρου. Ο όγκος βροχής για το ηπειρωτικό τμήμα, στο οποίο ανήκει η υδρολογική λεκάνη των Ιωαννίνων, εκτιμάται σε 15 956 hm³. Η εκτίμηση αυτή έγινε με βάση την έκταση, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, τον συντελεστή απορροής, ο οποίος ποικίλει ανάλογα με τον υδρογεωλογικό σχηματισμό, τις κλίσεις των στρωμάτων που συναντώνται, και τον όγκο της επιφανειακής απορροής, ο οποίος για το ηπειρωτικό τμήμα εκτιμήθηκε 5 550 hm³/έτος.

Πίνακας 2. 1: Υδρολογικό ισοζύγιο ηπειρωτικού τμήματος

	Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί				Σύνολο
	Αδιαπέ ρ.	Ημιπε ρ.	Προσχω μ.	Καρστ .	
Επιφάνεια (km ²)	3 688	643	1 233	3 821	9 385
Ύψος βροχής (mm)	1 700		1 700	1 700	
Όγκος βροχής (hm ³)	7 364		2 096	6 496	15 956
Συντελεστής εξάτμισης	40%		40%	40%	
Εξάτμιση (hm ³)	2 946		838	2 598	6 382
Συντελεστής κατείδυσης	3%		15%	95%	
Κατείδυση (hm ³)	133		189	3 703	4 024
Επίγεια ροή (hm ³)	4 286		1 069	195	5 550

Πηγή: www.itia.ntua.gr/doc571

Παρόλο που ο Πίνακας 2.1 αναφέρεται στο σύνολο του ηπειρωτικού τμήματος του διαμερίσματος τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν με ικανοποιητική ακρίβεια να υιοθετηθούν για την υδρολογική λεκάνη των Ιωαννίνων. Από τον παραπάνω πίνακα εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- η ενεργός βροχόπτωση για επιφανειακή και υπόγεια απορροή εκτιμάται ότι αποτελεί το 60% της συνολικής βροχόπτωσης, ενώ το 40% της συνολικής βροχόπτωσης αποτελεί την πραγματική εξατμισοδιαπνοή.
- η μέση κατείδυση εκτιμάται σε 3% της ενεργού βροχόπτωσης στο σύνολο αδιαπέρατων και ημιπερατών σχηματισμών, 15% της ενεργού βροχόπτωσης στους προσχωματικούς, και 95% της ενεργού βροχόπτωσης στους υδροπερατούς σχηματισμούς.
- η επιφανειακή απορροή εκτιμάται σε 97% της ενεργού βροχόπτωσης στο σύνολο αδιαπέρατων και ημιπερατών σχηματισμών, 85% της ενεργού βροχόπτωσης στους προσχωματικούς, και 5% της ενεργού βροχόπτωσης στους υδροπερατούς σχηματισμούς.

Τα παραπάνω ποσοτικά συμπεράσματα συνάδουν με τα ποιοτικά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης των Ιωαννίνων.

ΔΙΚΤΥΟ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ -ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Το δίκτυο αποχέτευσης των Ιωαννίνων εξυπηρετεί περίπου 130000 κατοίκους (ΔΕΥΑ Ιωαννίνων & Απογραφή 2001), οι οποίοι διαμένουν είτε στην πόλη των Ιωαννίνων είτε στους όμορους μ' αυτήν οικισμούς. Το δίκτυο είναι χωριστικό και κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1980. Πριν την κατασκευή του υπάρχοντος δικτύου, η πόλη εξυπηρετούταν από παντοροικό δίκτυο, ενώ οι γειτονικοί οικισμοί από σύστημα βόθρων. Από την κατασκευή του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν κυρίως αγωγοί από PVC

και σκυρόδεμα, ενώ τοπικά και μόνο σε δευτερεύοντες ή τριτεύοντες αγωγούς τοποθετήθηκαν σωλήνες από αμιαντοτσιμέντο. Η μεταφορά των λυμάτων προς την εγκατάσταση επεξεργασίας γίνεται με άντληση (καταθλιπτικός αγωγός) για περίπου 3,5 km.

Όσον αφορά στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων το 2002 ολοκληρώθηκε η επέκτασή της. Έως τότε και με βάση τη δυναμικότητα της υπάρχουσας εγκατάστασης οι αυξημένες, εξαιτίας των πρόσθετων εισροών, παροχές ακαθάρτων στραγγαλιζόνταν στην είσοδο της εγκατάστασης. Με τον όρο στραγγαλισμό εννοείται η προσωρινή αποθήκευση σε ρυθμιστική δεξαμενή έως ότου η εγκατάσταση παροχετεύσει τις εισερχόμενες ποσότητες. Η καθυστέρηση αυτή στην είσοδο των ακαθάρτων ήταν από μερικές ώρες έως μερικές μέρες (1 ή 2). Μετά την αναβάθμιση και επέκταση της εγκατάστασης συντάχθηκε από τους Ανδρεαδάκη κ.α. (2002) πρόγραμμα δειγματοληψιών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των λειτουργικών δεδομένων της εγκατάστασης. Σε συνεργασία με το προσωπικό της εγκατάστασης έγινε η δειγματοληψία σε έξι διατομές: κατάντη του εξαμμωτή, στην εκροή της πρωτοβάθμιας καθίζησης, στις δεξαμενές αερισμού, στις δεξαμενές τελικής καθίζησης, στον μετρητή της παροχής και στην τελική εκροή. Συγκεκριμένα οι απαραίτητες για την παρούσα διπλωματική μετρήσεις της παροχής ακαθάρτων προήλθαν από δύο πηγές: η ημερήσια παροχή εισόδου για το διάστημα 03/02 έως 06/03 από Ανδρεαδάκη κ.α. (2002) και η ημερήσια παροχή εξόδου για το διάστημα 01/00 έως 08/03 από τη ΔΕΥΑ Ιωαννίνων (προσωπική επικοινωνία). Στις αναλύσεις που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της ΔΕΥΑ Ιωαννίνων. Για τα έργα επέκτασης και αναβάθμισης η παροχή σχεδιασμού είναι ιδιαίτερα υψηλή και αντιστοιχεί με τη μέγιστη παροχή για το 99 % του χρόνου της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Μετά το φρεάτιο εισόδου (Ανδρεαδάκης κ.α. 2002) ορίστηκε ως αναγκαία η τροφοδοσία των λιπών μέσω σωληνώσεων στη δεξαμενή ομογενοποίησης και στη συνέχεια στην αναερόβια χώνευση. Η διάταξη, όμως, αυτή δε χρησιμοποιείται λόγω της περιορισμένης συγκράτησης στερεών στην εσχάρα και της παρουσίας αρκετών διακριτικών σωματιδίων στο κανάλι λιπών και τα επιπλέοντα ανακυκλώνονται προς το φρεάτιο εισόδου. Η άμμος που απομακρύνεται έχει μέσο ποσοστό στερεών 34 %, το 71 % των οποίων είναι πηκτικά στερεά. Οι τιμές αυτές είναι υψηλές με βάση τα διεθνή δεδομένα και αποδόθηκαν στον ατελή εξαερισμό του εξαμμωτή, οπότε παγιδεύονται σημαντικές ποσότητες οργανικών στερεών.

Μετά την εσχάρωση και την εξάμμωση τα λύματα οδηγούνται στις δύο δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης διαμέτρου 24 m. Η υδραυλική φόρτιση των δεξαμενών είναι $26 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 1,4 hr (βιβλιογραφία: 1,5 έως 2,5 hr). Οι μέσοι βαθμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών και οργανικού φορτίου είναι 86 % και 74 % αντίστοιχα και είναι σημαντικά υψηλότεροι των παρατηρηθέντων κατά το διάστημα 2000 - 2001 (60 % και 34 %). Σύμφωνα με Metcalf & Eddy (1991) οι συνήθεις βαθμοί απομάκρυνσης στερεών κυμαίνονται από 45 - 65 % για τα αιωρούμενα στερεά και από 25 - 40 % για το οργανικό φορτίο. Οι αυξημένοι βαθμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών και οργανικού φορτίου οφείλονται στις σημαντικές ποσότητες καθιζήσιμων στερεών εξαιτίας των αυξημένων παροχών στραγγιδίων από τον παχυντή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Μετά τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης τα λύματα μεταφέρονται στη δεξαμενή αερισμού, όγκου 7160 m^3 και στη συνέχεια στις δύο δεξαμενές τελικής καθίζησης διαμέτρου 32 m. Οι Ανδρεαδάκης κ.α. (2002) κατέληξαν ότι η απόδοση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ως προς την απομάκρυνση οργανικού φορτίου για τη μέση φόρτιση της εγκατάστασης ανέρχεται σε 75 %. Οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών στην τελική εκροή κυμαίνονται από 1 - 405 mg/ L. Οι υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται κυρίως σε προβλήματα διόγκωσης και αφρισμού και μεταβάλλονται εποχιακά. Ομοίως οι συγκεντρώσεις ολικού COD και αιωρούμενων στερεών κυμαίνονται από 5 - 500 mg/ L και 1 - 400 mg/ L, είναι ιδιαίτερα υψηλές και ακολουθούν εποχιακή διακύμανση. Η εγκατάσταση ικανοποιεί τα όρια της Οδηγίας 91/271 της Ε.Ε. για το 75 - 80 % του χρόνου λειτουργίας. Αντίθετα η συγκέντρωση διαλυτού COD στην εκροή είναι χαμηλή και οφείλεται στην ικανοποιητική απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα κατά τη βιολογική επεξεργασία. Η σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις ολικού και διαλυτού COD υποδηλώνουν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό οργανικού φορτίου στην τελική εκροή βρίσκεται με τη μορφή σωματιδιακών στερεών, που λόγω αναποτελεσματικής διαύγασης και συμπύκνωσης της ιλύος κατά την καθίζηση, διαφεύγει στα

επεξεργασμένα. Επιπλέον με βάση τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου (μέση τιμή 0,16 mg/ L) συμπεραίνεται ότι το υφιστάμενο σύστημα αερισμού δεν επαρκεί. Γύ αυτό παρατηρείται αναχαίτιση της νιτροποίησης στη δεξαμενή αερισμού. Ως προς την απομάκρυνση της αμμωνίας η συνολική απόδοση ανέρχεται σε 60 %. Επιπροσθέτως εξαιτίας του ανεπαρκούς αερισμού γίνεται ταυτόχρονα νιτροποίηση και απονιτροποίηση στη δεξαμενή αερισμού, έτσι η μέση συγκέντρωση NO₃ -N ισούται με 1,5 mg/ L και ισοδυναμεί σε βαθμό απομάκρυνσης 50 %.

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Ποιοτικές ενδείξεις του μεγέθους του προβλήματος στα Γιάννενα αποτέλεσαν οι μαρτυρίες των υπευθύνων της τοπικής ΔΕΥΑ και των εργαζομένων στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, καθώς και τα ενδεικτικά ποιοτικά διαγράμματα που συντάχθηκαν κατά τη διάρκεια των πρώτων υπολογισμών πριν την αναλυτική και ποσοτική διερεύνηση των παρασιτικών εισροών. Σύμφωνα με Ανδρεαδάκη (2002) η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια παροχή για το 95 % του και το 5 % κυμαίνονται περίπου στο +/- 35 % της μέσης ημερήσια παροχής.

Τα ποιοτικά διαγράμματα που παρατίθενται παρακάτω αποτελούν συγκριτικές αναπαραστάσεις των μεταβολών της παροχής εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ανάλογα με τη κατανομή της βροχοπτώσης (ξηρές ή υγρές περιόδους) ή με τις μεταβολές στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Αρχικά επιλέχθηκαν διαστήματα διάρκειας δεκαήμερου (10) για ξηρές και για υγρές περιόδους. Δόθηκε προσοχή ώστε αυτά τα διαστήματα να αποτελούν, εφόσον αυτό ήταν δυνατό, ενδιάμεσα διαστήματα ξηρών ή αντίστοιχα υγρών περιόδων, δηλαδή επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε πριν την έναρξη των υπό εξέταση δεκαημέρων να παρεμβάλλονται όσον το δυνατόν περισσότερες ξηρές ή υγρές μέρες. Μ' αυτόν τον τρόπο θεωρείται όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική η σύγκριση μεταξύ των δεκαήμερων αναφοράς.

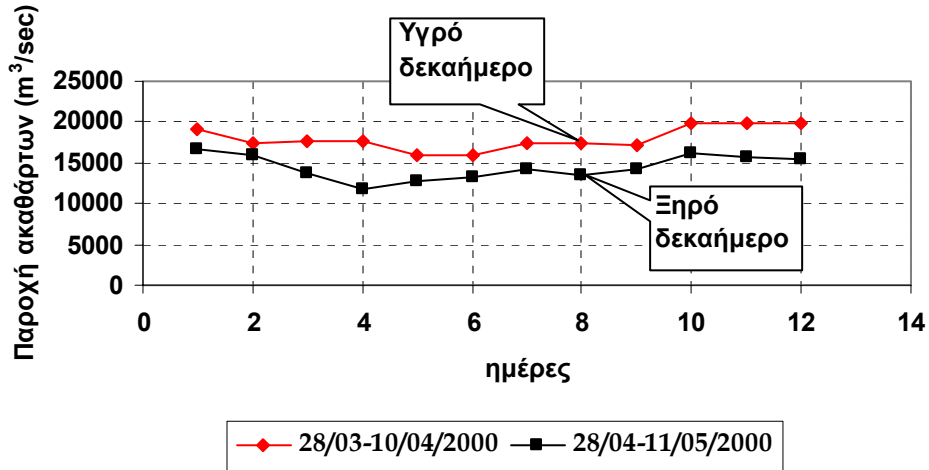
Επισημαίνεται ότι για καθένα ημερολογιακό έτος από το 2000 έως 2004 επιλέχθηκε ένα υγρό και ένα ξηρό δεκαήμερο για την περίοδο που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα εκτιμάται ως υψηλή και ένα αντίστοιχο ζευγάρι για την περίοδο που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα εκτιμάται ως χαμηλή. Η διαφορά μεταξύ ξηρού και υγρού δεκαήμερου εκφράζει τις όμβριες εισροές στο δίκτυο ακαθάρτων των Ιωαννίνων για το συγκεκριμένο δεκαήμερο και την εκάστοτε στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Μ' αυτόν τον τρόπο γίνεται μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση της όμβριας συνιστώσας των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο.

Για την ποιοτική εκτίμηση της συμβολής των υπόγειων υδάτων στις παρασιτικές εισροές του δικτύου ακαθάρτων των Ιωαννίνων συγκρίνουμε τις παροχές των ξηρών δεκαημέρων για την περίοδο υψηλού και χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι μετρήσεις της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στην υδρολογική λεκάνη των Ιωαννίνων ή σε υπολεκάνες αυτής δεν υπάρχουν. Μολαταύτα για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας η ΔΕΥΑ Ιωαννίνων διέθεσε τις καταγραφές για τις στάθμες των αντλητικών γεωτρήσεων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή. Σημειώνεται ότι οι αντλητικές γεωτρήσεις δεν είναι ενδεικτικές της φυσικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και επιπλέον οι μετρήσεις τους είναι οποραδικές. Για τους παραπάνω λόγους δεν έγινε χρήση των καταγραφών από τις γεωτρήσεις.

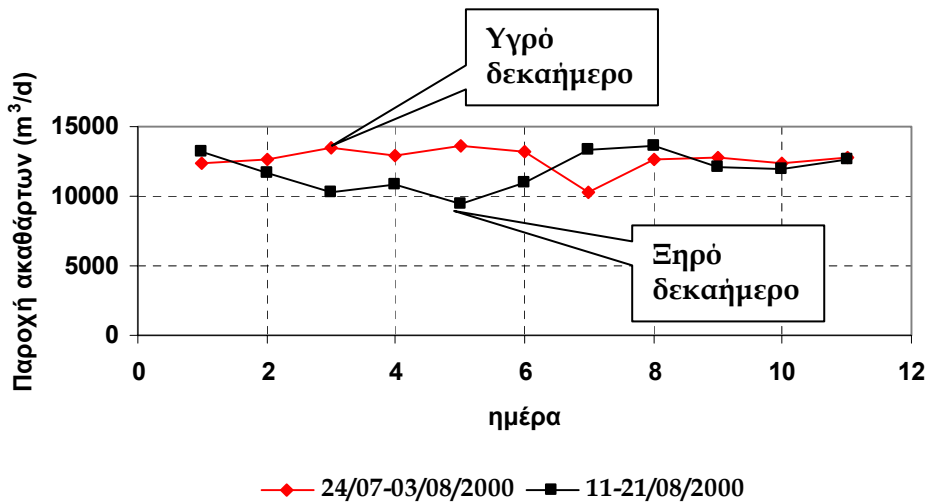
Τίθεται, όμως το ερώτημα πώς επιλέχθηκαν οι περίοδοι υψηλής και χαμηλής στάθμης. Η επιλογή έγινε κατόπιν αφενός υποδείξεων από τη σύμβουλο γεωλόγο της ΔΕΥΑ Ιωαννίνων (προσωπική επικοινωνία), και αφετέρου με βάση τις συστάσεις του αμερικάνικου Department of Environmental Protection (1993). Θεωρήθηκε ως περίοδος υψηλού υδροφορέα το διάστημα Φεβρουαρίου -Μαρτίου-Απριλίου για κάθε έτος. Κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών το έδαφος της λεκάνης έχει ήδη τροφοδοτηθεί από τις βροχοπτώσεις του υγρού κατά κανόνα τριμήνου Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου, ενώ ταυτόχρονα εμπλουτίζεται από τις βροχές που λαμβάνουν χώρα εκείνη την περίοδο (Φεβρουάριος -Μάρτιος-Απρίλιος), καθώς και από την τήξη του χιονιού στους περιφερειακούς ορεινούς όγκους. Αντίθετα ως περίοδος χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα θεωρήθηκε το τρίμηνο Ιούνιος -Ιούλιος-Αύγουστος, αφού στατιστικά το παρατηρημένο ύψος βροχής στο διάστημα αυτό

είναι μικρό. Την περίοδο αυτή και ιδιαίτερα για τους καλοκαιρινούς μήνες ο υδροφόρος ορίζοντας έχει σταματήσει να τροφοδοτείται από την επιφανειακή και υπόγεια απορροή της λεκάνης, αλλά συνεχίζει να την τροφοδοτεί με αποτέλεσμα τη μείωση του πιεζομετρικού φορτίου του και κατά συνέπεια πτώση της στάθμης του.

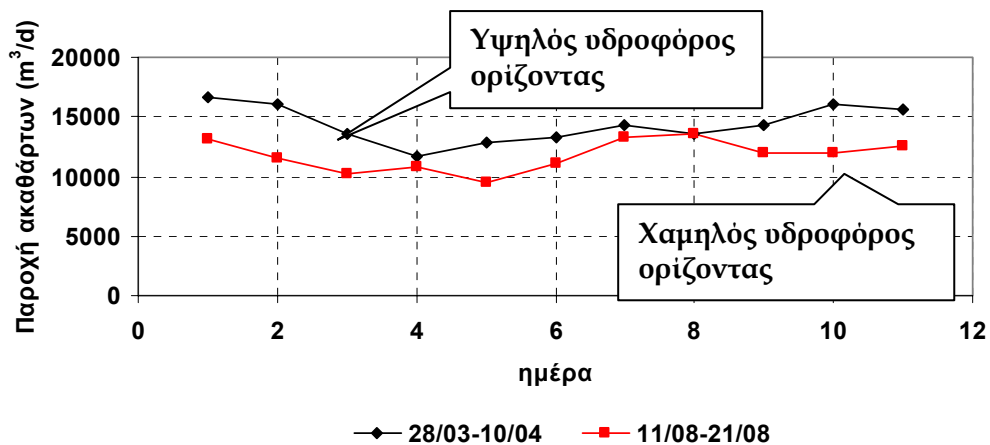
Παρακάτω παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα για το ημερολογιακό έτος 2000:



Σχήμα 2. 2: Ποσότητα όμβριων υδάτων που εισρέουν στο δίκτυο για υψηλή στάθμη υδροφορέα



Σχήμα 2. 3: Ποσότητα όμβριων υδάτων που εισρέουν στο δίκτυο για χαμηλή στάθμη υδροφορέα



Σχήμα 2. 4: Ποσότητα υπόγειων υδάτων που εισρέουν στο δίκτυο υπό ξηρές συνθήκες

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, που δίνει την ποσοτική έκφραση των Σχημάτων 2.2, 2.3 και 2.4. Αναλυτικά από το Σχήμα 2.2 προκύπτει ο πίνακας 2.1:

Πίνακας 2. 2: Ημερήσιοι εκτιμώμενοι όγκοι ομβρίων (28/03 - 10/04)

Υγρή Περίοδος	Ξηρά Περίοδος	Εκτιμώμενος Όγκος Ομβρίων για υψηλό Υ.Ο. (διαφορά Υγρής& Ξηράς περιόδου)
19050	16700	2350
17390	16009	1381
17690	13633	4057
17530	11729	5801
15990	12846	3144
15910	13273	2637
17390	14288	3102
17330	13560	3770
17240	14288	2952
19870	16085	3785
19930	15629	4301
19880	15328	4552
16390	14879	1511
17794	15478	2316
Μέση Τιμή (m³/d) :		3261

Από τον Πίνακα 2.2 γίνεται εμφανής εμπειρικά η διακύμανση της ημερήσιας παροχής μεταξύ υγρών και ξηρών ημερών σε περίοδο με σταθερά υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα. Έγινε σύγκριση του υγρού δεκαήμερου 28/03/2000 έως 10/04/2000 με το ξηρό δεκαήμερο 28/04 έως 11/05/2000. Η διαφορά μεταξύ των ημερήσιων παροχών υγρής και ξηρής περιόδου εκφράζει στο μεγαλύτερο ποσοστό της την ποσότητα ομβρίων υδάτων που εισέρχονται στο δίκτυο. Η μέση τιμή της εισροής ομβρίων ανά ημέρα ανέρχεται σε 3261 m³ για το υγρό δεκαήμερο. Εντούτοις στα αποτελέσματα της τρίτης στήλης του Πίνακα 2.2 συνυπάρχει και η συνιστώσα των υπόγειων υδάτων, η οποία προέρχεται από την υψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατά το διάστημα που εξετάζεται.

Πίνακας 2. 3: Ημερήσιοι εκτιμώμενοι όγκοι ομβρίων (27/07 - 03/08)

Υγρή Περίοδος	Ξηρά Περίοδος	Εκτιμώμενος Όγκος Ομβρίων για χαμηλό Υ.Ο.(διαφορά Υγρής& Ξηράς περιόδου)
12409	13156	0
12676	11603	1073
13416	10234	3182
12973	10841	2132
13596	9494	4102
13130	11037	2093
10237	13266	0
12619	13626	0
12792	12033	759
12311	12005	306
12763	12584	179
Μέση Τιμή (m³/d)		1257

Από τον Πίνακα 2.3 γίνεται εμφανής η διακύμανση της ημερήσιας παροχής μεταξύ υγρών και ξηρών ημερών σε περίοδο με σταθερά χαμηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα. Έγινε σύγκριση του υγρού δεκαημέρου 24/07 έως 03/08/2000 με το ξηρό δεκαήμερο 11/08/2000 έως 21/08/2000. Η μέση τιμή της ημερήσιας παροχής όμβριων υδάτων στο δίκτυο για δεκαήμερο 24/07 έως 03/08/2000 ισούται με 1259,91 m³/d. Παρατηρούμε ενδεικτικά ότι σε περιόδους με υψηλή στάθμη του υδροφορέα η ημερήσια παροχή όμβριων υδάτων υπερδιπλασιάζεται σε σχέση με την αντίστοιχη σε περιόδους με χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα.

Πίνακας 2. 4: Ημερήσιοι εκτιμώμενοι όγκοι υπογείων υδάτων (28/03 - 10/04)

Υψηλός Υ.Ο.	Χαμηλός Υ.Ο.	Εκτιμώμενος Όγκος Υπόγειων Υδάτων (διαφορά υψηλής&χαμηλής σταθμης)
16700	13156	3544
16009	11603	4406
13633	10234	3399
11729	10841	888
12846	9494	3352
13273	11037	2236
14288	13266	1022
13560	13626	0
14288	12033	2255
16085	12005	4080
15629	12584	3045
Μέση Τιμή (m³)		2566

Στον Πίνακα 2.4 γίνεται μια πρώτη εμπειρική ποσοτική εκτίμηση της υπόγειας συνιστώσας των παρασιτικών εισροών, λαμβάνοντας ως διαστήματα υπό εξέταση τα αντίστοιχα ξηρά δεκαήμερα των προηγούμενων πινάκων (Πίνακας 2.2 & 2.3). Δηλαδή έγινε σύγκριση μεταξύ του δεκαημέρου 28/04 έως 11/05/2000 (ξηρό διάστημα για υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα) και του δεκαημέρου 11/08 έως 21/08/2000 (ξηρό διάστημα για χαμηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα). Η διαφορά της πρώτης και της δεύτερης στήλης δίνει την ημερήσια εισροή των υπόγειων υδάτων στο δίκτυο ακαθάρτων για το δεκαήμερο 28/04 έως 11/05/2000. Προέκυψε ότι η μέση τιμή της ημερήσιας εισροής υπόγειων υδάτων στο δίκτυο ισούται με 2566,09 m³/d.

ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Παραπάνω ανιχνεύτηκε από ποιοτική σκοπιά η εισροή παρασιτικών εισροών στο δίκτυο ακαθάρτων της πόλης των Ιωαννίνων. Τα ποιοτικά αποτελέσματα παρέχουν ικανοποιητικές ενδείξεις για το σημαντικό μέγεθος του προβλήματος. Έτσι κρίθηκε απαραίτητη η ποσοτικοποίηση του φαινομένου με όση ακρίβεια επιτρέπουν τα διαθέσιμα δεδομένα.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ποσοτική ανάλυση είναι τα ακόλουθα:

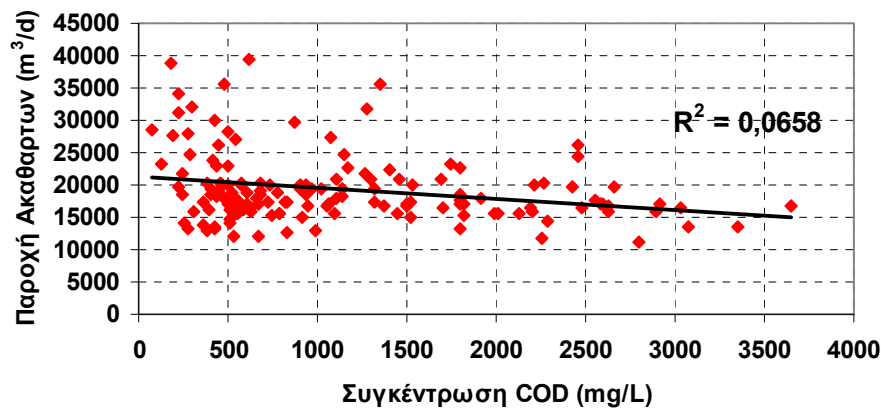
1. Συγκέντρωση και ερμηνεία λειτουργικών δεδομένων εγκατάστασης.
 2. Συλλογή βροχομετρικών δεδομένων από σταθμούς εντός της λεκάνης των Ιωαννίνων ή γειτονικούς αυτής.
 3. Έλεγχος συνέπειας των συλλεχθέντων βροχομετρικών δεδομένων και διόρθωση ασυνεπειών.
 4. Κατάρτιση χρονοσειρών αντιπροσωπευτικής βροχόπτωσης για την περιοχή των Ιωαννίνων
 5. Συσχέτιση ύψους βροχής και παροχής εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.
 6. Χρήση χρονοσειρών παροχής ποταμών ως δείκτη της συμπεριφοράς των υπόγειων υδάτων
 7. Συσχέτιση ποτάμιων παροχών με την παροχή εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.
 8. Συλλογή μηνιαίων τιμών υδατικής κατανάλωσης
 9. Δημιουργία Μοντέλου (γραμμικής και μη γραμμικής παλινδρόμησης) –Ποσοτικά αποτελέσματα
- Τα βήματα αυτά και η σκοπιμότητά τους αναλύονται στα παρακάτω εδάφια.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

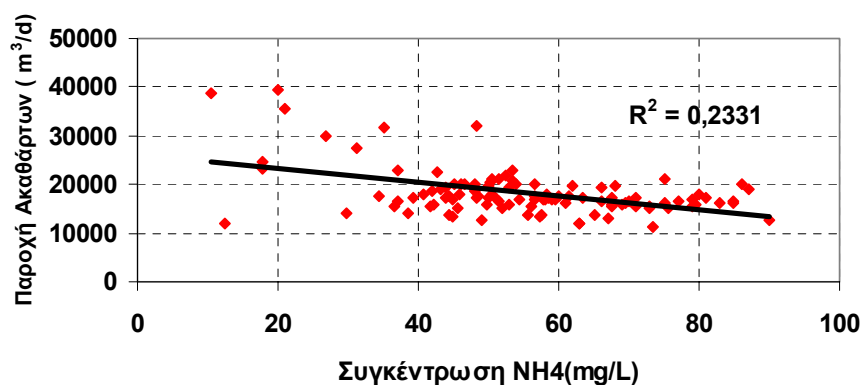
Η συλλογή των λειτουργικών δεδομένων της εγκατάστασης έγινε από δύο πηγές: αφενός από Ανδρεαδάκη (2002), για το λόγο αυτό η πλειονότητα των δεδομένων για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, πλην της παροχής εξόδου, αναφέρονται στα έτη από το 2002 και έπειτα, αφετέρου από τη ΔΕΥΑ Ιωαννίνων (προσωπική επικοινωνία). Τα δεδομένα με προέλευση τα αρχεία της ΔΕΥΑ και το γραφείο ελέγχου της εγκατάστασης επεξεργασίας καλύπτουν χρονικά το διάστημα 2000-2004 και αφορούν την παροχή εξόδου των επεξεργασμένων λυμάτων από την εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό στη σύνταξη του μοντέλου έγινε χρήση σε ό,τι αφορά την παροχή ακαθάρτων της παροχής εξόδου αντί της παροχής εισόδου που προκύπτει από τα δεδομένα των μελετητών. Η παραδοχή, αν και δε λαμβάνει υπόψιν την παροχή ιλύος και τις διαφορές-σχετικά μικρές απώλειες-είναι αποδεκτή και παρέχει μικρό σφάλμα, καθώς το αντικείμενο της παρούσας εργασίας εστιάζεται στον προσδιορισμό των παρασιτικών εισροών. Άλλωστε οι παρασιτικές εισροές είναι στο συντριπτικό τους ποσοστό νερό, υπόγειας ή επιφανειακής προέλευσης το οποίο δεν υφίσταται «χονδρικά» επεξεργασία κατά τη διέλευσή του από την εγκατάσταση. Γενικά η παροχή εξόδου στο σύστημα της εγκατάστασης επεξεργασίας σε ημερήσια κλίμακα διαφέρει από την αντίστοιχη παροχή εισόδου, καθώς ο συνολικός χρόνος παραμονής των λυμάτων στην εγκατάσταση

υπερβαίνει τη μία ημέρα. Εντούτοις στην περίπτωση των Ιωαννίνων οι μετρημένες παροχές εισόδου και εξόδου αποκλίνουν ελάχιστα μεταξύ τους.

Από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά στην είσοδο της εγκατάστασης είναι δυνατό, πέρα από τους όποιους άλλους υπολογισμούς, να εξαχθούν ποιοτικά συμπεράσματα για την προέλευση και τη σύσταση των συνιστωσών των ακαθάρτων. Έτσι, λαμβάνοντας τον πληθυσμό των Ιωαννίνων σταθερό για την τετραετία μελέτης και ίσο με 130000, καθώς επίσης και τοπικό φορτίο στα λύματα COD, BOD₅ και NH₄ ίσες με 120, 60 και 12 g/κατ. * d αντίστοιχα, προκύπτει ότι οι αναμενόμενες τιμές φορτίου COD, BOD₅ και NH₄ θα ήταν 15600 kg/d, 7800kg/d και 1560kg/d αντίστοιχα, δηλαδή οι αναμενόμενες τιμές συγκέντρωσης λαμβάνοντας μέση παροχή λυμάτων 19303 m³/d είναι: 808 mg/L, 404 mg/L και 80,8 mg/L. Συγκρίνοντας αυτές με τις μέσες τιμές φορτίου του δείγματος COD και NH₄: 1120 mg/L και 54 mg/L (ή τις αντίστοιχες τιμές φορτίου 21567kg/d, 6021 kg/d και 952 kg/d) παρατηρούμε απόκλιση της τάξης του 38 % στη συγκέντρωση του COD, ενώ ως προς το NH₄ η τιμή της συγκέντρωσης του εμφανίζεται μικρότερη από την αναμενόμενη τιμή.



Σχήμα 2. 5: Συσχέτιση παροχής ακαθάρτων - συγκέντρωση COD

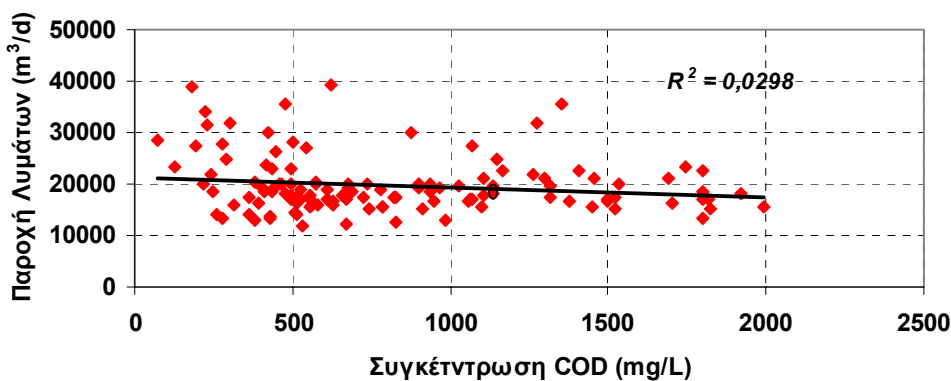


Σχήμα 2. 6: Συσχέτιση παροχής ακαθάρτων - συγκέντρωσης NH₄

Οι παραπάνω υπολογισμοί πρέπει να υποστούν, για ποικίλους λόγους που αιτιολογούνται ακολούθως, διόρθωση. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι τα μετρημένα ρυπαντικά φορτία, που προκύπτουν από τα σύνθετα 24ωρα δείγματα εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές και υπερβαίνουν σημαντικά τα φορτία σχεδιασμού για το μέσο φορτίο στερεών και οργανικού φορτίου των νέων έργων. Οι υψηλές αυτές τιμές παρατηρήθηκαν τόσο στις στιγμιαίες, όσο και στις σύνθετες μετρήσεις

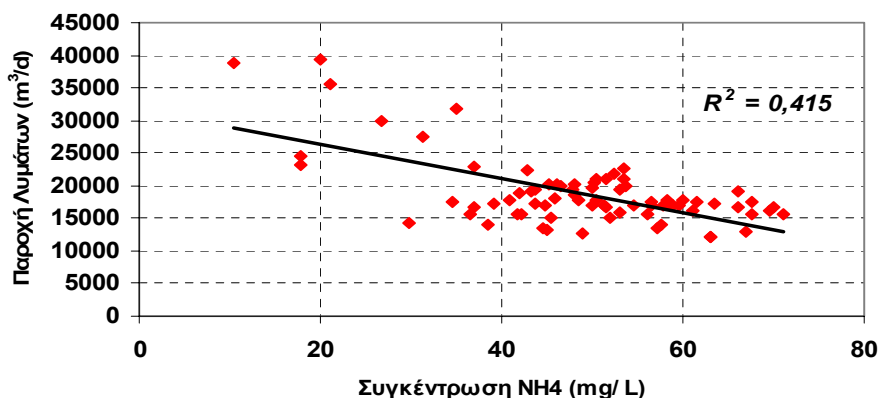
των συγκεντρώσεων ολικών αιωρούμενων στερεών και συμβαδίζουν με τις αντίστοιχες μετρήσεις πριν την αναβάθμιση της εγκατάστασης. Σημειώνεται ότι η μέτρηση γίνεται κατόντη του εξαμωτή και οι αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις αποδίδονται κυρίως στα στραγγίδια που παροχετεύονται ανάντη του εξαμωτή στο φρεάτιο εισόδου της εγκατάστασης. Όπως επισημαίνεται από τους Ανδρεαδάκης κ.α. (2002) το φορτίο στραγγιδίων για το 2002 είναι αυξημένο εξαιτίας της συνεχούς λειτουργίας των ταινιοφιλτροπρεσών και της συνεχούς τροφοδότησης των παχυντών της πρωτοβάθμιας ύλης από τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Αφαιρώντας τις τιμές συγκέντρωσης COD και NH₄ που ξεπερνούν τις τιμές 2000 mg/L και 72,5 mg/L αντίστοιχα που είτε οφείλονται σε βοθρολύματα που παροχετεύτηκαν στο δίκτυο, είτε στην χρονική σύμπτωση εισροής στραγγιδίων στο δίκτυο και στιγμιαίας μέτρησης COD (η οποία λαμβάνει χώρα κατόντη του εξαμωτή) καταλήγουμε σε μέσες τιμές συγκέντρωσης για το δείγμα ίσες με: 841,7 mg/L και 54,39 mg/L. Παρατηρούμε ότι σχεδόν ταυτίζονται οι αναμενόμενες μέσες τιμές συγκέντρωσης COD και NH₄ με τις εξαγόμενες από το δείγμα.



Σχήμα 2. 7: Διορθωμένη συσχέτιση ακαθάρτων - COD

Στο Σχήμα 2.7 παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού μεταξύ της παροχής των λυμάτων και των στιγμιαίων τιμών του COD μειώνεται μετά τη διόρθωση και από $r^2 = 0.066$ γίνεται $r^2 = 0.03$. Κατά τη διόρθωση που έλαβε χώρα αφαιρέθηκαν οι τιμές συγκέντρωσης COD που ξεπερνούσαν την τιμή 2000 mg/L. Η πλειονότητα των δειγματικών τιμών COD εμφανίζει μεγάλη διακύμανση για μικρή αντίστοιχα διακύμανση της παροχής των λυμάτων. Ακόμη εμφανίζονται τιμές όπου για σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση τιμή της παροχής η τιμή της συγκέντρωσης COD είναι μικρή. Όλα τα παραπάνω αποτελούν ενδείξεις αραιώσης των λυμάτων από παρασιτικές εισροές.



Σχήμα 2. 8: Διορθωμένη συσχέτιση παροχής ακαθάρτων - συγκέντρωσης NH₄

Στο Σχήμα 2.8 παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού για τη συσχέτιση παροχής ακαθάρτων - συγκέντρωσης NH_4 αυξάνεται μετά τη διόρθωση από 0,23 σε 0,41. Εντούτοις επισημαίνεται ότι ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης είναι αρνητικός, οπότε οι χρονοσειρές παροχής ακαθάρτων - συγκέντρωσης NH_4 έχουν σχεδόν αντίστροφη συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια επιπλέον ένδειξη εισροής ομβρίων και υπογείων υδάτων στο δίκτυο. Εντούτοις η συγκέντρωση NO_3 θα ταυτοποιούσε ως ένα βαθμό την εισροή υπογείων υδάτων στο σύστημα, καθώς σύμφωνα με έρευνες του ΙΓΜΕ, τα υπόγεια ύδατα κατά την κίνηση τους σε υπόγειους υδροφορείς εμπλουτίζονται σε NO_3 .

ΣΥΛΛΟΓΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΕΠΕΙΑΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν οι βροχομετρικοί σταθμοί της ΕΜΥ στο αεροδρόμιο των Ιωαννίνων (υδρολογική λεκάνη Λίμνης Ιωαννίνων (60)) και οι σταθμοί του ΥΠΕΧΩΔΕ Δικόρυφο (υδρολογική λεκάνη Αώου (10)) και Πεντόλακκος (υδρολογική λεκάνη Λούρου(40)). Από αυτούς οι σταθμοί του αεροδρομίου των Ιωαννίνων και το Δικόρυφο είναι εφοδιασμένοι με βροχόμετρα στα οποία γίνεται καταγραφή κάθε 24ωρο, ενώ ο σταθμός του Πεντόλακκου διαθέτει βροχογράφο, δηλαδή όργανο συνεχούς καταγραφής της σημειακής βροχόπτωσης και της κατανομής της στη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι στον βροχομετρικό σταθμό του Πεντόλακκου λάμβαναν χώρα μετρήσεις του ύψους χιονόπτωσης, δηλαδή του ύψους χιονιού που συσσωρεύτηκε κατά την περίοδο μέτρησης χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν τυχόν προηγούμενες αποθέσεις χιονιού (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ισοδύναμο ύψος χιονόπτωσης λαμβάνοντας την πυκνότητα χιονόπτωσης ρ_s ίση με $0.1^* \rho_w$.

Κριτήριο για την επιλογή των βροχομετρικών σταθμών μελέτης ήταν η εγγύτητά τους με την υπό μελέτη περιοχή, η διαθεσιμότητα των απαιτούμενων βροχομετρικών δεδομένων, καθώς και η αξιοπιστία τους. Θεωρήθηκε ότι η τοποθέτηση των βροχομετρικών σταθμών έγινε ικανοποιώντας τα κριτήρια εγκατάστασης των καταγραφικών οργάνων. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιτίας της μεθόδου καταμέτρησης των ενδείξεων των οργάνων σε αρκετούς από τους βροχομετρικούς σταθμούς της λεκάνης υπεισέρχεται σε σημαντικό βαθμό ο παράγοντας της αβεβαιότητας στις καταγραφές.

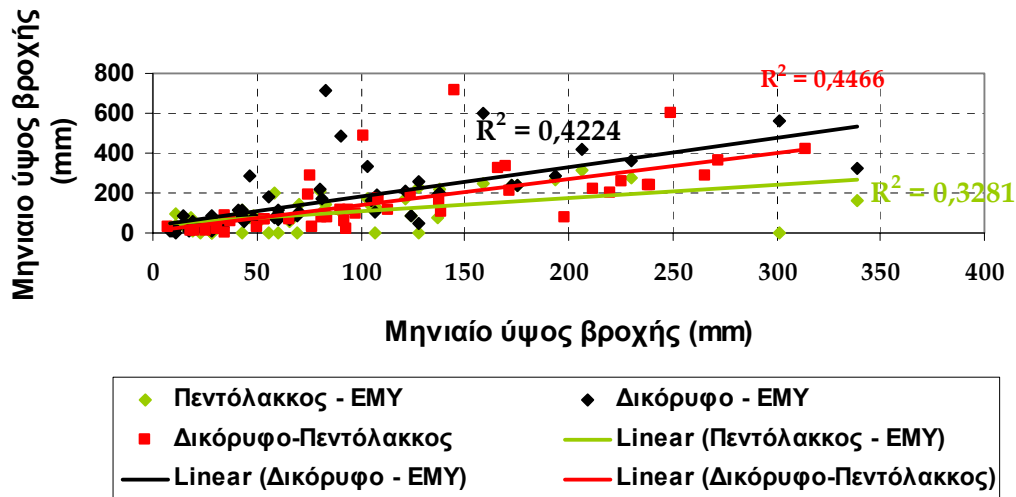
Σε μια χρονοσειρά βροχομετρικών καταγραφών είναι δυνατό να παρατηρηθούν σφάλματα είτε συστηματικά είτε σποραδικά. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται σε αρκετούς παράγοντες όπως αλλαγή στη θέση του οργάνου ή στον παρατηρητή, αντικατάσταση του οργάνου. Για τον έλεγχο συνέπειας των βροχομετρικών δεδομένων με ικανοποιητική ακρίβεια σημαντικές προϋποθέσεις είναι:

- Η κλιματική ομοιογένεια των σταθμών που συγκρίνονται. Εμπειρικά συνιστάται η επιλογή σταθμών με μικροκλιματική και τοπογραφική ομοιογένεια.
- Η ισχυρή συσχέτιση των υψών βροχής των υπό μελέτη σταθμών. Στατιστικά ελέγχεται ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των ετήσιων υψών βροχής των σταθμών ανά δύο. Ισχυρή συσχέτιση ορίζεται για $|r| \geq r_{cr}$ ή $|r| \geq 0,7$ (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Ως r_{cr} ορίζεται ο λόγος $2/\sqrt{n}$, όπου n ο αριθμός των ετών παρατήρησης των βροχομετρικών δεδομένων.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής συλλέχθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα είκοσι (20) ετών παρατηρήσεων για τους σταθμούς Δικόρυφο και Πεντόλακκο, και μόνο τέσσερα (4) χρόνια για τον σταθμό αεροδρομίου των Ιωαννίνων. Από αυτά τα τέσσερα (4) χρόνια από το 2000-2004 και για τους τρεις υπό εξέταση σταθμούς της λεκάνης αποτελούνταν από ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα, ενώ ειδικά για την διεξαγωγή του ελέγχου ομοιογένειας συλλέχθηκαν μηνιαία στοιχεία εικοσαετίας, ώστε να γίνει έλεγχος συνέπειας των σταθμών τόσο σε ετήσια βάση, όσο και σε μηνιαία. Τονίζεται ότι η συσχέτιση των μηνιαίων τιμών, αν και χρησιμοποιείται σε κάποιες περιπτώσεις, δίνει σαφέστερα ασθενέστερη συσχέτιση. Τα κριτήρια για την ισχυρή συσχέτιση δύο σταθμών συμπυκνώνονται σε $|r| \geq 0,447 = r_{cr}$ ή $0,7$. Το κριτήριο $r_{cr} = 0,7$, χρησιμοποιείται στην πράξη για $n > 8$ καθώς δίνει δυσμενέστερα αποτελέσματα, εντούτοις δε θα ήταν κατάλληλο για χρήση στο πλαίσιο της

διπλώματικής αυτής εξαιτίας της επιβεβλημένης επιλογής σταθμών απομακρυσμένων μεταξύ τους και μικροκλιματικά ανομοιογενών. (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Με βάση τα παραπάνω προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα, σημειώνοντας ότι παρατίθεται ο συντελεστής προσδιορισμού του δείγματος αντί της συσχέτισης αυτών στην επιφάνεια των διαγραμμάτων.



Σχήμα 2. 9: Συσχέτιση μηνιαίων δεδομένων ανά ζεύγη των δύο σταθμών

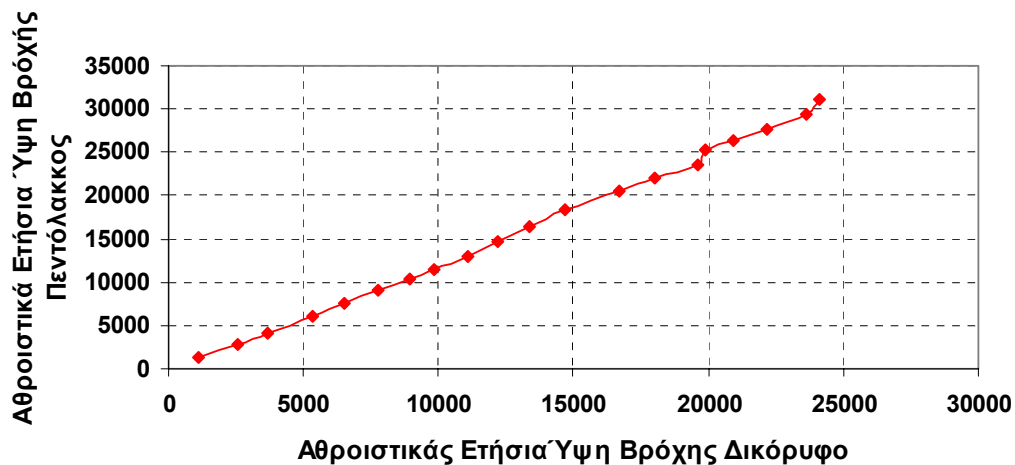
Συμπερασματικά:

- Αντί για τον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r χρησιμοποιήθηκε το r^2 , ο συντελεστής προσδιορισμού, ο οποίος είναι γενικότερος και καλύπτει και τις περιπτώσεις μη γραμμικής συσχέτισης.
- Παρατηρείται σχετικά ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ Πεντόλακκου - ΕΜΥ και Δικόρυφο - ΕΜΥ. Πρέπει να αναφέρουμε ότι και στις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις ο συντελεστής συσχέτισης είναι μικρότερος από την κρίσιμη τιμή 0,447 δεδομένου ότι επιλέχθηκε συντελεστής βαρύτητας για κάθε σταθμό ίσος με τη μονάδα.
- Στη συνέχεια εφαρμόστηκε τη μέθοδο της αθροιστικής καμπύλης για τους υπό εξέταση σταθμούς ανά δύο. Δεν ήταν δυνατό να ληφθεί ένας από τους σταθμούς ως σταθμός βάσης.

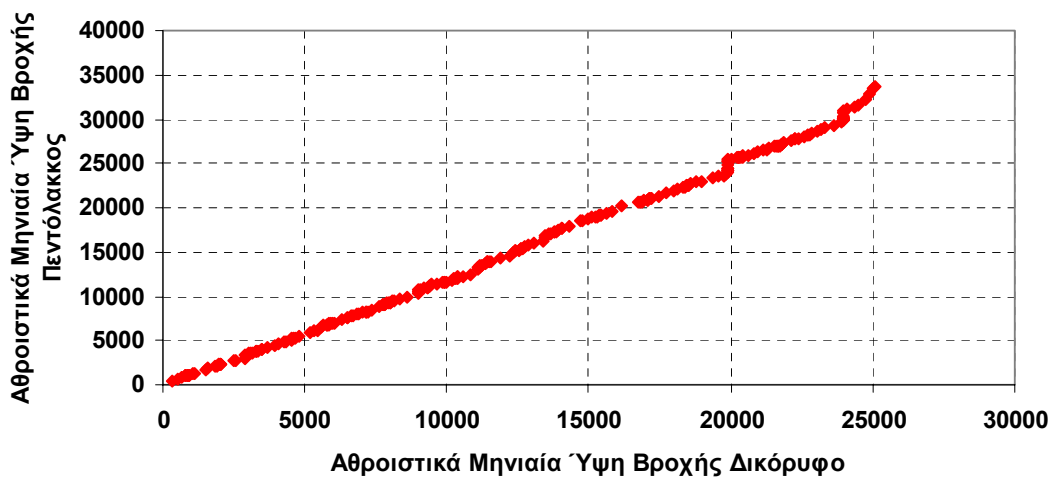
Αθροιστική Καμπύλη

Η διεξαγωγή του έλεγχου συνέπειας, δηλαδή του ελέγχου κατά πόσον το σύνολο των παρατηρήσεων προέκυψε με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως, έγινε με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης (Dingman 1994). Η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου συστήνεται να γίνεται σε ετήσια κλίμακα, καθώς για πιο πυκνά χρονικά διαστήματα, π.χ. μηνιαία, η συσχέτιση των χρονοσειρών είναι ασθενέστερη. Εντούτοις, επιχειρήθηκε εφαρμογή της μεθόδου για τις χρονοσειρές υψών βροχής των υπό εξέταση σταθμών.

Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα των διπλών αθροιστικών καμπυλών για τους βροχομετρικούς σταθμούς Δικόρυφο και Πεντόλακκος τόσο σε μηνιαία, όσο και σε ετήσια κλίμακα. Οι τεμημένες των συνημμένων διαγραμμάτων αντιστοιχούν στο αθροιστικό ύψος βροχής του σταθμού που λήφθηκε ως βάση και οι τεταγμένες στο αθροιστικό ύψος βροχής του υπό εξέταση σταθμού. Η χρονοσειρά θεωρείται συνεπής ή ομοιογενής όταν στο διάγραμμα σχηματίζεται ευθεία διερχόμενη από την αρχή των αξόνων.



Σχήμα 2. 10: Διπλή αθροιστική καμπύλη για ετήσια δεδομένα Πεντόλακκος - Δικόρυφο



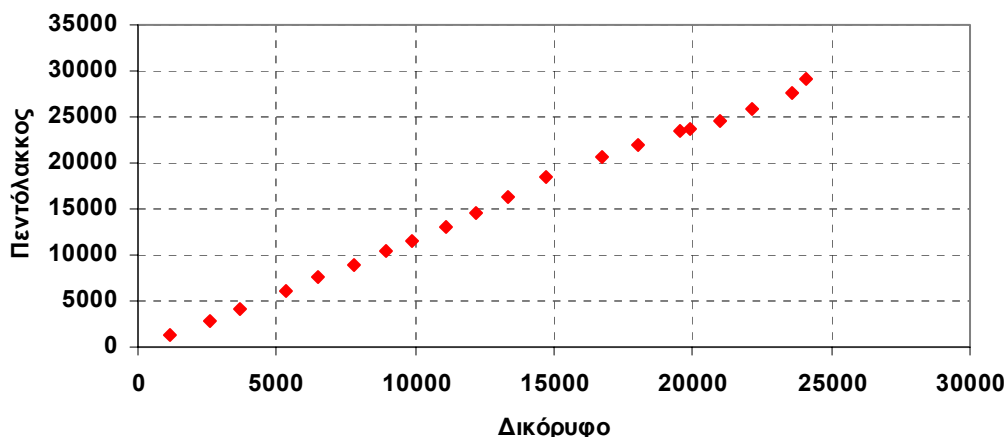
Σχήμα 2. 11: Διπλή αθροιστική καμπύλη για μηνιαία δεδομένα Πεντόλακκο- Δικόρυφο

Σημειώνεται ότι στη διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό εξέτασης τον Πεντόλακκο εμφανίζονται κοντά στις τιμές 20000 και 25000 θλάσεις στη σημειοσειρά απόρροια συστηματικής ασυνέχειας. Εκτιμήθηκε ποιοτικά από την εποπτεία των βροχομετρικών δεδομένων ότι η ασυνέχεια αφορά την περίοδο που έπεται της πρώτης θλάσης. Σημειώνεται ότι οι θλάσεις εμφανίζονται τόσο στην διπλή αθροιστική καμπύλη ετήσιων δεδομένων, όσο και στην αντίστοιχη των μηνιαίων.

Διόρθωση Ασυνέχειας

Η ασυνέχεια μιας χρονοσειράς διορθώνεται μέσω της διαδικασίας ανόρθωσης. Κατά τη διαδικασία αυτή πολλαπλασιάζονται τα δεδομένα της ασυνεπούς χρονικής με κατάλληλο συντελεστή ώστε η διπλή αθροιστική καμπύλη να παριστάνεται από συνεχή ευθεία διερχόμενη από την αρχή των αξόνων.

Ο συντελεστής αυτός ισούται με τον λόγο $\lambda = m' / m$, όπου m' : η κλίση της 'ασυνεπούς ευθείας' και m : η κλίση της 'συνεπούς ευθείας'.



Σχήμα 2. 12: Διορθωμένη διπλή αθροιστική καμπύλη για ετήσια δεδομένα Πεντόλακκος - Δικόρυφο.

ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Η σημειακή πληροφορία βροχοπτώσης αποκτά αξιοπιστία όταν αναχθεί σε πληροφορία για το σύνολο της επιφάνειας της υδρολογικής λεκάνης. Για να καταστεί αντιπροσωπευτική η σημειακή πληροφορία έγινε χρήση της μεθόδου της άμεσης ολοκλήρωσης. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου η αντιπροσωπευτική βροχοπτώση στην υπό εξέταση λεκάνη προκύπτει ως γραμμική συνάρτηση της σημειακής βροχοπτώσης των επιμέρους σταθμών πολλαπλασιασμένη με κατάλληλους συντελεστές βαρύτητας. Οι συντελεστές αυτοί τέθηκαν ως μεταβλητές απόφασης της συνάρτησης του συντελεστή συσχέτισης και κατόπιν βελτιστοποίησης προέκυψαν οι καταλληλότερες τιμές. Βασικό κριτήριο για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μεθόδου άμεσης ολοκλήρωσης είναι η πυκνότητα της κατανομής των βροχομετρικών σταθμών. Συγκεκριμένα το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών στην περιοχή των Ιωαννίνων, αλλά και γενικότερα στις περισσότερες τις υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας, είναι αραιό και δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αντιπροσωπευτικό για τη σημειακή πληροφορία σε όλο το εύρος της λεκάνης. Εντούτοις για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση των δεδομένων αυτών, έχοντας επίγνωση του σφάλματος που ενδεχομένως να υπεισέλθει. Παρολαυτά οι βελτιστοποιημένοι συντελεστές βαρύτητας, που αντιστοιχούν στον κάθε βροχομετρικό σταθμό και που υπολογίστηκαν, όπως θα παρουσιαστεί στο επόμενο εδάφιο, λαμβάνοντας υπόψιν και τα λοιπά δεδομένα για το δίκτυο των Ιωαννίνων, θεωρήθηκε (ενδεχομένως απλοσθευτικά) ότι αντισταθμίζουν το υπεισερχόμενο σφάλμα.

Η επιφανειακή βροχοπτώση δίνεται από τον τύπο:

$$h_s = \sum w_i h_i \quad , \text{όπου } i = 1, \dots, k \text{ οι επιμέρους υπό εξέταση σταθμοί.}$$

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ

Παραπάνω αναφέρθηκε μια πρώτη ποιοτική διαπίστωση σε επίπεδο δεκαήμερων διαστημάτων για την παρασιτική εισροή υδάτων στο δίκτυο των Ιωαννίνων, καθώς και ένας πρώτος διαχωρισμός αυτών σε υπόγεια και όμβρια ύδατα. Στη συνέχεια ακολουθεί στατιστική επεξεργασία και ανάλυση της αντιπροσωπευτικής βροχοπτώσης για τη λεκάνη βροχοπτώσης σε σχέση με την παροχή εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του δικτύου των Ιωαννίνων. Η συσχέτιση έγινε λαμβάνοντας διάφορες χρονικές κλίμακες για τις οποίες προέκυψε το σταθμισμένο ύψος βροχής, δηλαδή το αντιπροσωπευτικό ημερήσιο ύψος βροχής πολλαπλασιάζεται με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας για κάθε ημέρα ανάλογα με τη συμβολή της βροχοπτώσης στην παροχή των λυμάτων και κατόπιν τα ύψη βροχής προστίθενται. Οι συντελεστές βαρύτητας των ημερών υστέρησης τέθηκαν ως

μεταβλητές απόφασης του συντελεστή συσχέτισης και κατόπιν βελτιστοποίησης προέκυψαν οι καταλληλότερες τιμές.

Εξετάστηκαν χρονικές κλίμακες 1, 4, 5, 6, 7, 14, 30 ημερών. Για τα διαστήματα αυτά τέθηκε όπως προαναφέρθηκε ως αντικειμενική συνάρτηση ο συντελεστής συσχέτισης. Κατόπιν βελτιστοποίησης με χρήση εξειδικευμένου λειτουργικού (Solver) προέκυψε ότι η μέγιστη συσχέτιση εμφανίζεται στη χρονική κλίμακα των 30 ημερών και είναι ίση με 0,682. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά οι συντελεστές βαρύτητας των βροχομετρικών σταθμών και των ημερών υστέρησης για το προαναφερθέν διάστημα. Αντιστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα διαστήματα υστέρησης διάρκειας 1, 4, 5, 6, 7, 14 ημερών. Ο συντελεστής συσχέτισης για τα επιμέρους αυτά διαστήματα παρατίθεται στο ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2. 1: Συντελεστής συσχέτισης για διάφορες χρονικές κλίμακες

Ημέρες Υστέρησης	1	4	5	6	7	14
Συν/τής Συσχέτισης	0,477	0,535	0,552	0,567	0,578	0,635

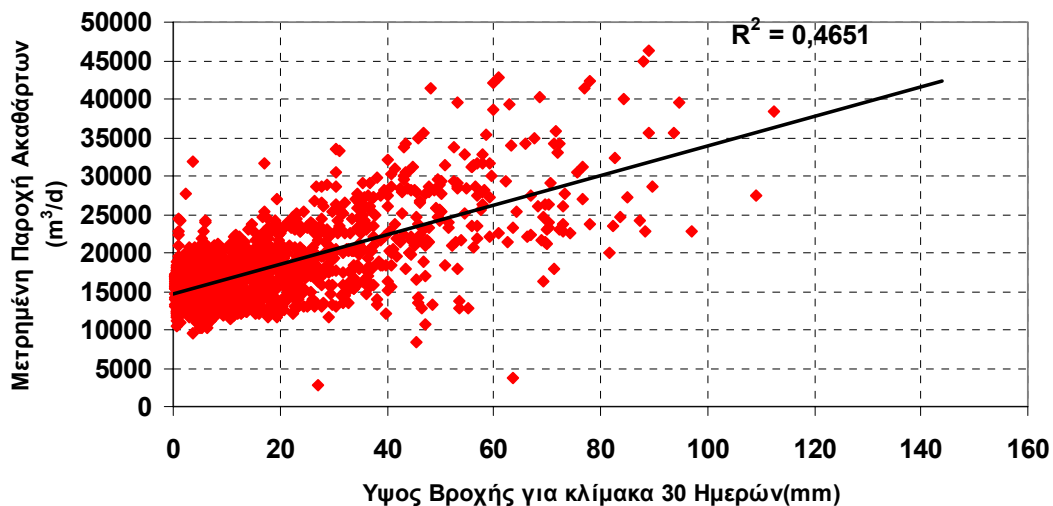
Πίνακας 2. 2: Συντελεστές βαρύτητας ημερών υστέρησης και βροχομετρικών σταθμών για χρονική κλίμακα 30 ημερών

30 Ημερες		
Αριθμών Ημερών Υστέρησης	Συν/τες Βαρύτητας	
	Ημερών Υστέρησης	Βροχομετρικών Σταθμών
1	1,000	Δικόρυφο
2	0,679	0,002
3	0,410	Πεντόλακκος
4	0,265	0,378
5	0,265	ΕΜΥ
6	0,265	0,232
7	0,265	
8	0,265	Αντικειμενική Συνάρτηση
9	0,265	
10	0,265	0,682
11	0,265	
12	0,265	
13	0,242	
14	0,210	
15	0,210	
16	0,202	
17	0,202	
18	0,202	
19	0,202	
20	0,189	
21	0,189	
22	0,189	

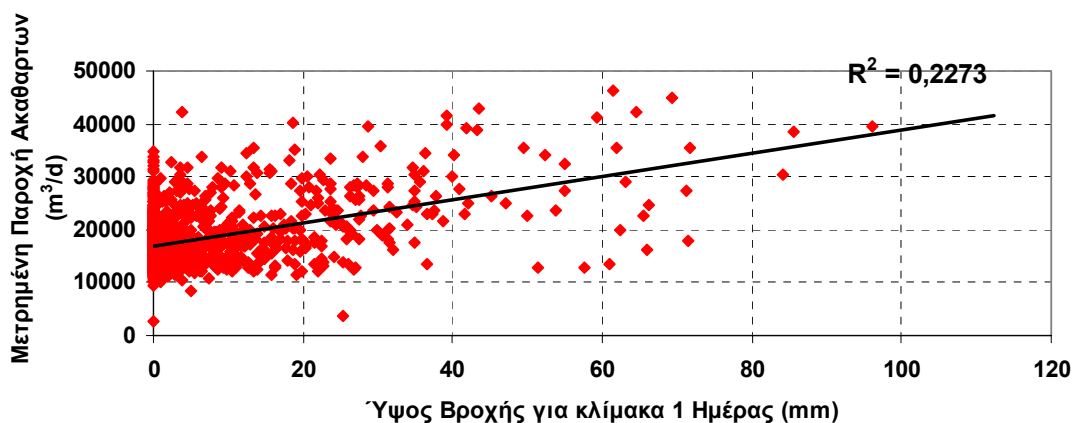
23	0,188
24	0,142
25	0,142
26	0,142
27	0,142
28	0,142
29	0,142
30	0,142
31	0,142

Συνοψίζοντας την προαναφερθείσα ανάλυση εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο συντελεστής συσχέτισης αυξάνει καθώς μεγαλώνει ο αριθμός των ημερών συσχέτισης και η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στη χρονική κλίμακα των 30 ημερών. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της μεγαλύτερης συνεισφοράς των υπογείων υδάτων στην παροχή ακαθάρτων του δικτύου των Ιωαννίνων συγκριτικά με την αντίστοιχη συνιστώσα των ομβρίων υδάτων.
- Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης προέκυψε αυξημένη για όλες τις χρονικές κλίμακες που εξετάστηκαν. Το αποτέλεσμα αυτό καταδεικνύει το μέγεθος του προβλήματος των παρασιτικών εισροών στο αποχετευτικό δίκτυο των Ιωαννίνων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ελάχιστη τιμή του συντελεστή συσχέτισης που προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων είναι 0,477 για μια ημέρα υστέρησης. Η τιμή εκφράζει στο 20 % η μεταβολή στην παροχή ακαθάρτων του δικτύου εξηγείται από τα όμβρια ύδατα.
- Στα Σχήματα 2.13 & 2.14 παρουσιάζεται η μετρημένη παροχή ακαθάρτων σε m^3/d συναρτήσει του ύψους βροχής σε mm για τις χρονικές κλίμακες 30 και μίας ημερών αντίστοιχα.



Σχήμα 2. 13: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων - Ύψους Βροχής για χρονική κλίμακα 30 ημερών



Σχήμα 2. 14: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων - Ύψους Βροχής για χρονική κλίμακα 1 ημέρας.

ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΩΣ ΔΕΙΚΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Για να εκφραστεί ποσοτικά η συμβολή των υπόγειων υδάτων θεωρήθηκε αναγκαία η συλλογή στοιχείων για τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα σε ημερήσια βάση. Αρχικά συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα των ενεργών αντλητικών γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή του δικτύου των Ιωαννίνων για το διάστημα 2002-2004. Τα δεδομένα των αντλητικών γεωτρήσεων δεν είναι ενδεικτικά της φυσικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, ενώ επιπλέον οι μετρήσεις ήταν σπορασικές και συχνά ανακριβείς. Για τους λόγους αυτούς τα δεδομένα των γεωτρήσεων θεωρήθηκαν αναξιόπιστα και δεν ελήφθησαν υπόψιν κατά τη διαδικασία ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών του δικτύου των Ιωαννίνων. Για λόγους πληρότητας στο Παράρτημα παρατίθενται οι τιμές που προέκυψαν από τις μετρήσεις των αντλητικών γεωτρήσεων.

Παρατηρώντας ότι οι υπάρχουσες μετρήσεις από τις γεωτρήσεις είναι ακατάλληλες για την διαπίστωση και την ποσοτικοποίηση της συμβολής των υπόγειων υδάτων στην παροχή των ακαθάρτων του δικτύου των Ιωαννίνων και ελλείπει άλλων πληροφοριών για τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε μια έμμεση μεθοδολογία προσδιορισμού της υπόγειας συνιστώσας. Με βάση τη λογική της μεθοδολογίας η μεταβολή στην κατάσταση των υπόγειων υδάτων αντανακλάται άμεσα στην παροχή των μεγάλων ποταμών της ευρύτερης περιοχής, οι οποίοι έχουν σημαντική συνιστώσα βασική ροής, καθώς τροφοδοτούνται από εκφορτιζόμενες πηγές. Κατά συνέπεια αυτή η ιδιότητα των ποταμών καθιστά τα ποτάμια της ευρύτερης περιοχής αξιόπιστο δείκτη όσον αφορά τη διακύμανση των υπόγειων υδάτων. Υπολογίζοντας τον συντελεστή συσχέτισης για τις χρονοσειρές παροχής ποταμών και παροχής ακαθάρτων επιβεβαιώνουμε τη μεγάλη συμβολή των υπόγειων υδάτων στη συνολική παροχή ακαθάρτων του δικτύου. Εν συνέχεια οι ποτάμιες παροχές εντάχθηκαν στο τελικό μοντέλο, όπου θα ποσοτικοποιηθούν οι παρασιτικές εισροές του δικτύου και θα αναλυθούν στις συνιστώσες τους. Τα ποτάμια που συμπεριλήφθηκαν στην προαναφερθείσα μεθοδολογία είναι ο Άραχθος, ο Αώος και ο Λούρος, που ανήκουν σε όμορες υδρολογικές λεκάνες με την υπό μελέτη λεκάνη. Οι παροχές των ποταμών μετρώνται από τη ΔΕΗ στη θέση των ταμιευτήρων του Πουρναρίου Ι (Άραχθος), του υδροηλεκτρικού του Λούρου και έμμεσα ως διαφορά παροχών μετράται η παροχή των πηγών Αώου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τα ποτάμια είναι αντίστοιχη εκείνης που παρουσιάστηκε προηγουμένως για τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα. Έγινε στατιστική επεξεργασία και ανάλυση της διορθωμένης ημερήσιας ποτάμιας παροχής σε σχέση με την παροχή εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του δικτύου των Ιωαννίνων. Η ποτάμια παροχή που συσχετίστηκε με την παροχή ακαθάρτων προέκυψε ως το σταθμισμένο άθροισμα των ημερήσιων παροχών των τριών

ποταμών, δηλαδή το άθροισμα της παροχής κάθε ποταμού πολλαπλασιασμένης επί ένα βελτιστοποιημένο συντελεστή βαρύτητας για κάθε ποτάμι. Η συσχέτιση έγινε λαμβάνοντας διάφορες χρονικές κλίμακες για τις οποίες προέκυψε η σταθμισμένη ποτάμια παροχή, δηλαδή η ημερήσια παροχή πολλαπλασιάζεται με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με τη συμβολή της παροχής στην παροχή των λυμάτων. Οι συντελεστές αυτοί τέθηκαν και πάλι ως μεταβλητές απόφασης της συνάρτησης του συντελεστή συσχέτισης και κατόπιν βελτιστοποίησης προέκυψαν οι καταλληλότερες τιμές.

Εξετάστηκαν χρονικές κλίμακες 1, 4, 5, 6, 7, 14, 30 ημερών. Για τα διαστήματα αυτά τέθηκε πάλι ως αντικειμενική συνάρτηση ο συντελεστής συσχέτισης. Κατόπιν βελτιστοποίησης με χρήση εξειδικευμένου λειτουργικού (Solver) προέκυψε ότι η μέγιστη συσχέτιση εμφανίζεται για την κλίμακα των τριάντα ημερών και είναι ίσος με 0,811, δηλαδή για το 66 % των δεδομένων η μεταβολή στην παροχή ακαθάρτων εξηγείται από τα υπόγεια νερά. Στον Πίνακα 2.6 παρατίθενται ενδεικτικά οι συντελεστές βαρύτητας των ποταμών και της χρονικής κλίμακας για τα εξεταζόμενα διαστήματα. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο συντελεστής συσχέτισης για τις παροχές των ποταμών και των ακαθάρτων για όλα τα διαστήματα διατηρείται υψηλός, πάνω από 0,75. Για την χρονική κλίμακα των 30 και 14 ημερών παρατηρείται ότι η συμβολή των πηγών Αώου είναι μηδενική, ενώ στα διαστήματα 7, 6, 5, 4 και μίας ημέρας η συμβολή τους είναι υπαρκτή, αν και μικρή. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως εξηγεί την μικρή αύξηση του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των διαστημάτων 14 και 7 ημερών.

Πίνακας 2. 3: Συντελεστής συσχέτισης και συντελεστές βαρύτητας ποταμών

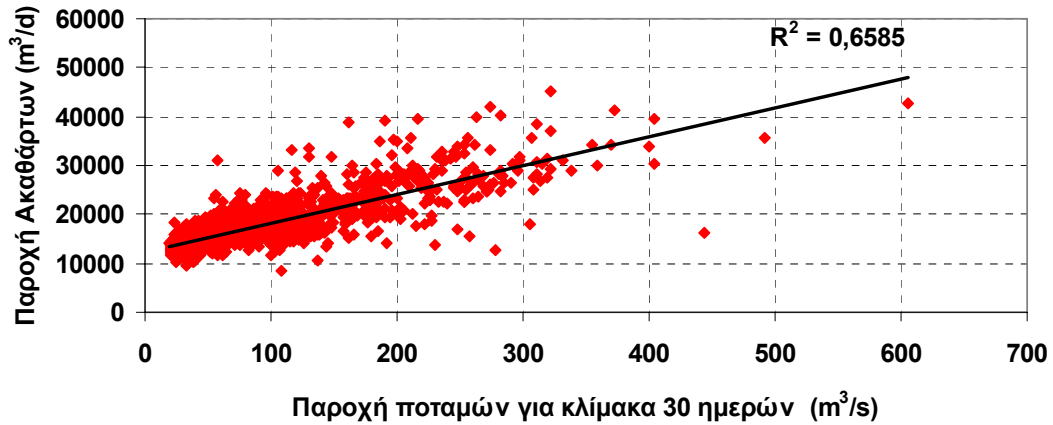
<i>Χρονική Κλίμακα</i>	<i>30 Ημέρες</i>	<i>14 Ημέρες</i>	<i>7 Ημέρες</i>	<i>6 Ημέρες</i>	<i>5 Ημέρες</i>	<i>4 Ημέρες</i>	<i>1 Ημέρες</i>
<i>Συντελεστές Βαρύτητας Παροχών Ποταμών</i>							
<i>Αώος</i>	0,000	0,000	0,008	0,017	0,018	0,018	0,011
<i>Αραχθος</i>	0,477	0,196	0,112	0,103	0,094	0,086	0,071
<i>Λούρος</i>	0,992	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Συσχέτιση Παροχών Ποταμών- Παροχών Ακαθάρτων</i>	0,811	0,767	0,785	0,784	0,782	0,781	0,777

Συνοψίζοντας την προαναφερθείσα ανάλυση εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

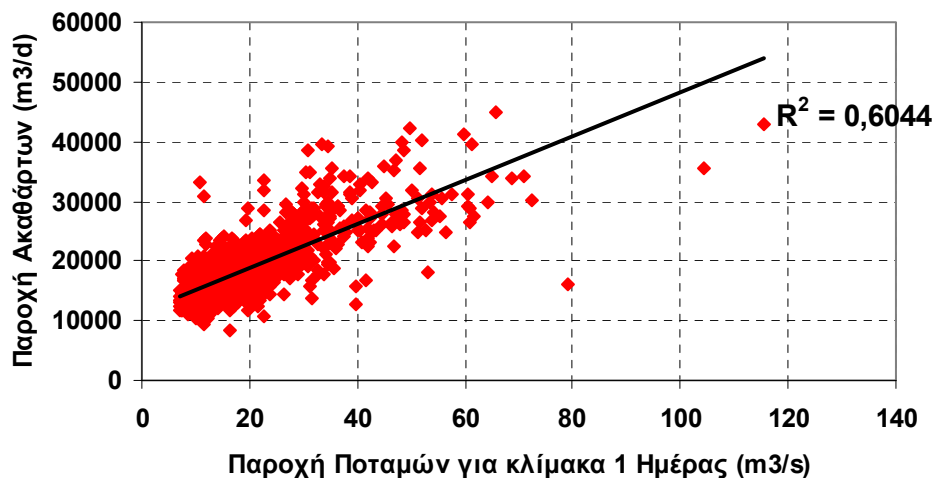
- Το γεγονός ότι ο συντελεστής συσχέτισης για όλα τα διαστήματα υστέρησης που εξετάστηκαν παραμένει σταθερά μεγαλύτερος του 0,75, δηλαδή για 56 % της ημερήσιας παροχής ακαθάρτων οι μεταβολές εξηγούνται από τα υπόγεια νερά. Η σημαντική συσχέτιση επιβεβαιώνει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό της υπόγειας συνιστώσας των ακαθάρτων.
- Ακόμη σε όλα τα διαστήματα υστέρησης η συμβολή του Λούρου στη διαμόρφωση της σταθμισμένης ποτάμιας παροχής και κατά συνέπεια και της παροχής ακαθάρτων του δικτύου των Ιωαννίνων είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του Αράχθου και του Αώου. Το γεγονός αυτό είναι εμφανές συγκρίνοντας τον συντελεστή βαρύτητας για τον Λούρο ποταμό με τους αντίστοιχους των άλλων δύο υπό εξέταση ποταμών.
- Για την χρονική κλίμακα των 14 και 30 ημερών ο συντελεστής βαρύτητας των πηγών Αώου είναι μηδενικός, ενώ στα επόμενα διαστήματα ο συντελεστής αν και μικρός, είναι μη μηδενικός.

- Επιπροσθέτως ο συντελεστής βαρύτητας του Αράχθου μειώνεται κατά τη μείωση της διάρκειας της χρονικής κλίμακας. Κατά συνέπεια μειώνεται η συμβολή των παροχών του ποταμού στην εξήγηση των συμπεριφορών των παροχών ακαθάρτων του δικτύου.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μετρημένη παροχή ακαθάρτων σε m^3/d συναρτήσει της σταθμισμένης παροχής των ποταμών σε m^3/s για χρονική κλίμακα 30 και μία ημερών αντίστοιχα:



Σχήμα 2. 15: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων -Παροχής ποταμών για κλίμακα 30 ημερών



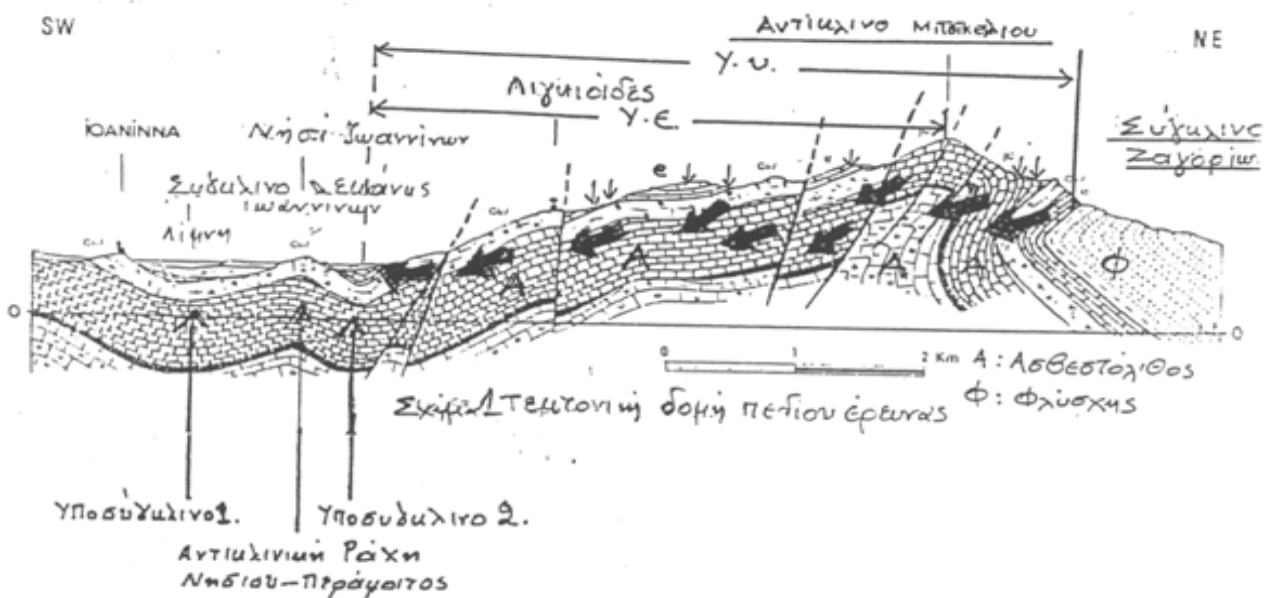
Σχήμα 2. 16: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων - Ύψους Βροχής για κλίμακα 1 ημέρας

ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Η υδροδότηση της ευρύτερης περιοχής των Ιωαννίνων γίνεται από τις πηγές της Κρύας που βρίσκονται 9 km βορειοδυτικά της πόλης. Στην εκδήλωση των πηγών της Κρύας καθοριστική είναι αφενός η συμβολή των ρηγμάτων και αφετέρου η υδροπερατότητα των σχηματισμών της περιοχής. Τα ρήγματα επιφέρουν ρήξη στην συνοχή των ασβεστολίθων, συντριβή και λατυποποίηση με αποτέλεσμα να αυξάνεται η περατότητα του πετρώματος. Επιπροσθέτως οι σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή της κοινότητας Κρύας έχουν την ακόλουθη συμπεριφορά ως προς την υδροπερατότητα:

- Ασβεστόλιθοι ιουρασικού: πολύ καρστικοί με μεγάλο συντελεστή κατεισδυσης (δεν απαντώνται στην περιοχή των πηγών της Κρύας)
- Σχιστόλιθοι ιουρασικού: αδιαπέρος σχηματισμός, καθοδηγούν την κίνηση των υπογείων νερών (δεν απαντώνται στην περιοχή των πηγών της Κρύας)
- Ασβεστόλιθοι βίγλα: ημιπερατός σχηματισμός
- Ασβεστόλιθοι Σενωνίου: πολύ καρστικοί και υδροπερατοί (απαντώνται πάνω από τις πηγές της Κρύας)
- Ασβεστόλιθοι παλαιγενούς: υδροπερατοί με μεγάλο συντελεστή κατεισδυσης
- Φλύσχη: αδιαπέρατος σχηματισμός (δεν απαντώνται στην περιοχή των πηγών της Κρύας)
- Παλαιά κορήματα και κώνοι κορημάτων: υδροπερατοί σχηματισμοί που προκαλούν ομογενοποίηση της ροής του νερού που προέρχεται από τους καρστικούς ασβεστόλιθους.
- Αποθέσεις της λεκάνης των Ιωαννίνων: αδιαπέρατο στρώμα, κυρίως λόγω της αργλικής τους σύστασης.
- Τύρφη και αμμούχο λάσπη: εμπεριέχονται στο στρώμα των αποθέσεων των Ιωαννίνων και επιτρέπουν την ροή του νερού.

Συνοψίζοντας η κίνηση των υπογείων υδάτων γίνεται μεταξύ των αδιαπέρατων στρωμάτων του φλύσχη και των αποθέσεων της λεκάνης. Από τα υδρογεωλογικά δεδομένα της περιοχής εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο υδροφόρος ορίζοντας είναι υπό πίεση. Ο φλύσχη εμφανίζεται σε υψόμετρο 1000 – 1100 m στις βόρειο ανατολικές παρυφές του Μιτσικελίου, ενώ οι αποθέσεις της λεκάνης σε υψόμετρο 470 m προς τα νοτιοδυτικά. Συνεπώς η κίνηση των υπογείων και των κατεισδύοντων υδάτων γίνεται από μέσα από το στρώμα ασβεστολίθου προς τη λεκάνη των Ιωαννίνων. Η κίνηση συνεχίζεται προς αυτήν την κατεύθυνση έως την περιοχή των πηγών της Κρύας, όπου συναντώνται αδιαπέρατοι σχηματισμοί όπως μη καρστικοί ασβεστόλιθοι ή το στρώμα ασβεστολίθων της Βίγλας. Οι πηγές στην περιοχή της Κρύας αποτελούν την επιφανειακή εκδήλωση της συγκέντρωσης των υπογείων υδάτων προερχόμενων κυρίως από το όρος Μιτσικέλι. (ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ Ιωαννίνων & ΙΓΜΕ)

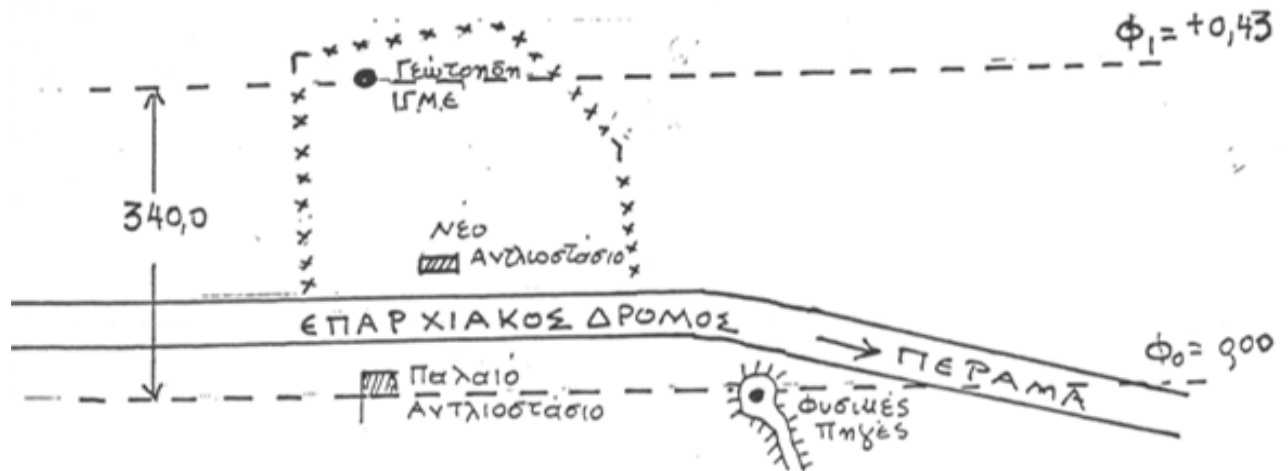


Πηγή: Προστασία Υπογείων Υδάτων Πηγών Κρύας Ιωαννίνων, ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ 1988

Σχήμα 2. 17: Γεωλογική τομή Μιτσικελίου

Αρχικά η ύδρευση γινόταν από δύο πηγάδια ανάντη και κατόντη του δημόσιου δρόμου. Στη συνέχεια ανοίχθηκαν δύο γεωτρήσεις επίσης ανάντη και κατόντη του δρόμου, ενώ το 1979 ανοίχθηκε και μια τρίτη γεωτρήση από την ΥΕΒ Ηπείρου ανάντη του δρόμου από την οποία σήμερα αντλούνται 280 m³/h. Το 1985 -86 ανοίχθηκε από το ΙΓΜΕ στο βόρειο άκρο των εγκαταστάσεων, η οποία

λειτουργούσε πειραματικά κατά περιόδους και έδινε 170 m³/h. Κατά το 1988 ανοίχθηκε και εφεδρική γεώτρηση στο χώρο του αντλιοστασίου ανάντη του δρόμου. Συνοψίζοντας σήμερα για την υδροδότηση της πόλης των Ιωαννίνων λειτουργούν δύο πηγάδια, μία γεώτρηση κατάντη του δημόσιου δρόμου και η γεώτρηση του ΥΕΒ ανάντη του δρόμου. Συνολικά αντλούνται 1000 m³/h, που αποτελεί την παροχή σχεδιασμού του δικτύου ύδρευσης σύμφωνα με την μελέτη του 1974. Με την αύξηση του πληθυσμού της πόλης η ίδια μελέτη προβλέπει ότι το 1993 η απαιτούμενη παροχή για την ύδρευση της πόλης είναι 1250- 1600 m³/h. Σημειώνεται ότι η γεώτρηση που λειτουργεί στον χώρο του αντλιοστασίου κατάντη του δρόμου έχει διάτρησει αρχικά 4-5m αργίλου ανακατεμένη με άμμο, έως τα 27m συναντά κορήματα και στη συνέχεια βρέθηκε σε ασβεστολιθικά στρώματα τα οποία εκτείνονται έως τα 60m. Όσον αφορά τη γεώτρηση του Υ.Ε.Β. η οποία βρίσκεται ανάντη του δημόσιου δρόμου δε συναντήθηκαν οι αποθέσεις των Ιωαννίνων, εντούτοις συναντώνται κώνοι κορημάτων και χαλίκων ασβεστολιθικής σύστασης.

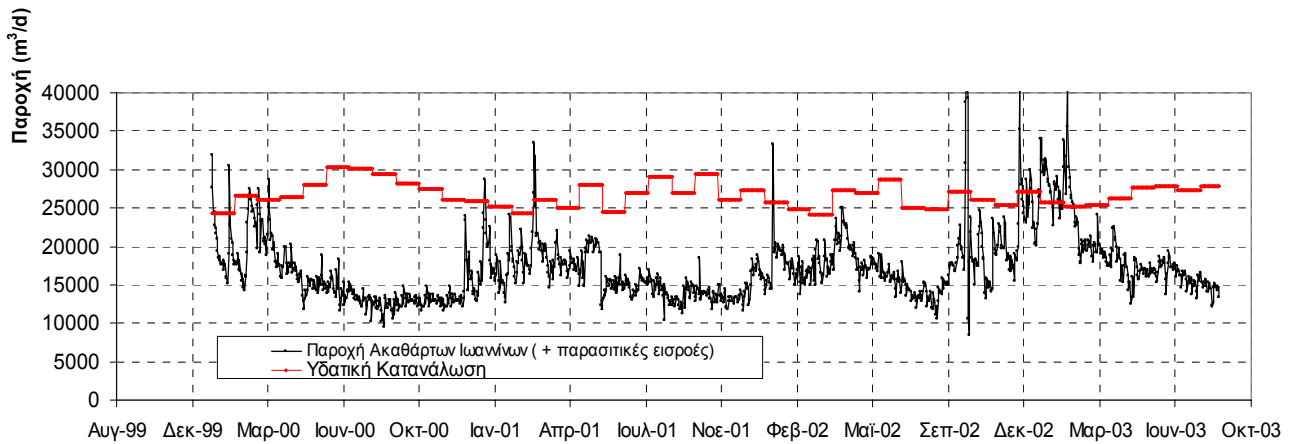


Σχήμα 2. 18: Σκαρίφημα της περιοχής των γεωτρήσεων και του αντλιοστασίου, όπου φαίνεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετρημένη σε δύο θέσεις.

Στο Σχήμα 2.18 φαίνεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, όπως μετρήθηκε με γεωμετρική χωροστάθμιση σε δύο σημεία. Από τα δύο αυτά σημεία ποιοτικά εκτιμούμε την κλίση του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή των πηγών της Κρύας, η οποία ισούται με $i = \Delta H / L$, όπου προσεγγιστικά $\Delta H = \Phi_1 - \Phi_0 = 0,43 - 0,00 = 0,43$ και $L = 340$, δηλαδή $i = 0,00126$. Σημειώνεται ότι η ακρίβεια αυτής της προσέγγισης είναι μικρή, καθώς βασίζεται στη μέτρηση μόνο του πιεζομετρικού φορτίου του μόνο δύο σημείων. (ΕΛΚΕΠΑ 1988)

Για την υδατική κατανάλωση έγινε χρήση της μέσης ημερήσιας τιμής κατανάλωσης, όπως αυτή προέκυψε από τους πίνακες άντλησης ανά μήνα από το αντλιοστάσιο της Κρύας, προκειμένου για τους υπολογισμούς κατά τη σύνταξη του μοντέλου. Οι τιμές της υδατικής κατανάλωσης, προέρχονται από την ΔΕΥΑ Ιωαννίνων (προσωπική επικοινωνία). Η υδατική κατανάλωση δόθηκε σε m³ αντλούμενου νερού από το αντλιοστάσιο της Κρύας και αναφέρεται σε μηνιαία βάση για το διάστημα αναφοράς από τον Ιανουάριο 2000 έως Σεπτέμβριο 2003. Στη συνέχεια η υδατική κατανάλωση ανάχθηκε ανά ημέρα με την παραδοχή ίσοκατανομής της υδατικής κατανάλωσης σε όλες τις ημέρες κάθε μήνα.

Στο Σχήμα 2.19 παριστάνονται από κοινού η υδατική κατανάλωση και η παροχή ακαθάρτων σε ημερήσια βάση για το υπό εξέταση διάστημα από 01/2000 έως 09/2003.



Σχήμα 2. 19: Συγκριτικό διάγραμμα παροχής ακαθάρτων και υδατικής κατανάλωσης

ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ-ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ.

Για τη σύνταξη ενός γενικού και αξιόπιστου μοντέλου εκτίμησης και ποσοτικοποίησης πρέπει να συνυπολογιστούν οι συνιστώσες του δικτύου που επηρεάζουν τη διαμόρφωση της παροχής των παρασιτικών εισροών. Αναλυτικά οι συνιστώσες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό είναι:

- Βροχόπτωση για τη χρονική κλίμακα μιας ημέρας,
- η υδατική κατανάλωση ανηγμένη σε ημερήσια βάση, και
- η παροχή ποταμών για χρονική κλίμακα τριάντα ημερών

Για τη σύνταξη του μοντέλου εκτίμησης και ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών είναι απαραίτητο όλα τα μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου να έχουν τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και αξιοπιστία. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού γίνεται κανονικοποίηση των συλλεχθέντων δεδομένων, δηλαδή ανάγωγή των τιμών της χρονοσειράς ως προς τον μέση τιμή αυτής. Στη συνέχεια για την εξαγωγή του μοντέλου γίνεται επεξεργασία των κανονικοποιημένων τιμών των μεγεθών.

Αρχικά επιχειρήθηκε για τη σύνταξη του μοντέλου η χρήση των εξαγχθέντων αποτελεσμάτων από το μοντέλο BEMERMHN για τη μετατροπή της βροχόπτωσης της λεκάνης των Ιωαννίνων σε απορροή. Το μαθηματικό μοντέλο BEMERMHN (YBET, IΓME & DELFT HYDRAULICS) έχει χρησιμοποιηθεί σε πιλοτικές μελέτες διαχείρισης των λεκανών Λούρου, Αράχθου και του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου. Το μοντέλο αυτό προσομοιώνει την λειτουργία μιας υδρολογικής λεκάνης και μετασχηματίζει τη βροχόπτωση σε παροχή. Η λειτουργία του μοντέλου βασίζεται στην αντιστοιχία της δομής του μοντέλου με τη δομή και τη λειτουργία της εκάστοτε υδρολογικής λεκάνης. Εντούτοις η μεθοδολογία του προαναφερθέντος μοντέλου είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένη και δεν ενδείκνυται για την παραγωγή ενός γενικού μοντέλου εκτίμησης και ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών με ευρεία εφαρμογή.

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε να γίνει συσχέτιση της υδατικής κατανάλωσης με την παροχή λυμάτων. Ως γνωστόν η παροχή των λυμάτων δύναται να εκτιμηθεί ως ποσοστό της υδατικής κατανάλωσης. Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (ΠΔ 696, 1974) και την ΕΥΔΑΠ (1985) το ποσοστό ορίζεται ως το 60 έως 80 / 85 % της υδατικής κατανάλωσης ανάλογα με της τοπικές συνθήκες, τον πληθυσμό και τον χαρακτήρα της περιοχής (αστικός, αγροτικός, τουριστικός, κλπ). Με βάση τα παραπάνω για την σύνταξη του μοντέλου επιχειρήθηκε αρχικά η καθαρή παροχή των λυμάτων (χωρίς τη συνιστώσα των παρασιτικών εισροών) να εκτιμηθεί ως το γινόμενο της υδατικής επί έναν ποσοστιαίο συντελεστή ο οποίος θα κυμαίνεται από 60 έως 85 %. Ο συντελεστής αυτός αρχικά ορίστηκε σε ημερήσια βάση και στη συνέχεια έγινε βελτιστοποίηση αυτού με χρήση της λειτουργικής εφαρμογής Solver. Το μοντέλο που προέκυψε αποτελούσε εξειδικευμένη εφαρμογή και

δε ικανοποιούσε την αρχή της γενικότητας, καθώς προϋπέθετε ημερήσια μεταβολή του συντελεστή συμβολής της υδατικής κατανάλωσης. Με κριτήριο τη γενικότητα του υπό κατασκευή μοντέλου τέθηκαν μηνιαία συντελεστές συμβολής της υδατικής κατανάλωσης. Οι συντελεστές που προέκυψαν κατόπιν βελτιστοποίησης και ο συντελεστής συσχέτισης της υπολογισθείσας παροχής λυμάτων (υδατική κατανάλωση * α %) με την μετρημένη παροχή ακαθάρτων στην έξοδο της εγκατάστασης ήταν ικανοποιητικοί και καταδείκνυαν την αξιοπιστία της μεθοδολογίας. Παρολαυτά, προτιμήθηκε η σύνταξη του μοντέλου να θεμελιωθεί σε μαθηματικές εξισώσεις με βάση τη γραμμική ή μη γραμμική παλινδρόμηση, ώστε να υπολογιστούν ποσοτικά οι επιμέρους συνιστώσες της παροχής ακαθάρτων, δηλαδή και παρασιτικών εισροών.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Αρχικά έγινε η σύνταξη μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή ενός μοντέλου της μορφής

$$Q = a + f Y + b \Pi + d B + E \quad (1)$$

όπου:

Q: κανονικοποιημένη παροχή ακαθάρτων

a, b, c, d, e, f, h: συν/τές από μοντέλο

Π: κανονικοποιημένη παροχή ποταμών για 30 ημέρες υστέρησης

B: κανονικοποιημένο ύψος βροχής για μία ημέρα υστέρησης

E: κανονικοποιημένη πρόσθετη συνιστώσα ομβρίων (από φιλτράρισμα χρονοσειρών)

Y: κανονικοποιημένη υδατική κατανάλωση

Αναλυτικά οι συνιστώσες του μοντέλου θεωρήθηκε ότι εκφράζονται:

- $a + f*Y$: παροχή λυμάτων
- $b*\Pi$: εισροή υπογείων υδάτων
- $d*B + E$: εισροή ομβρίων υδάτων

Το μοντέλο αναλύθηκε αρχικά σε υπερετήσια και σε τετραμηνιαία βάση για όλο το υπό εξέταση διάστημα 2000-2003. Στόχος της τετραμηνιαίας ανάλυσης είναι η δημιουργία μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης με μεταβαλλόμενες συνιστώσες ανά τετράμηνο, όπου είναι εμφανής η μεταβολή των συντελεστών ανάλογα με μεταβολή της στάθμης των υπογείων νερών και του ύψους βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του έτους. Τα δεδομένα εισόδου προήλθαν από το μέσο όρο των κανονικοποιημένων χρονοσειρών από το αντίστοιχο τετράμηνο κάθε έτους. Κατά αντιστοιχία η υπερετήσια κλίμακα οδηγεί στη σύνταξη γενικότερου μοντέλου με ενιαίους συντελεστές καθόλη τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου 2000-2003. Τα δεδομένα εισόδου είναι οι κανονικοποιημένες ημερήσιες τιμές των χρονοσειρών για όλο το διάστημα Ιανουάριος 2000 έως Σεπτέμβριος 2003. Κατά τη σύνταξη του μοντέλου έγινε φιλτράρισμα των αιχμών της παροχής ακαθάρτων, δεδομένου ότι είναι εκ των προτέρων ότι οι κορυφές των ακαθάρτων οφείλονται σε εισροή ομβρίων υδάτων στο δίκτυο. Ως αιχμές των ακαθάρτων ορίστηκαν οι κανονικοποιημένες τιμές της χρονοσειράς που ξεπερνούν το 1,3 ή την μη κανονικοποιημένη τιμή 22336 m³/d. Η τιμή αυτή εκτιμήθηκε κατόπιν βελτιστοποίησης οπότε υπολογίστηκε ότι μέγιστη συσχέτιση ανάμεσα στη χρονοσειρά του ύψους βροχής για χρονική κλίμακα μίας ημέρας και των κορυφών της παροχής ακαθάρτων. Η μέγιστη συσχέτιση προέκυψε για την τιμή 1,2 και ήταν ίση με 0,465. Στη συνέχεια για λόγους ασφαλείας έγινε προσαύξηση κατά 10% και η τιμή ορίστηκε στο 1,3 με συντελεστή συσχέτισης 0,46, οποίος κρίθηκε ικανοποιητικός.

Οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε ανάλυση με βάση το γραμμικό μοντέλο παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.7, 2.8, 2.9 και 2.10.

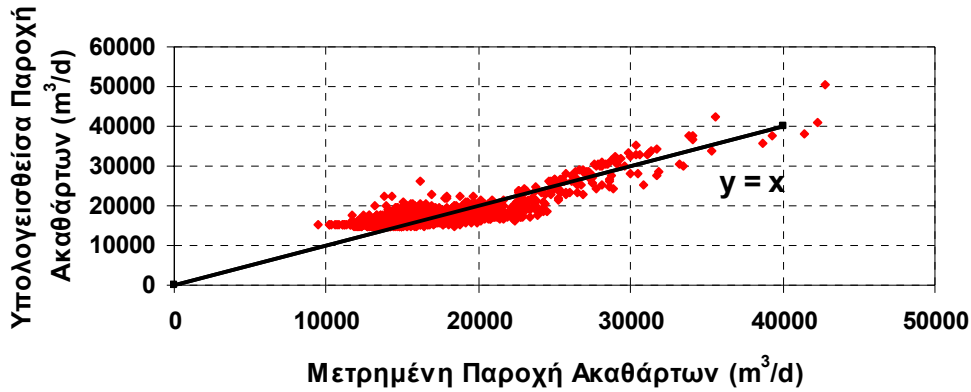
Πίνακας 2. 4: Οι συντελεστές του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για την υπερετήσια ανάλυση χωρίς να ληφθεί υπόψη η πρόσθετη συνιστώσα ομβρίων

ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Ομβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,156	0,008	0,000	0,809
Συν/της Προσδιορισμού	Συσχέτιση r		
0,491	0,7		

Το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε από την υπερετήσια ανάλυση δίνει συσχέτιση 0,7, δηλαδή οι χρονοσειρές εισόδου ικανοποιούν το συνταχθέν μοντέλο στο 50% των τιμών τους. Για την ποσοτικοποίηση των παρασιτικών εισροών συνυπολογίζονται οι συνιστώσες που προέκυψαν από το μοντέλο καθώς και η πρόσθετη συνιστώσα που εκφράζει τις αιχμές της παροχής ακαθάρτων. Ο συντελεστής συσχέτισης προσαυξάνεται κατόπιν του συνυπολογισμού των πρόσθετων εισροών και ισούται με 0,8558 ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού 0,7324. Ακόμη από το μοντέλο προέκυψε το 83% της παροχής των ακαθάρτων αποτελούν τα λύματα, 16 % τα υπόγεια ύδατα και το 0,8 % τα όμβρια. Κατά τη σύνταξη του γραμμικού μοντέλου σε υπερετήσια βάση έγινε η παραδοχή ότι η πρόσθετη αυτή συνιστώσα προέρχεται ολοκληρωτικά από τα όμβρια. Η παραδοχή αυτή εντούτοις δεν είναι ακριβής καθώς δημιουργώντας ένα γραμμικό υπομοντέλο για τις αιχμές της παροχής ακαθάρτων προέκυψε ότι η συμβολή των ομβρίων σε αυτήν είναι 87% για συντελεστή γραμμικής συσχέτισης 0,46.

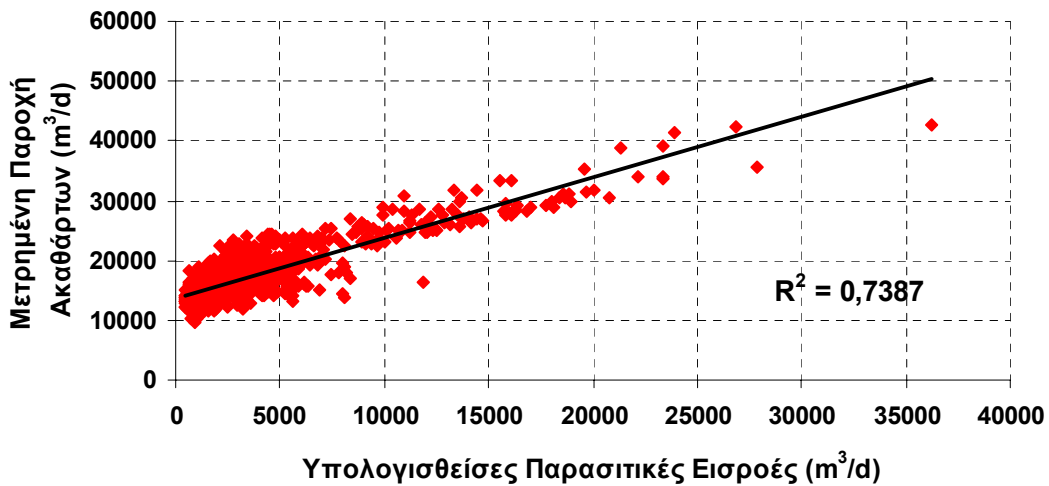
Κατά την πορεία διαμόρφωσης του μοντέλου για να ελεγχθεί η στοχαστική ή μη σχέση που διαμορφώθηκε ανάμεσα στην παροχή ακαθάρτων του δικτύου (ανεξάρτητη μεταβλητή) και στις παροχές ποταμών και όμβριων για τη λεκάνη έγινε χρήση της κατανομής F. Με τη βοήθεια του προγράμματος EXCEL προσδιορίστηκαν η τιμή που προκύπτει από την κατανομή F για $p = 0.95$ ίση με 642,5 καθώς και οι βαθμοί ελευθερίας που βρέθηκαν 1330. Οι βαθμοί ελευθερίας που προσδιορίστηκαν με αυτόν τον τρόπο αποτελούν συνδυασμό των στατιστικών συμβόλων v_1 και v_2 . Στο σημείο αυτό λαμβάνει χώρα ο δεύτερος έλεγχος για την καταλληλότητα του μοντέλου που εκφράζεται στην εξίσωση (1). Για να ελέγχθη η αξιοπιστία των τιμών που προκύπτουν από την κατανομή F για $p = 0.95$ υπολογίστηκε η κρίσιμη τιμή της κατανομής F για τις χρονοσειρές (στατιστικά δείγματα) από τους πίνακες της κατανομής F για $v_1 = 2$ (αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου) και $v_2 = n + (k + 1)$, όπου n το μέγεθος των υπό εξέταση δειγμάτων που στην παρούσα εργασία είναι ίδιο και για τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (χρονοσειρές). Έτσι προέκυψε ότι η κρίσιμη τιμή της F ίση με 2,60. Η τιμή αυτή είναι σαφέστατα μικρότερη από υπολογισθείσα από μοντέλο τιμή, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία του μοντέλου. (Spiegel, & Hayslett 1971)

Στο Σχήμα 2.20 παριστάνεται η αξιοπιστία του μοντέλου με τη μορφή της συσχέτισης της υπολογισθείσας παροχής ακαθάρτων και της μετρημένης παροχής ακαθάρτων ως προς την ευθεία $y = x$:

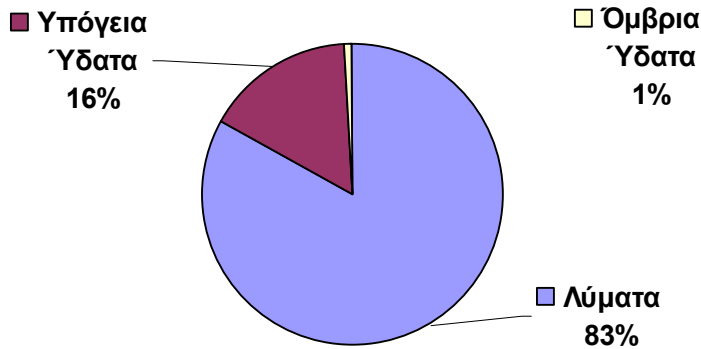


Σχήμα 2. 20: Συσχέτιση υπολογισθείσας - μετρημένης παροχής ακαθάρτων

Ακολούθως άλλο ένα κριτήριο της αξιοπιστίας του μοντέλου αποτελεί η γραμμική συσχέτιση των υπολογισθεισών παρασιτικών εισροών με την μετρημένη παροχή ακαθάρτων στην έξοδο της εγκατάστασης, όπως σημειώνεται και στο διάγραμμα ο συντελεστής προσδιορισμού (r^2) ισούται με 0,7324 , που αντιστοιχεί σε συσχέτιση (r) ίση προς 0,8558. Ο συντελεστής συσχέτισης που προκύπτει είναι ιδιαίτερα υψηλός γεγονός που επιβεβαιώνει την αξιοπιστία του συνταχθέντος γραμμικού μοντέλου.

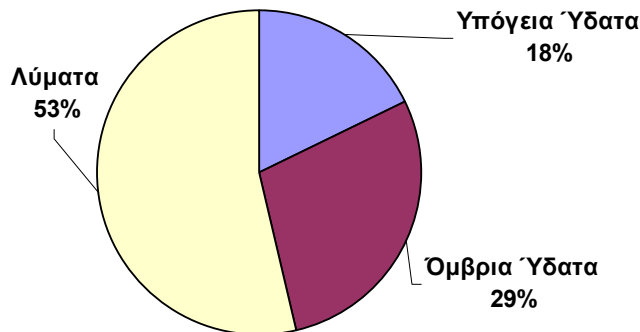


Σχήμα 2. 21: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων - υπολογισθεισών παρασιτικών εισροών



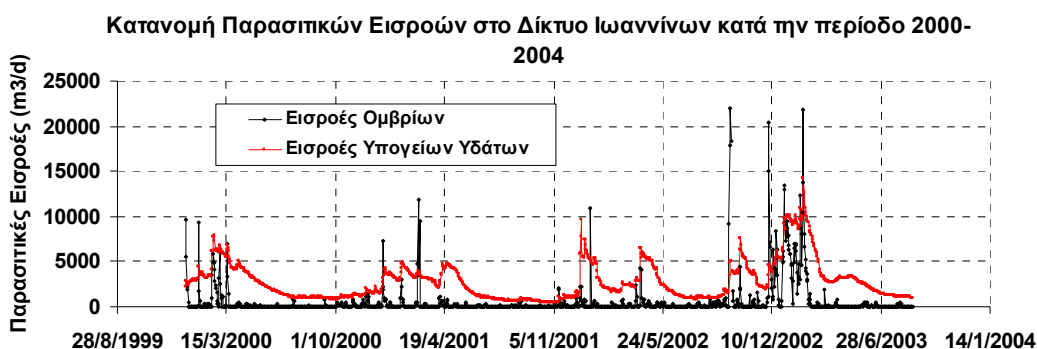
Σχήμα 2. 22: Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα

Το Σχήμα 2.22 προέκυψε από τη μέση τιμή των συνιστωσών της παροχής ακαθάρτων, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το μοντέλο. Σημειώνεται ότι η συσχέτιση της υπολογισθείσας και της μετρημένης παροχής ακαθάρτων ισούται με 0,8558. Ακόμη από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται φανερό ότι η μέση τιμή των εισροών είναι 17% της μέση παροχή ακαθάρτων ή 2921 m³/d. Για την περίοδο που εμφανίζεται το μέγιστο 5 % της παροχής ακαθάρτων προκύπτει ότι το 47% της παροχής ακαθάρτων προέρχεται από παρασιτικές εισροές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.23.



Σχήμα 2. 23: Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων την περίοδο που εμφανίζεται το μέγιστο 5 % των τιμών της παροχής ακαθάρτων

Εναν ποιοτικός έλεγχος της επίδοσης του μοντέλου αποτελεί η κατανομή των παρασιτικών εισροών στο χρόνο, καθώς επιβεβαιώνει τις αρχικές ποιοτικές εκτιμήσεις και καταδεικνύει την πραγματική προέλευση των παρασιτικών εισροών. Έτσι και σύμφωνα με το Σχήμα 2.24 παρατηρείται αύξηση της εισροής υπογείων υδάτων κατά τους εαρινούς μήνες, οπότε και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλή με μέγιστη τιμή τις 10000 ή 15000 m³/d, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η εισροή υπογείων υδάτων μειώνεται σημαντικά. Αντίστοιχα η εισροή όμβριων υδάτων εμφανίζει αιχμές μετά από έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες όπως φαίνεται και στο γράφημα εμφανίζονται ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες με μέγιστη τιμή 22000 m³/d. Αντίθετα το καλοκαίρι η συμβολή των ομβρίων στην παροχή ακαθάρτων πρακτικά μηδενίζεται.



Σχήμα 2. 24: Κατανομή παρασιτικών εισροών για το διάστημα 2000-2004

Από το γραμμικό μοντέλο και σύμφωνα με την τετραμηνιαία ανάλυση υπολογίστηκαν οι συντελεστές για τις συνιστώσες των ακαθάρτων ξεχωριστά για κάθε τετράμηνο. Η διαφοροποίηση αυτή των συντελεστών ανά τετράμηνο μελέτης αποτελεί ταυτόχρονα το πλεονέκτημα και το μειονέκτημα της τετραμηνιαίας ανάλυσης, καθώς διαφαίνεται η μεταβολή των συντελεστών και κατά συνέπεια των παρασιτικών εισροών μέσα στο ημερολογιακό έτος, αλλά ταυτόχρονα βλάπτει την γενικότητα του μοντέλου. Για το πρώτο τετράμηνο των τεσσάρων ετών που εξετάστηκαν δίνεται ο Πίνακας 2.8.

Πίνακας 2. 5: Οι συντελεστές του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για το πρώτο τετράμηνο της τετραμηνιαίας ανάλυσης χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ 1ου ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ (από μοντέλο)			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,092	0,016	0,000	0,966
r^2	r		
0,537	0,733		

Από το γραμμικό μοντέλο για το πρώτο τετράμηνο προέκυψε ότι 90% της παροχής ακαθάρτων αποτελείται από λύματα, το 8,5% οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, το 1,5% στη συμβολή των όμβριων υδάτων, ενώ είναι μηδενική η συμβολή της υδατικής κατανάλωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης για το μοντέλο του πρώτου τετραμήνου ισούται 0,73.

Πίνακας 2. 6: Οι συντελεστές του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για το δεύτερο τετράμηνο της τετραμηνιαίας ανάλυσης χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ 2ου ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ (από μοντέλο)			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,185	0,016	0,333	0,410
r^2	r		
0,575	0,758		

Από το γραμμικό μοντέλο για το δεύτερο τετράμηνο προέκυψε ότι 43,5% της παροχής ακαθάρτων αποτελείται από λύματα, το 19,6% οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, το 1,65% στη συμβολή των όμβριων υδάτων και 35,28% οφείλεται στην υδατική κατανάλωση. Ο συντελεστής συσχέτισης για το μοντέλο του δεύτερου τετραμήνου ισούται με 0,57.

Πίνακας 2. 7: Οι συντελεστές του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης για το τρίτο τετράμηνο της τετραμηνιαίας ανάλυση χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ 3ου ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,185	0,022	0,000	0,775
r^2	r		
0,408	0,638		

Από το γραμμικό μοντέλο για το δεύτερο τετράμηνο προέκυψε ότι 80,5% της παροχής ακαθάρτων αποτελείται από λύματα, το 19,2% οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, το 2,3% στη συμβολή των όμβριων υδάτων ενώ είναι μηδενική η συμβολή της υδατικής κατανάλωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης για το μοντέλο του τρίτου τετραμήνου ισούται 0,64.

Συγκεντρωτικά η τετραμηνιαία ανάλυση περιγράφει ικανοποιητικά τις συνιστώσες των ακαθάρτων και το γεγονός αυτό πιστοποιείται από τους υψηλούς συντελεστές συσχέτισης που προκύπτουν. Από το γραμμικό μοντέλο για την τετραμηνιαία ανάλυση προέκυψε ότι τα λύματα αποτελούν έμμεσα ή άμεσα το 80-90% της παροχής ακαθάρτων, καθώς για το πρώτο (Ιανουάριος-Απρίλιος) και το τρίτο τετράμηνο (Σεπτέμβριος-Δεκέμβριος) η υδατική κατανάλωση έχει μηδενική συμβολή, ενώ κατά το δεύτερο τετράμηνο (Μάιος- Αύγουστος) η υδατική κατανάλωση συμβάλλει κατά 35,3% στην διαμόρφωση της παροχής ακαθάρτων. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι η μεγάλη συμβολή της υδατικής κατανάλωσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι σύμφωνη με τις στατιστικά αναμενόμενες πληθυσμιακά τάσεις, γεγονός που αποτελεί λογικό έλεγχο για την αξιοπιστία του μοντέλου. Επιπροσθέτως από το μοντέλο του πρώτου (Ιανουάριος-Απρίλιος) τετραμήνου προκύπτει ότι οι παρασιτικές εισροές ανέρχονται στο 10% της συνολικής παροχής ακαθάρτων. Αντίστοιχα το δεύτερο τετράμηνο (Μάιος- Αύγουστος) οι παρασιτικές εισροές αποτελούν το 21% της συνολικής παροχής ακαθάρτων, ομοίως δε ισχύει για το τρίτο τετράμηνο (Σεπτέμβριος-Δεκέμβριος). Τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες οι παρασιτικές εισροές προέρχονται κατά συντριπτική πλειοψηφία από τα υπόγεια ύδατα σε ποσοστό περίπου 19,5%, ενώ κατά το πρώτο τετράμηνο οι παρασιτικές είναι σαφώς μειωμένες (10%), αλλά και πάλι οφείλονται κυρίως στα υπόγεια ύδατα (8,5%). Συνοπτικά, αν και τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε τετραμηνιαία βάση παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή γραμμικής συσχέτισης, εντούτοις κρίθηκε ότι η ανάλυση σε επιμέρους χρονικά υποδιαστήματα πέραν του έτους θα μπορούσε να γίνει με ικανοποιητική ακρίβεια μόνο αν ήταν δυνατή η ύπαρξη περισσότερων δεδομένων όσον αφορά την παροχή ακαθάρτων. Ταυτόχρονα η ανάλυση σε τετραμηνιαία βάση οδηγεί στην παραγωγή ειδικού μοντέλου, γεγονός που αντιβαίνει στην επιδιωκόμενη γενικότητα του προτεινόμενου από την παρούσα μελέτη μοντέλου.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Κατά τη σύνταξη του γραμμικού μοντέλου κρίθηκε αναγκαίο να ερευνηθεί κατά πόσο οι παρασιτικές εισροές περιγράφονται από μοντέλο μη γραμμικής παλινδρόμησης. Σ' αυτήν την περίπτωση η παραμετρική εξίσωση του μοντέλου είναι η εξής:

$$Q = a + f Y^h + b \Pi^c + d B^e + E \quad (2)$$

όπου:

Q: κανονικοποιημένη παροχή ακαθάρτων

a, b, c, d, e, f, h: συν/τές από μοντέλο

Π: κανονικοποιημένη παροχή ποταμών για 30 ημέρες υστέρηση

B: κανονικοποιημένο ύψος βροχής για μία ημέρα υστέρησης

E: κανονικοποιημένη πρόσθετη συνιστώσα ομβρίων (από φιλτράρισμα χρονοσειρών)

Υ: κανονικοποιημένη υδατική κατανάλωση

Αναλυτικά οι συνιστώσες του μοντέλου θεωρήθηκε ότι εκφράζουν:

▪ $a + f \cdot Y^h$: παροχή λυμάτων

▪ $b \cdot \Pi^c$: εισροή υπογείων υδάτων

▪ $d \cdot B^e + E$: εισροή ομβρίων υδάτων

Κατόπιν βελτιστοποίησης προκύπτουν οι ακόλουθοι συντελεστές και εκθέτες για το μοντέλο:

$$Q_{\text{Ακαθάρτων}} = 0,66 + 0 \cdot Y + 0,323 \cdot \Pi^{0,56} + 0,014 \cdot B^{0,75} + E \quad (3)$$

Το μοντέλο αναλύθηκε και πάλι σε υπερετήσια και σε τετραμηνιαία βάση για όλο το υπό εξέταση διάστημα 2000-2003, όπως είχε γίνει και για το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Αντίστοιχα και για την περίπτωση του μη γραμμικού μοντέλου τα δεδομένα εισόδου προήλθαν από το μέσο όρο των κανονικοποιημένων χρονοσειρών από το αντίστοιχο τετράμηνο κάθε έτους. Κατά αντιστοιχία η υπερετήσια κλίμακα οδηγεί στη σύνταξη γενικότερου μοντέλου με ενιαίους συντελεστές καθόλη τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου 2000-2003. Κατά τη σύνταξη του μοντέλου έγινε και πάλι φιλτράρισμα των αιχμών της παροχής ακαθάρτων, δεδομένου πως εκ των προτέρων είναι γνωστό ότι οι κορυφές των ακαθάρτων οφείλονται σε εισροή όμβριων υδάτων στο δίκτυο. Ως αιχμές των ακαθάρτων ορίστηκαν και για την περίπτωση του μη γραμμικού μοντέλου οι κανονικοποιημένες τιμές της χρονοσειράς που ξεπερνούν το 1,3 ή την μη κανονικοποιημένη τιμή 22336 m³/d. (για την επιλογή αυτής της τιμής βλέπε την αντίστοιχη ανάλυση στο γραμμικό μοντέλο).

Στα Σχήματα 2.11, 2.12, 2.13 και 2.14 παρατίθενται οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε ανάλυση με βάση το μη γραμμικό μοντέλο. Στον Πίνακα 2.11 παρατίθενται οι συντελεστές των συνιστωσών των ακαθάρτων με βάση την υπερετήσια ανάλυση. Έτσι, ο συντελεστής των υπογείων υδάτων υπολογίστηκε 32,3%, ενώ των ομβρίων σε 1,36%. Για την ποσοτικοποίηση των παρασιτικών εισροών από τα όμβρια ύδατα πρέπει να συνυπολογιστούν οι πρόσθετες εισροές που προέρχονται από το «φιλτράρισμα» των αιχμών των ακαθάρτων. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού (r^2) υπολογίστηκε από το μοντέλο ίσος με 0,54. Οι συντελεστές των συνιστωσών των ακαθάρτων που προέκυψαν από τους υπολογισμούς του μη γραμμικού μοντέλου είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους γραμμικούς. Όσον αφορά στις συνιστώσες του μοντέλου για τη μέση ετήσια τιμή της παροχής ακαθάρτων λαμβάνουν ρεαλιστικότερες τιμές, οι οποίες τείνουν προς τις παρατηρημένες τιμές στο δίκτυο από τη ΔΕΥΑ. Τόσο οι συντελεστές του μοντέλου, όσο και ο συντελεστής προσδιορισμού καταδεικνύουν ότι το μη γραμμικό μοντέλο είναι πιο αξιόπιστο συγκριτικά με το αντίστοιχο γραμμικό.

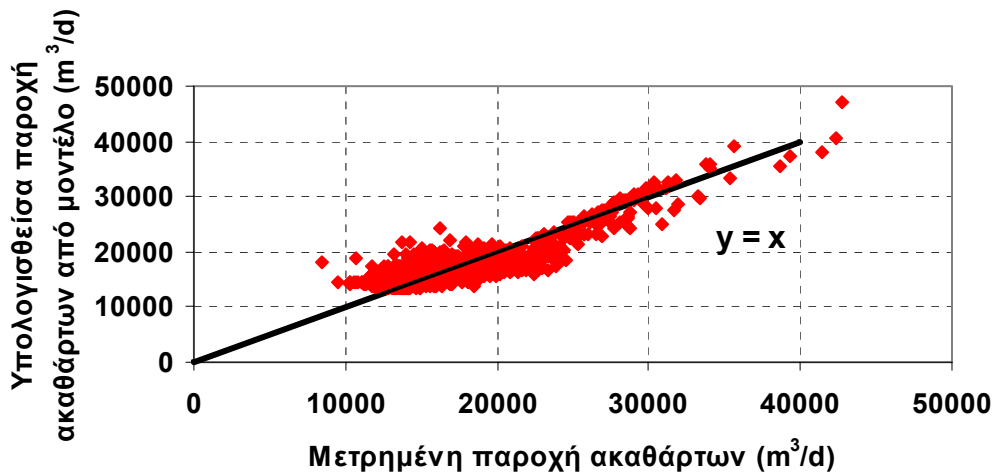
Πίνακας 2. 8: Υπερετήσιοι συντελεστές μοντέλου χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,323	0,013	0,000	0,661
r^2	r		
0,547	0,740		

Για το μοντέλο αυτό προέκυψε ότι ο συντελεστής προσδιορισμού (r^2) είναι 0,544. Η συσχέτιση αυτή δηλώνει ικανοποιητική περιγραφή της παροχής ακαθάρτων του δικτύου από το μοντέλο στο 54,4 % των περιπτώσεων, γεγονός που καθιστά το μοντέλο αποδεκτό για την περαιτέρω μελέτη των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο των Ιωαννίνων. Ο συντελεστής προσδιορισμού προσαυξάνεται κατόπιν του συνυπολογισμού των πρόσθετων εισροών και ισούται με 0,761 . Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι στην περίπτωση μη γραμμικών μοντέλων ενδεχομένως ο συντελεστής προσδιορισμού των χρονοσειρών λειτουργεί ικανοποιητικότερα.

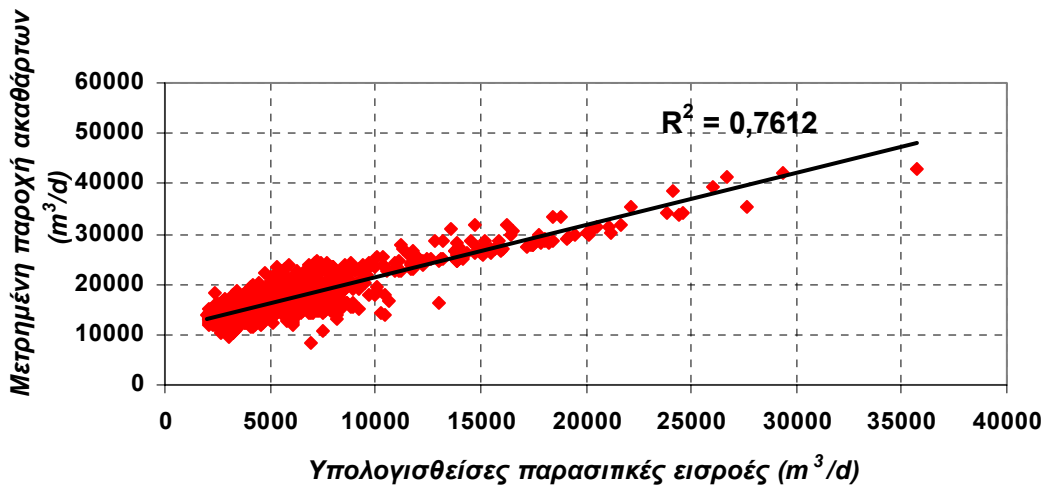
Κατά την πορεία διαμόρφωσης του μοντέλου για να ελεγχθεί η στοχαστική ή μη σχέση που διαμορφώθηκε ανάμεσα στην παροχή ακαθάρτων του δικτύου (ανεξάρτητη μεταβλητή) και στις παροχές ποταμών και όμβριων για τη λεκάνη έγινε χρήση της κατανομής F. Με τη βοήθεια του προγράμματος EXCEL προσδιορίστηκαν η τιμή που προκύπτει από την κατανομή F για $p = 0.95$ ίση με 795 καθώς και οι βαθμοί ελευθερίας που βρέθηκαν 1330. Οι βαθμοί ελευθερίας που προσδιορίστηκαν με αυτόν τον τρόπο αποτελούν συνδυασμό των στατιστικών συμβόλων $v1$ και $v2$. Στο σημείο αυτό λαμβάνει χώρα ο δεύτερος έλεγχος για την καταλληλότητα του μοντέλου που εκφράζεται στην εξίσωση (2). Για να ελεγχθεί η αξιοπιστία των τιμών που προκύπτουν από την κατανομή F για $p = 0.95$ υπολογίστηκε η κρίσιμη τιμή της κατανομής F για τις χρονοσειρές (στατιστικά δείγματα) από τους πίνακες της κατανομής F για $v1 = 2$ (αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου) και $v2 = n + (k + 1)$, όπου n το μέγεθος των υπό εξέταση δειγμάτων που στην παρούσα εργασία είναι ίδιο και για τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (χρονοσειρές). Έτσι προέκυψε ότι η κρίσιμη τιμή της F ίση με 2,40. Η τιμή αυτή είναι σαφέστατα μικρότερη από υπολογισθείσα από μοντέλο τιμή, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία του μοντέλου.

Στο Σχήμα 2.25 παριστάνεται η αξιοπιστία του μοντέλου με τη μορφή της συσχέτισης της υπολογισθείσας παροχής ακαθάρτων και της μετρημένης παροχής ακαθάρτων ως προς την ευθεία $y = x$:



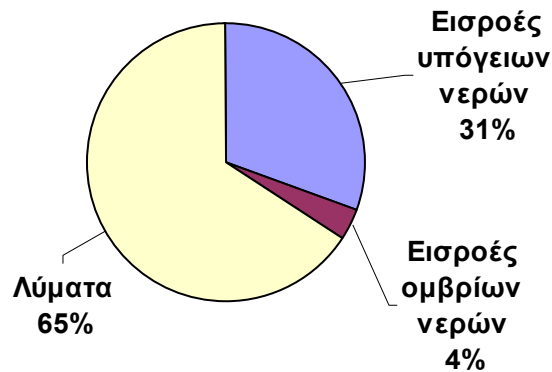
Σχήμα 2. 25: Συσχέτιση υπολογισθείσας - μετρημένης παροχής ακαθάρτων

Ακολούθως άλλο ένα κριτήριο της επίδοσης του μοντέλου αποτελεί η γραμμική συσχέτιση των υπολογισθεισών παρασιτικών εισροών με την μετρημένη παροχή ακαθάρτων στην έξοδο της εγκατάστασης, όπως σημειώνεται και στο Σχήμα 2.26 ο συντελεστής προσδιορισμού των χρονοσειρών (r^2) ισούται με 0,7612 και επιβεβαιώνει την αξιοπιστία του.



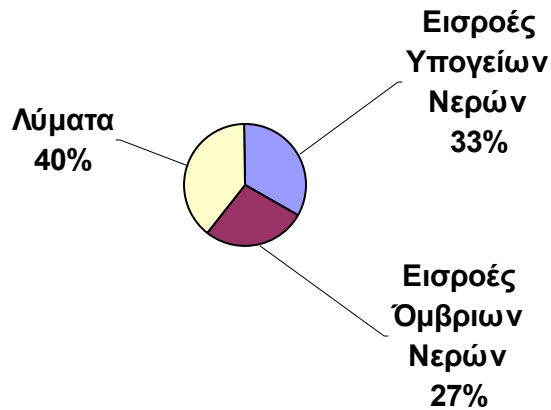
Σχήμα 2. 26: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων- υπολογισθεισών παρασιτικών εισροών

Στο Σχήμα 2.27 παριστάνονται γραφικά οι συνιστώσες των ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα, όπως προέκυψαν από το μοντέλο:



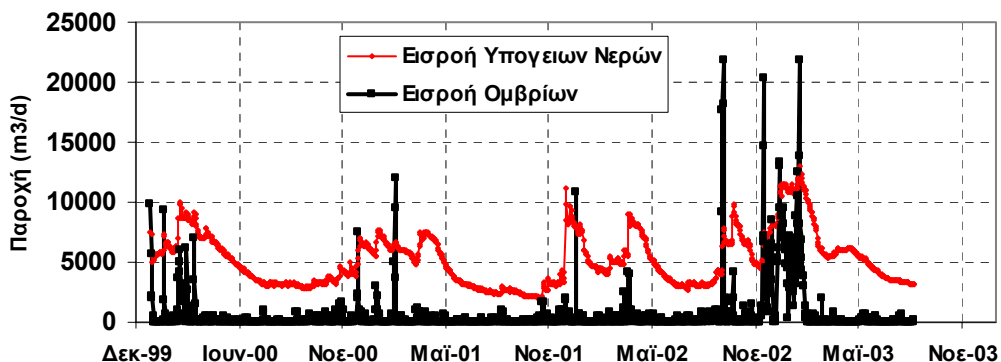
Σχήμα 2. 27: Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα

Το Σχήμα 2.27 προέκυψε από τη μέση τιμή των συνιστωσών της παροχής ακαθάρτων, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το μοντέλο. Σημειώνεται ότι η συσχέτιση της υπολογισθείσας και της μετρημένης παροχής ακαθάρτων ισούται με 0,8724. Ακόμη από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται φανερό ότι η μέση τιμή των εισροών είναι 35% της μέση παροχή ακαθάρτων ή 6013,47 m³/d. Για το μέγιστο 5% της παροχής ακαθάρτων προκύπτει ότι το 67% της παροχής ακαθάρτων προέρχεται από παρασιτικές εισροές, γεγονός που επιβεβαιώνει τις επιτόπιες παρατηρήσεις της ΔΕΥΑ Ιωαννίνων που ανέφεραν υπερδιπλασιασμό της παροχής ακαθάρτων στις ημέρες έντονης βροχόπτωσης. Το Σχήμα 2.28 παριστάνει τις συνιστώσες των ακαθάρτων για το μέγιστο 5% της παροχής:



Σχήμα 2. 28: Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων την περίοδο που εμφανίζεται το μέγιστο 5 % των τιμών της παροχής ακαθάρτων

Ένας ποιοτικός έλεγχος της αξιοπιστίας του μοντέλου αποτελεί η κατανομή των παρασιτικών εισροών στο χρόνο, καθώς επιβεβαιώνει τις αρχικές ποιοτικές εκτιμήσεις και καταδεικνύει την πραγματική προέλευση των παρασιτικών εισροών. Έτσι και σύμφωνα με το Σχήμα 2.29 παρατηρούμε αύξηση της εισροής υπογείων υδάτων κατά τους εαρινούς μήνες, οπότε και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλή με μέγιστη τιμή τις 10000 ή 15000 m³/d, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η εισροή υπόγειων υδάτων μειώνεται σημαντικά. Αντίστοιχα η εισροή όμβριων υδάτων εμφανίζει αιχμές μετά από έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες όπως φαίνεται και στο γράφημα εμφανίζονται ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες με μέγιστη τιμή 22000 m³/d. Αντίθετα το καλοκαίρι η συμβολή των ομβρίων στην παροχή ακαθάρτων πρακτικά μηδενίζεται. Τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα με εκείνα που προκύπτουν από το γραμμικό μοντέλο. Η σημαντική αξιοπιστία και των δύο μοντέλων πιθανώς αποτελεί εξήγηση για την αντιστοιχία στην κατανομή των πρόσθετων εισροών στη διάρκεια του διαστήματος μελέτης 2000-2004.



Σχήμα 2. 29: Κατανομή εισροών υπόγειων και όμβριων υδάτων

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές για τις συνιστώσες των ακαθάρτων με βάση το μη γραμμικό μοντέλο.

Πίνακας 2. 9: Συντελεστές πρώτου τετραμήνου χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ 1ου ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,060	0,037	0,000	1,874
r^2	r		
0,537	0,733		

Από το γραμμικό μοντέλο για το πρώτο τετράμηνο προέκυψε ότι 95,08% της παροχής ακαθάρτων αποτελείται από λύματα, το 3,05% οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, το 1,87% στη συμβολή των όμβριων υδάτων, ενώ είναι μηδενική η συμβολή της υδατικής κατανάλωσης. Ο συντελεστής προσδιορισμού για το μοντέλο του πρώτου τετραμήνου ισούται 0,54 %. Οι συντελεστές που προέκυψαν από το μη γραμμικό μοντέλο είναι αντίστοιχοι εκείνων του γραμμικού (90% λύματα, 8,5% υπόγεια ύδατα, 1,5% όμβρια ύδατα). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την μεγάλη αξιοπιστία και των δύο μοντέλων, καθώς και την αλληλοσυσχέτισή τους.

Πίνακας 2. 10: Συντελεστές δεύτερου τετραμήνου χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ 2ου ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,185	0,016	0,333	0,410
r^2	r		
0,575	0,758		

Από το γραμμικό μοντέλο για το δεύτερο τετράμηνο προέκυψε ότι 43,5% της παροχής ακαθάρτων αποτελείται από λύματα, το 19,6% οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, το 1,65% στη συμβολή των όμβριων υδάτων και 35,28% οφείλεται στην υδατική κατανάλωση. Ο συντελεστής προσδιορισμού για το μοντέλο του δεύτερου τετραμήνου ισούται με 0,58.

Πίνακας 2. 11: Συντελεστές τρίτου τετραμήνου χωρίς τον συνυπολογισμό της πρόσθετης συνιστώσας

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ 3ου ΤΕΤΡΑΜΗΝΟΥ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Όμβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,128	0,020	0,000	1,529
r^2	r		
0,628	0,792		

Από το γραμμικό μοντέλο για το τρίτο τετράμηνο προέκυψε ότι 91,20% της παροχής ακαθάρτων αποτελείται από λύματα, το 7,62% οφείλεται στη συμβολή των υπογείων υδάτων, το 1,18% στη συμβολή των όμβριων υδάτων ενώ είναι μηδενική η συμβολή της υδατικής κατανάλωσης. Ο συντελεστής προσδιορισμού για το μοντέλο του τρίτου τετραμήνου ισούται 0,63.

Συγκεντρωτικά η τετραμηνιαία ανάλυση περιγράφει ικανοποιητικά τις συνιστώσες των ακαθάρτων και το γεγονός αυτό πιστοποιείται από τους υψηλούς συντελεστές προσδιορισμού που προκύπτουν. Τα συμπεράσματα είναι ανάλογα με τα αντίστοιχα του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΙΤΙΕΣ:

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το μοντέλο σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παρασιτικών εισροών είναι υπόγειας προέλευσης 31 % της παροχής ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα, ενώ η αντίστοιχη τιμή των όμβριων εισροών είναι 4 %. Μετά από έντονη βροχοπτώση οι εισροές όμβριων στο δίκτυο ανέρχονται σε 40 %. Από το μοντέλο συνάγεται ότι στο δίκτυο εισρέουν τόσο όμβρια, όσο και υπόγεια ύδατα, τα οποία αποτελούν σημαντικό ποσοστό της παροχής ακαθάρτων κυμαινόμενο από 35 έως 67 %. Τονίζεται ότι τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τις παρατηρήσεις της τοπικής ΔΕΥΑ, σύμφωνα με τις οποίες παρατηρείται υπερδιπλασιασμός της παροχής μετά από ισχυρή βροχοπτώση. Συνεπώς το δίκτυο των Ιωαννίνων, αν και χωριστικό, περιοδικά λειτουργεί ως παντορροικό. Τα παραπάνω συμπεράσματα καταδεικνύουν τη σοβαρότητα τους προβλήματος και την επιτακτική ανάγκη για επίλυση.

Η μεγάλη συμβολή τόσο των όμβριων, όσο και των υπογείων υδάτων στη διαμόρφωση της παροχής ακαθάρτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι πηγές των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο των Ιωαννίνων είναι ποικίλες και δεν περιορίζονται μόνο σε παράνομες συνδέσεις της απαγωγής όμβριων από κτήρια στο δίκτυο ακαθάρτων ή σε ρωγματομένους/ κατεστραμμένους αγωγούς. Το γεγονός αυτό καθιστά ακόμη πιο αναγκαία την εκτενή επιθεώρηση του δικτύου με χρήση διαφόρων μεθόδων π.χ. μέθοδος καπνού, ελέγχου με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης. Πολλές από τις μεθόδους ανίχνευσης η ΔΕΥΑ Ιωαννίνων έχει τη δυνατότητα να τις πραγματοποιήσει, καθώς διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό.

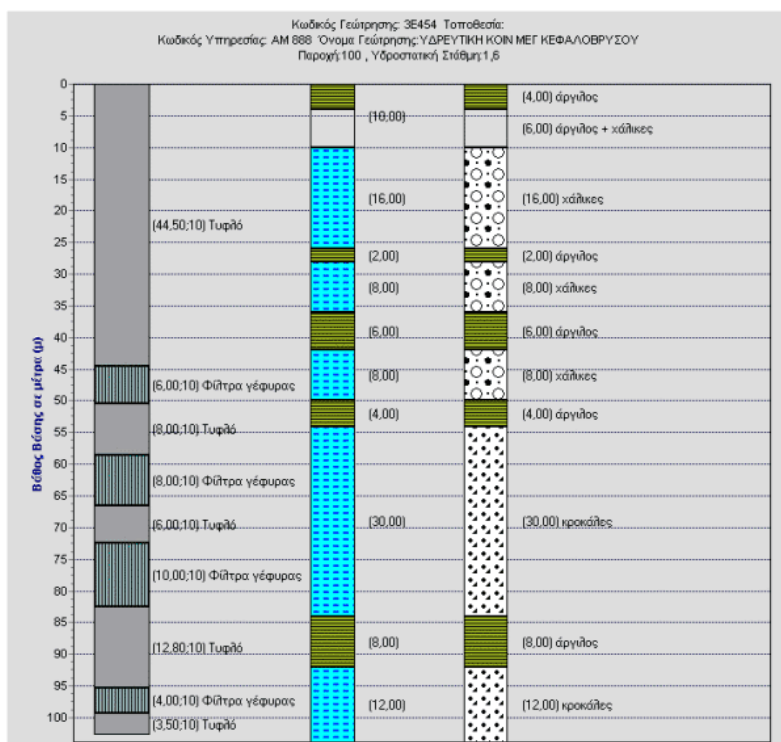
Σημειώνεται ότι το δίκτυο των Ιωαννίνων είναι σχετικά σύγχρονο και εφοδιασμένο με στεγανωτικούς ελαστικούς δακτυλίους στο μεγαλύτερο μέρος των συναρμογών του. Επιπλέον οι σωλήνες στο μεγαλύτερο μέρος του δικτύου είναι κατασκευασμένοι από PVC ή σκυρόδεμα, ενώ σε μικρό μέρος έχουν τοποθετηθεί αμιαντοτσιμεντοσωλήνες. Τόσο οι πλαστικοί, όσο και οι αγωγοί από αμιαντοτσιμέντο παράγονται σε μεγάλα μήκη, γεγονός που περιορίζει τον αριθμό των αρμών και κατά συνέπεια της πιθανές εισροές. Επιπλέον οι σωλήνες από σκυρόδεμα είναι εφοδιασμένοι με ελαστικούς στεγανωτικούς δακτυλίους, γεγονός που αντισταθμίζει ως ένα βαθμό τον μεγάλο αριθμό των αρμών τους. Τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι οποιαδήποτε προσπάθεια ανίχνευσης πιθανών πηγών πρόσθετων εισροών δεν αποδίδει. Συνεπώς η επιθεώρηση του δικτύου αποτελεί μονόδρομο και άμεση συνέχεια της παρούσας μελέτης. Άλλωστε η μεταφορά και η επεξεργασία τόσο μεγάλων ποσοτήτων παρασιτικών εισροών είναι ασύμφορη για τη ΔΕΥΑ και μια συγκριτική οικονομοτεχνική μελέτη θα το αποδείξει.

Κεφάλαιο 3ο: Δίκτυο Ακαθάρτων Καρδίτσας

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Από άποψη γεωλογίας η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο αποκαλούμενο τεκτονικό βύθισμα της Θεσσαλίας και οριοθετείται από τις μεγάλες τεκτονικές ενότητες της Πίνδου στα νοτιοδυτικά και της Πελαγονικής ζώνης στα βοριοανατολικά. Συνίσταται από δύο λεκάνες: τη λεκάνη των Τρικάλων - Καρδίτσας και τη λεκάνη Λάρισας - Κάρλας. Η λεκάνη των Τρικάλων - Καρδίτσας (δυτική λεκάνη) καλύπτεται από τεταρτογενείς αλουβιακές προσχώσεις, οι οποίες δημιουργήκαν από τη διάβρωση των περιφερειακών ορεινών όγκων και μεταφέρθηκαν από τους ποταμούς της λεκάνης. Αποτελούνται από άμμους, αργίλους και σπανιότερα χάλικες και λατύπες (κυρίως από την αποσάθρωση του φλύσχου). Χονδρικά τα φερτά υλικά μπορούν να χωριστούν σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα. Τα μεν χονδρόκοκκα αποτέθηκαν στις ζώνες εξάπλωσης των κύριων ποταμών/ρεμάτων (Πηνειός, Ενπιέας, Καλέντζης κ.λ.π.), ενώ τα λεπτόκοκκα στις λίμνες που κάλυπταν το βαθύτερο μέρος της λεκάνης (ζώνες βραδείας καθίζησης). Το πάχος του στρώματος των προσχώσεων μεταβάλλεται λόγω των ρηγμάτων του υπεδάφους, αλλά γενικά είναι μικρό και συνδυαζόμενο με τις λεπτόκοκκες προσχώσεις οδηγούν στη δημιουργία ιπωχών υπό πίεση υδροφορέων.

Η λεκάνη των Τρικάλων - Καρδίτσας περιβάλλεται βόρεια από ένα πελαγονικό όγκο περιοσμένων υψομέτρων που αποτελείται κυρίως σχιστολίθους, γνεύσιους και μάρμαρα μεγάλης γεωλογικής ηλικίας. Δυτικά της λεκάνης βρίσκεται ο ορεινός όγκος της Πίνδου, όπου συναντάται η υπερ-πινδική ζώνη (Aubouin, 1959), εμφανίζονται κυρίως ασβεστολιθικά στρώματα. Νότια δεσπάζει η αποκαλούμενη υπο-πελαγονική ζώνη αποτελούμενη από πρασινολίθους και ασβεστόλιθους. Προς την ανατολή αναπτύσσεται το όριο της υπο-πελαγονικής ζώνης και τα πετρώματα στην περιοχή εμφανίζονται σε σημαντικό βαθμό αποσαθρωμένα, το δε αναγλυφο είναι λοφώδες. (ΔΕΥΑ Καρδίτσας, Μαρίνος 2003). Στο Σχήμα 3.1 σχήμα παρουσιάζεται το είδος και η περατότητα των πετρώματων που εμφανίζονται σε γεωτρηση στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Πηγή: Βάση δεδομένων ΥΠΥΘΕ, ΕΜΠ 2005

Σχήμα 3. 1:Ερευνητική γεώτρηση σε θέση στηνευρύτερη περιοχή μελέτης.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στην ευρύτερη περιοχή της μελέτης από πλευράς υδροπερατότητας αναπτύσσονται ομαδοποιημένα οι ακόλουθοι σχηματισμοί: οι στεγανές ή ελάχιστα περατές φλυσικές ζώνες της Πίνδου, οι ημιπερατές ή κατα περίπτωση περατές αλλουβιακές προσχώσεις και ποτάμιες αποθέσεις και οι ημιπερατοί έως περατοί ασβεστόλιθοι και πρασινόλιθοι. Μέσα στο στεγανό ή ελάχιστα περατό στρώμα του φλύσχη παρουσιάζονται εναλλαγές και σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες πτυχώσεις ευνοούν τη δημιουργία ασθενών υδροφορέων, οι οποίοι εκφορτίζονται σε πηγές επαφής. Τέτοιου είδους υδροφορείς σχηματίζονται κυρίως σε ανθρακικά στρώματα μέσα στο φλύσχη ή σε ψαμμιτικά στρώματα μεταξύ αργιλούχων μαργών. Όσον αφορά στα στρώματα των προσχώσεων και αποθέσεων η περατότητα τους μεταβάλλεται ανάλογα με τη σύσταση, το μέγεθος των τεμαχίων (π.χ. λατύπες, κροκάλες κ.λ.π.) και την προέλευσή τους. Ο υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται σε αυτήν την περίπτωση χαρακτηρίζεται ως αβαθής και χαμηλής δυναμικότητας. Τέλος η περατότητα των ασβεστολιθικών και γενικότερα των ανθρακικών στρωμάτων, που εμφανίζουν μικρή επιφανειακή εξάπλωση, εξαρτάται από την καρστική διάβρωση του στρώματος, δηλαδή από τη διάλυση του CaCO_3 των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών σε βάθος μέσα στο πέτρωμα. Ο υδροφόρος ορίζοντας που σχηματίζεται δεν έχει ομοιογένεια, αλλά ελέγχεται από την κατανομή και τα μεγέθη των καρστικών κενών. Ο υδροφόρος ορίζοντας όπως προκύπτει και από τη μελέτη της *ΥΔΡΕΤΜΕ Ο.Ε. 1986* τροφοδοτείται από τις ποτάμιες διηθήσεις και εκφορτίζεται σε πηγές επαφής των ανθρακικών στρωμάτων με άλλα γειτονικά αδιαπέρατα πετρώματα.

Όπως προαναφέρθηκε το πάχος του στρώματος των προσχώσεων μεταβάλλεται λόγω των ρηγματών του υπεδάφους, αλλά γενικά είναι μικρό και συνδυαζόμενο με τις λεπτόκοκκες προσχώσεις οδηγεί στη δημιουργία πτωχών υπό πίεση υδροφορέων. Η στάθμη τους συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 3,5 από την επιφάνεια του εδάφους. Ο υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής υφίσταται υπερεκμετάλλευση εξαιτίας των αρδευτικών αναγκών της πεδιάδας με αποτέλεσμα η στάθμη να ταπεινώνεται με γοργούς ρυθμούς. Ο κύριος τροφοδότης των υπόγειων υδροφορέων είναι τα ποτάμια της περιοχής και ιδιαίτερα ανάντη του κάμπου. Προς τα κατάντη τα υπόγεια ύδατα απορρέουν και πάλι επιφανειακά στην κοίτη των ποταμών. Άλλωστε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι αρκετά πλούσιο με κυρίως τον ποταμό Καλέντζη με λεκάνη απορροής 540km² και το ρέμα Καράμπαλης. Εκτός αυτών η περδιάδα κατακλύζεται από το Μεγάλο ρέμα, τα ρέματα Γαβρία και Βροντάρι και τα ρέματα Λείψιμος, Καλαούζος, Ρονόζιμος και Βουλγάρες. Τα ρέματα αυτά στην πλειοψηφία τους έχουν διευθετηθεί και λειτουργούν ως στραγγιστικές τάφροι της πεδιάδας της Καρδίτσας. Κατά τους χειμερινούς μήνες εμφανίζουν μεγάλη παροχή, ενώ τους θερινούς χαρακτηρίζονται από χειμαρική ροή (πρακτικά μηδενισμός παροχής). Κατα την αιχμή των παροχών τους χειμερινούς μήνες παρατηρούνται πλημμύρες στην πεδιάδα και έντονη διάβρωση στην ορεινή περιοχή. Εξαιτίας των πλημμυρικών γεγονότων κατακλύζονται καλλιέργιες και οικισμοί. Σύμφωνα με την μελέτη για συμπληρωματικά αντιπλημμυρικά έργα για την πεδιάδα της Καρδίτσας από *ΥΔΡΕΤΜΕ Ο.Ε. 1986* οι κατακλύσεις οφείλονται:

- στην ύπαρξη κλειστών λεκάνων από τη διασύνδεση των αναχωμάτων που απαιτούν άντληση για την παροχέτευσή τους
- στην ανεπάρκεια των ρεμάτων και των συλλεκτήρων για την παροχέτευση των πλημμυρικών παροχών
- στον στραγγαλισμό της παροχής στα ρέματα εξαιτίας των ανεπαρκών ανοιγμάτων και του μικρού ύψους των υφιστάμενων γεφυρών
- στο ανεπαρκές πλάτος της κοίτης των κύριων συλλεκτήρων που επιτρέπει την απορροή του δικτύου αποχέτευσης ή των δευτερευόντων συλλεκτήρων γίνεται μετά τη διέλευση του πλημμυρικού κύματος
- στην κατασκευή πρόχειρων φραγμάτων και αναχωμάτων για την αποθήκευση νερού κατά τους θερινούς μήνες, τα οποία παραμένουν και μετά το τέλος της αρδευτικής περιόδου εμποδίζοντας τη ροή

- στην ταπεινώση του ύψους των αναχωμάτων για λόγους προσπελασιμότητας.
- στη διάνοιξη οπών για τη διέλευση σωλήνων άρδευσης και στις χωματοληψίες από τα αναχώματα της κοίτης με συνέπεια την τρωτότητα των αναχωμάτων και τη μείωση της διατομής τους
- στην ανεπαρκή συντήρηση και το μπάζωμα των έργων διευθέτησης των ρεμάτων της περιοχής
- στη μεταβολή των συντελεστών απορροής από την κατασκευή των έργων αποστράγγισης έως σήμερα εξαιτίας εκχερσώσεων με συνέπεια την αύξηση της ταχύτητας απορροής.

Πηγές: ΔΕΥΑ Καρδίτσας & Μαρίνος 2003

ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ

Το δίκτυο αποχέτευσης της Καρδίτσας εξυπηρετεί αποκλειστικά τον (παλαιό) δήμο Καρδίτσας με συνολικό αποχετευόμενο πληθυσμό 35000 κατοίκους. Από τη δεκαετία του 1930 έως τις αρχές της δεκαετίας του 1980 η αποχευετοση της πόλης γινόταν από το υπάρχον παντοροικό δίκτυο. Έκτοτε ξεκίνησε η κατασκευή χωριστικού δικτύου για την εξυπηρέτηση της πόλης. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 έως το 1991 έλαβε χώρα η κατασκευή του πρώτου τμήματος του δικτύου, ενώ από το 1991 έως και το 2000 ενσωματώθηκε και το μεγαλύτερο μέρος της υπόλοιπης πόλης στο δίκτυο. Εντούτοις ακόμα και σήμερα ένα μικρό κομμάτι του δήμου της Καρδίτσας δεν έχει ενταχθεί. Το δίκτυο είναι κατασκευασμένο εξολοκλήρου από πλαστικούς σωλήνες PVC, εκτός από πέντε χιλιόμετρα (5km) του αρχικού τμήματος του χωριστικού δικτύου που είναι από αμιαντοτσιμέντο. Η κεντρική συλλογή των λυμάτων γίνεται στο κεντρικό αντλιοστάσιο μέγιστης παροχής 2500 m³/h απ' όπου στη συνέχεια τα λύματα διοχετεύονται σε καταθλιπτικό αγωγό μέγιστη παροχής 1200 m³/h για να μεταφερθούν στην εγκατάσταση επεξεργασίας.

Μετά το σχέδιο Καποδίστρια ο διευρυμένος δήμος Καρδίτσας περιλαμβάνει και τους οικισμούς Καρδίτσομαγούλας, Αρτεσιανού, Παλαιοκλησίου, Αγιοπηγής και Ρούσιου, μεγαλύτεροι εκ των οποίων είναι η Καρδίτσομαγούλα με 2500 κατοίκους και το Αρτεσιανό με 1000 κατοίκους. Οι οικισμοί αυτοί δεν έχουν αποχευετικό δίκτυο, εντούτοις επιδιώκεται άμεσα μέσα στο επόμενο χρονικό διάστημα και στα πλαίσια του τρίτου (3^{ου}) Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης (ΚΠΣ) η κατασκευή χωριστικού δικτύου αποχέτευσης είτε στην Καρδίτσομαγούλα, είτε στο Αρτεσιανό ανάλογα με το μέγεθος του κονδυλίου. Προς το παρόν τα βοθρολύματα που συλλέγονται από αυτούς μεταφέρονται στην εγκατάσταση επεξεργασίας της Καρδίτσας.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Η κατασκευή της εγκατάστασης ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 1989 (30/04/1989) και στοιχισε 213750588 δρχ (χωρίς το ΦΠΑ). Στόχος της ήταν η επεξεργασία των αστικών λυμάτων του παλαιού δήμου Καρδίτσας (προ Καποδίστρια), καθώς και των βοθρολυμάτων που προέρχονται από τις γειτονικούς οικισμούς Καρδίτσομαγούλα, Αρτεσιανό, Παλαιοκλησίου, Αγιοπηγής και Ρούσιου, οι οποίοι με το σχέδιο Καποδίστρια εντάχθηκαν στο διευρυμένο δήμο Καρδίτσας. Αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων είναι ο ποταμός Καλέντζης.

Η συνολική έκταση που καλύπτει η εγκατάσταση είναι 37 στρέμματα. Κατά τη σύνταξη της μελέτης διακρίνονται δύο στάδια κατασκευής I και II. Το πρώτο αντιστοιχεί στα εκτιμώμενα πληθυσμιακά δεδομένα για το 2005 και το στάδιο II στα αντίστοιχα δεδομένα για το έτος 2025. Η διαστασιολόγηση των μονάδων της εγκατάστασης έγινε για φορτία που αντιστοιχούν στο έτος 2005 με σκοπό την περαιτέρω επέκτασή τους στο μέλλον. Μερικές μονάδες της εγκατάστασης, όπως η εσχάρωση, η εξάμμωση, το κτίριο της χλωρίωσης, ο παχυντής λάσπης και οι σωλήνες διασύνδεσης, εξ αρχής είχαν διαστασιολογηθεί για φορτία που αντιστοιχούν στο έτος 2025. Στον πίνακα 4.01 παρατίθενται τα δεδομένα διαστασιολόγησης της εγκατάστασης για το στάδιο I και II.

Για την εκροή από την εγκατάσταση και με βάση την Οδηγία Ε.Ε. 91/271 τηρήθηκαν τα ακόλουθα κριτήρια, τα οποία λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό:

Εκροή από τη βιολογική επεξεργασία:

Μέση ημερήσια συγκέντρωση BOD₅ (στους 20° C) ≤ 25 mg/l O₂ για το 90% του χρόνου (εγγυημένη)

Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση BOD₅ ≤ 40 mg/l O₂ (εγγυημένη)

Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση BOD₅ ≤ 15 mg/l O₂ (αναμενόμενη)

Μέση ημερήσια συγκέντρωση συνολικού αζώτου (ανόργανο) ≤ 4,5 mg/l (εγγυημένη)

Μέγιστη ωριαία συγκέντρωση συνολικού αζώτου (ανόργανο) ≤ 6 mg/l (εγγυημένη)

Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών SS ≤ 25 mg/l (αναμενόμενη)

Συγκέντρωση συνολικού φωσφόρου (ανόργανο) ≤ 6 mg/l (αναμενόμενη)

Σημειώνεται ότι η μέγιστη επιτρεπτή τιμή για τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου που τέθηκε κατά τη διαστασιολόγηση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την οριζόμενη από την Οδηγία Ε.Ε. 97/271, η οποία θέτει ως ανώτατη τιμή της συγκέντρωσης τα 2mg/l για πόλεις από 10000 έως 100000 κατοίκους στην περίπτωση που ο τελικός αποδέκτης είναι «ενοιαστή περιοχή/οικοσύστημα» στην οποία ενδεχομένως να παρουσιαστεί ευτροφισμός. Εντούτοις πρέπει να σημειωθεί ότι το 1987-1988 που εκονήθηκε η μελέτη δεν είχε εκδοθεί η Οδηγία Ε.Ε. 91/271, η οποία καθίσταται υποχρεωτική για τις πόλεις μετά της 31 Δεκέμβριου 2000.

Εκροή από την τριτοβάθμια επεξεργασία:

Συγκέντρωση κολοβακτηριδίων (FAECAL COLIFORMS) ≤ 100FC/100ml

Περιεκτικότητα διαλυμένου οξυγόνου, D.O. = 40 %

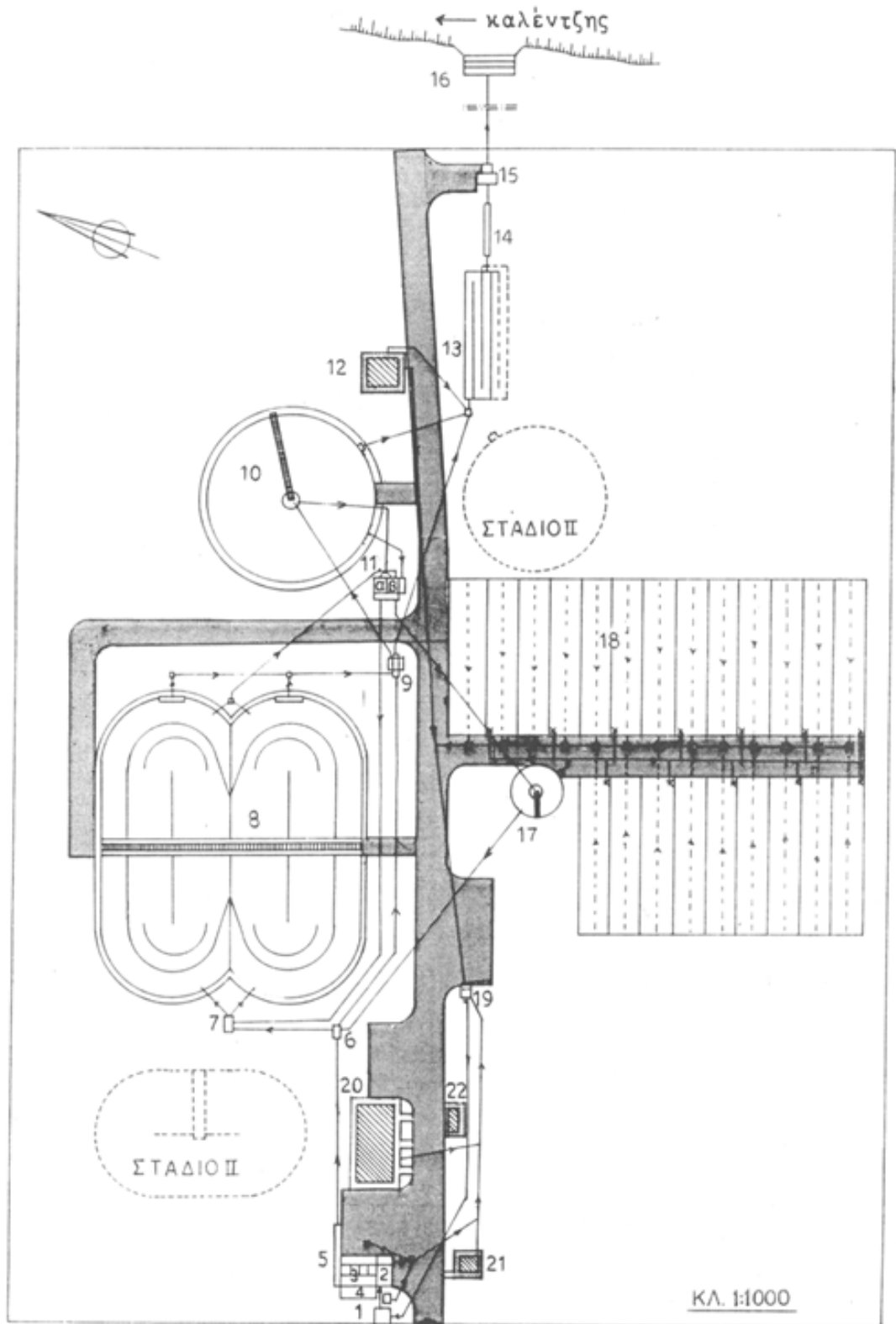
□□ Πίνακας 3. 1: Δεδομένα σχεδιαμού εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Καρδίτσας για τα στάδια I και II

	Στάδιο I (2005)	Στάδιο II (2025)
Εξυπηρετούμενος Πληθυσμός (κάτοικοι)	36000	45000
Ημερήσια Συγκέντρωση BOD ₅ (kg/d)	2500	3363
Ημερήσια Συγκέντρωση Αζώτου (kg/d)	430	531
Ημερήσια Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών SS (kg/d)	3100	4071
Ημερήσια Ποσότητα Φωσφόρου (kg/d)	140	175
ΘΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ		
Μέγιστη ημερήσια (m ³ /d)	10000	17700
Μέγιστη ωριαία (m ³ /h)	640	1130
ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΑΡΟΧΗ		
Μέγιστη ημερήσια (m ³ /d)	13800	21500
Μέγιστη ωριαία (m ³ /h)	740	1170

Όπως και οι πλειονότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων αποτελείται από τη μηχανική, τη βιολογική και τη χημική επεξεργασία. Παρακάτω παρατίθεται η κάτοψη της εγκατάστασης και το υπόμνημα των μοναδών:

Υπόμνημα:

- (1): Κατασκευή Εισόδου
- (2): Τοξωτή εσχάρα με αποθήκευση εσχαρωμάτων
- (3): Εγκατάσταση εξάμμοσης αεριζόμενου τύπου με αποθήκευση άμμου
- (4): Λιποσυλλέκτης
- (5): Διώρυγα Parshall
- (6): Φρεάτιο παράκαμψης Δ1
- (7): Δεξαμενή διανομής
- (8): Δεξαμενή παρατεταμένου αερισμού (οξειδωτικές τάφροι)
- (9): Φρεάτιο παράκαμψης Δ2
- (10): Δεξαμενή τελικής καθίζησης
- (11α): Αντλιοστάσιο επανακυκλοφορίας λάσπης
- (11β): Αντλιοστάσιο περίσσειας λάσπης
- (12): Κτίριο χλωρίωσης
- (13): Δεξαμενή επαφής χλωρίου
- (14): Διώρυγα Parshall
- (15): Αντλιοστάσιο επεξεργασμένων λυμάτων
- (16): Κατασκευή εκροής (βαθμίδες αερισμού) στον ποταμό Καλέντζη
- (17): Παχυντής λάσπης
- (18): Κλίνες ξήρανσης λάσπης
- (19): Εσωτερικό αντλιοστάσιο, υποδοχή βοθρολυμάτων
- (20): Κτίριο διοίκησης
- (21): Φυλάκιο
- (22): Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 3. 2: Σκαρίφημα της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Καρδίτσας

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Μετρητικό σύστημα

Στην εγκατάσταση λειτουργεί αυτόματο καταγραφικό της παροχής εισόδου. Η καταγραφή γίνεται συνεχώς όλο το εικοσιτετράωρο. Εντούτοις οι ενδείξεις του αθροιστικό καταγραφικού μηχανισμού αδυνατούν συχνά να απεικονίσουν τον συνολικό όγκο των εισερχόμενων λυμάτων και ακολουθεί υπερχειλίση. Ο μέγιστος δυνατός καταγραφόμενος όγκος λυμάτων ανά ημέρα ίσουςται με $24000\text{m}^3/\text{d}$, τιμή που εμφανίζεται συχνά και που ξεπερνά κατά πολύ τη μέγιστη ημερήσια (χειμερινή) παροχή τόσο κατά το στάδιο I ($13800\text{m}^3/\text{d}$), όσο και κατά το στάδιο II ($21500\text{m}^3/\text{d}$) Βλ. Πιν 3.1. Το γεγονός αποτελεί μια πρώτη σημαντική ένδειξη του μεγέθους του προβλήματος. Σημειώνεται ότι η μέγιστη ανά ώρα εισερχόμενη παροχή λυμάτων ίσουςται με $1000\text{m}^3/\text{h}$, ενώ η μέγιστη εισερχόμενη στην εγκατάσταση παροχή από τον καταθλιπτικό αγωγό είναι $1200\text{m}^3/\text{h}$, γεγονός που επιτείνει το πρόβλημα και οδηγεί σε υπερφόρτωση της εγκατάστασης. Τα παραπάνω δεδομένα προήλθαν από στοιχεία και μαρτυρίες των υπευθύνων της τοπικής ΔΕΥΑ και των εργαζομένων στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.

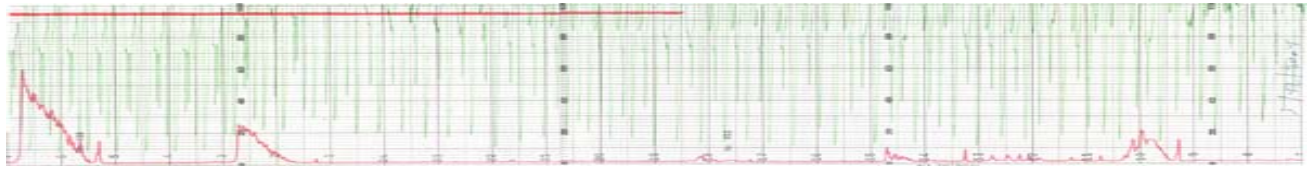
Μεθοδολογία μέτρησης καταγραφών παροχής εισόδου εγκαταστησης

Στο σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι η συλλογή των ενδείξεων του καταγραφικού γίνονται σχεδόν κάθε δέκα ημέρες και σποραδικά. Όπως είναι προφανές υπάρχει έλλειψη δεδομένων όσον αφορά την παροχή των ακαθάρτων, γεγονός που αποτελεί εμπόδιο στη διαδικασία ανίχνευσης και ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών στην έξοδο του δικτύου αποχέτευσης. Για την επίλυση του σοβαρότατου αυτού προβλήματος έπρεπε να γίνει απευθείας και εξαρχής μέτρηση της εισερχόμενης παροχής από τα φύλλα συνεχούς καταγραφής της συσκευής. Η διαδικασία αυτή θα απλοποιούταν σημαντικά με τη χρήση ειδικών αυτοματοποιημένων ψηφιακών οργάνων μέτρησης των υπάρχοντων καταγραφών. Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν ήταν δυνατή η εύρεση και αξιοποίηση ενός τέτοιου μηχανήματος. Κατά συνέπεια η μέτρηση των καταγραφών έπρεπε να γίνει με την εφαρμογή εμπειρικών τεχνικών.

Για το σκοπό αυτό και στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας συλλέχθηκαν οι ημερήσιες ταινίες συνεχούς καταγραφής από το παροχόμετρο στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Ο αυτογραφικός μηχανισμός του παροχόμετρου είναι εφοδιασμένος με ένα τόμπανο και κάνει μια πλήρη περιστροφή ανα ημέρα ξεκινώντας από τις 7 π.μ. Γνωρίζοντας ότι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να παροχευτευτεί στη εγκατάσταση ανά ώρα είναι 1000m^3 (ανά ημέρα 24000m^3) έγινε ολοκλήρωση του εμπρικλειόμενου τμήματος από συνεχή γραμμή καταγραφής. Η μέθοδος αυτή είναι εμπειρική και από μόνη της δεν έχει μεγάλη αξιοπιστία. Εντούτοις συνδυασμένη με τις ανά (σχεδόν) δεκαήμερο μετρήσεις της αθροισόμενης παροχής από τη ΔΕΥΑ Καρδίτσας και προσαυξημένη κατά 5%, αποκτά μια ικανοποιητική για τα πλαίσια της διπλωματικής ακρίβεια.

Κατά τη συλλογή των δεδομένων η ΔΕΥΑ Καρδίτσας έδωσε πρόσβαση στις ημερίσιες ταινίες καταγραφής για τα έτη 2000 έως 2004. Από αυτά για την ποσοτικοποίηση των παρασιτικών και τη σύνταξη του μοντέλου επιλέχθηκε το ημερολογιακό έτος 2001. Η επιλογή έγινε με δύο κριτηρια: αφενός την ύπαρξη όσο δυνατόν περισσότερων καταγραφών της παροχής ακαθάρτων στην είσοδο της εγκατάστασης από τους ειδικευμένους υπαλλήλους της ΔΕΥΑ για μειωθεί κατά το δυνατόν το υπεισερχόμενο σφάλμα. Αφετέρου το ημερολογιακό έτος 2001 χαρακτηρίζεται από ετήσιο ύψος βροχής κοντά στο μέσο όρο της προηγούμενης εικοσαετίας, γεγονός που καθιστά το μοντέλο που θα συνταχθεί αρκετά γενικό τόσο για τα παρελθόντα, όσο και για τα επόμενο έτη. Στο παρακάτω σχήμα

φαίνεται σε κατάλληλη κλίμακα μια ημερήσια ταινία καταγραφικού, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό κατά προσέγγιση της ημερήσιας παροχής.



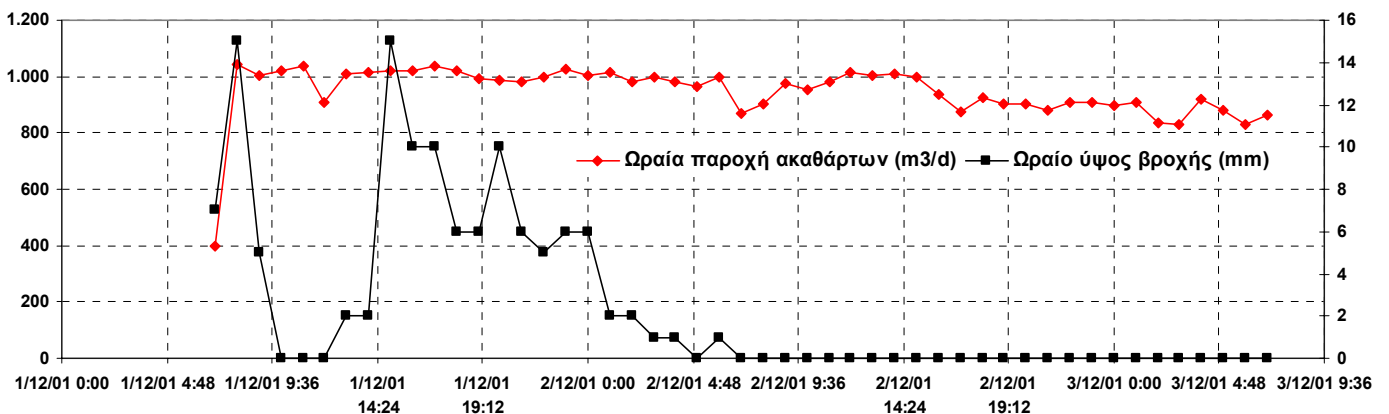
Σχήμα 3. 3: Λωρίδα καταγραφικού με πράσινη γραμμή γίνεται η καταγραφή της εισερχόμενης παροχής, ενώ με κόκκινη γραμμή το οξυγονόμετρο.

Ωριαία διακόμανση παροχών



Σχήμα 3. 4: Λωρίδα βροχογράφου από το σταθμό του Πεντόλακκου.

Σημειώνεται ότι κατά την εκτίμηση της παροχής ακαθάρτων απευθείας από τις ταινίες καταγραφής ήταν δυνατή η ανάλυση σε ωριαία βάση της παροχής ακαθάρτων. Χρησιμοποιώντας και ωριαία δεδομένα για τη βροχοπτώση από τον βροχογράφο του σταθμού Καρδίτσα (Σχήμα 3.4), έγινε σύγκριση των ωριαίων τιμών παροχής ακαθάρτων και βροχοπτώσης, η οποία και εικονίζεται στο Σχήμα 3.5. Παρατηρείται ότι τις επόμενες ώρες μετά τη βροχοπτώση η παροχή ακαθάρτων αγγίζει τη μέγιστη τιμή των 1000 m³/h. Επιπλέον επισημαίνεται ότι η παροχή ακαθάρτων αρχίζει να μειώνεται 6 ώρες μετά τη διακοπή του τελευταίου γεγονότος βροχής, γεγονός που επιβεβαιώνει την εισροή ομβρίων υδάτων στο δίκτυο.

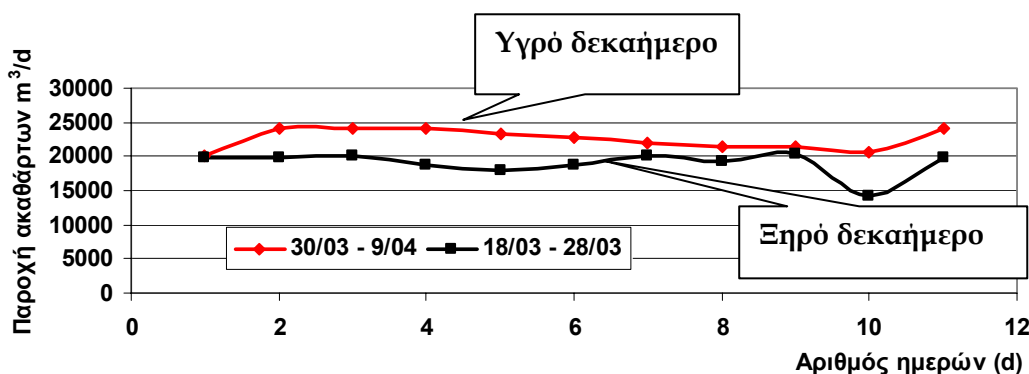


Σχήμα 3. 5: Ωριαία διακόμανση παροχής ακαθάρτων - ύψους βροχής για το διάστημα: 01/12/2001-03/12/2001

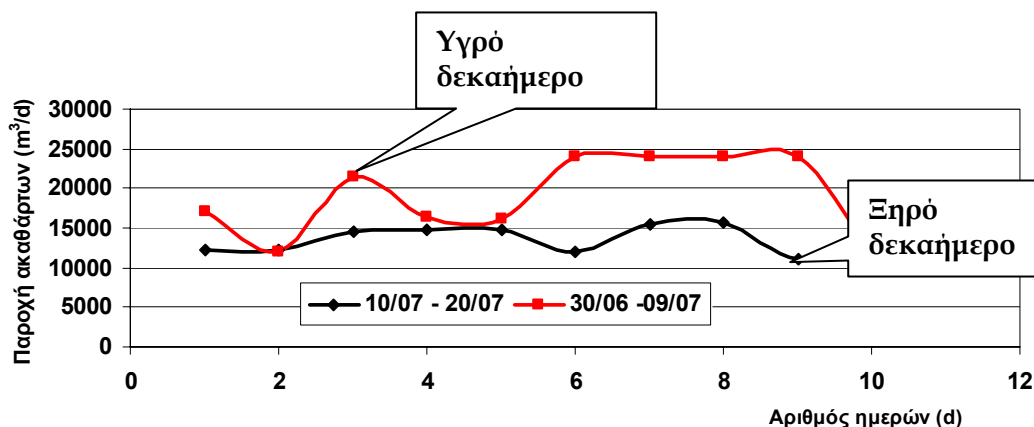
Ποιοτική ανίχνευση παρασιτικών εισροών

Πριν την εκκίνηση της διαδικασίας ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών, γίνεται μια πρώτη ποιοτική ανίχνευση του προβλήματος με τη χρήση ποιοτικών διαγραμμάτων. Τα διαγράμματα αυτά, που παρατίθενται παρακάτω, αποτελούν συγκριτικές αναπαραστάσεις των μεταβολών της παροχής εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ανάλογα με τη κατανομή της βροχοπτώσης (ξηρές ή υγρές περιόδοι) ή με τις μεταβολές στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Ανάλογη διαδικασία έγινε και για το δίκτυο των Ιωαννίνων.

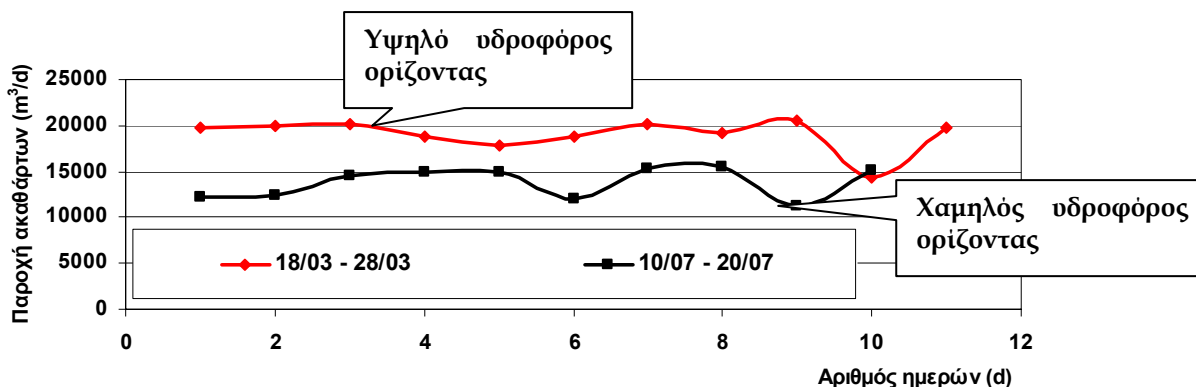
Επισημαίνεται ότι για το ημερολογιακό έτος 2001 επιλέχθηκε ένα υγρό και ένα ξηρό δεκαήμερο για την περίοδο που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα εκτιμάται ως υψηλή και ένα αντίστοιχο ζευγάρι για την περίοδο που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα εκτιμάται ως χαμηλή. Η διαφορά μεταξύ ξηρού και υγρού δεκαήμερου εκφράζει τις όμβριες εισροές στο δίκτυο ακαθάρτων της Καρδίτσας για το συγκεκριμένο δεκαήμερο για την εκάστοτε στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Μ' αυτόν τον τρόπο γίνεται μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση της όμβριας συνιστώσας των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο. Για την ποιοτική εκτίμηση της συμβολής των υπόγειων υδάτων στις παρασιτικές εισροές του δικτύου ακαθάρτων της Καρδίτσας συγκρίνουμε τις παροχές των ξηρών δεκαημέρων για την περίοδο υψηλού και χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα.



Σχήμα 3. 6: Ποσότητα όμβριων υδάτων που εισρέουν στο δίκτυο για υψηλή στάθμη υδροφορέα



Σχήμα 3. 7: Ποσότητα όμβριων υδάτων που εισρέουν στο δίκτυο για χαμηλή στάθμη υδροφορέα



Σχήμα 3. 8: Ποσότητα υπόγειων υδάτων που εισρέουν στο δίκτυο για ξηρή περίοδο

Από τα Σχήματα 3.6, 3.7 παρατηρείται ότι οι εισροές ομβρίων κατά τη διάρκεια βροχοπτώσης, είτε υπό συνθήκες υψηλού υδροφόρου ορίζοντα, είτε υπό συνθήκες χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα είναι σημαντικές. Αντίστοιχα από το Σχήμα 3.8 συμπεραίνουμε ότι υπό ξηρές συνθήκες η παροχή ακαθάρτων είναι μεγαλύτερη όταν η στάθμη του υδροφορέα είναι υψηλότερη, γεγονός που υποδεικνύει εισροές υπογείων υδάτων στο δίκτυο.

ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ποσοτικοποίηση των παρασιτικών εισροών που εισέρχονται στο δίκτυο ακαθάρτων της Καρδίτσας είναι αντίστοιχη εκείνης που εφαρμόστηκε στο δίκτυο ακαθάρτων των Ιωαννίνων και παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2. Παρά την έλλειψη επαρκών ημερήσιων μετρήσεων για τις παροχές ακαθάρτων επιδιώχθηκε να συνταχθεί μοντέλο για την ποσοτικοποίηση των πρόσθετων εισροών, ανάλογο εκείνου του δικτύου των Ιωαννίνων.

Συλλογή Βροχομετρικών Δεδομένων

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν οι βροχομετρικοί σταθμοί του ΥΠΕΧΩΔΕ της Καρδίτσας, του Μουζακίου και της Ανάβρας (υδρολογική λεκάνη Καρδίτσας). Από αυτούς οι σταθμοί της Ανάβρας και του Μουζακίου είναι εφοδιασμένοι με βροχόμετρα στα οποία γίνεται καταγραφή κάθε 24ωρο, ενώ ο σταθμός της Καρδίτσας διαθέτει βροχογράφο, δηλαδή όργανο συνεχούς καταγραφής της σημειακής βροχοπτώσης και της κατανομής της στη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι και στους τρεις βροχομετρικούς σταθμούς λάμβαναν χώρα μετρήσεις του ύψους χιονόπτωσης, δηλαδή του ύψους χιονιού που συσσωρεύτηκε κατά την περίοδο μέτρησης χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν τυχόν προηγούμενες αποθέσεις χιονιού *Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος (1999)*. Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ισοδύναμο ύψος χιονόπτωσης λαμβάνοντας την πυκνότητα χιονόπτωσης ρ_s ίση με $0.1 \cdot \rho_w$. Κριτήριο για την επιλογή των βροχομετρικών σταθμών μελέτης ήταν και πάλι η εγγύτητά τους με την υπό μελέτη περιοχή, η διαθεσιμότητα των απαιτούμενων βροχομετρικών δεδομένων, καθώς και η αξιοπιστία τους.

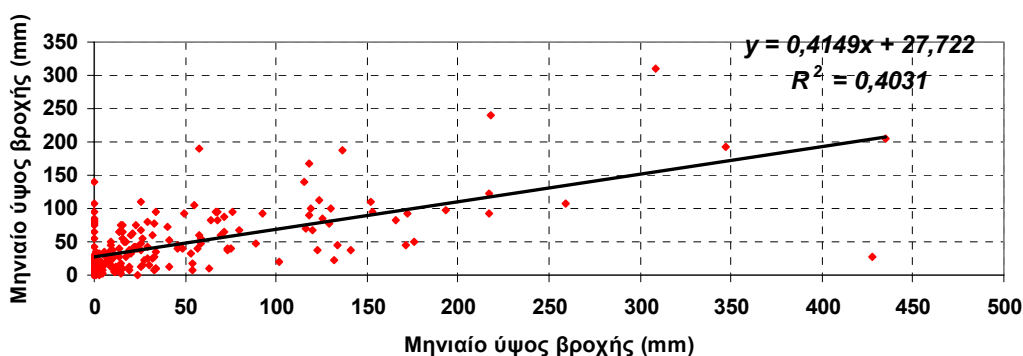
Έλεγχος Συνέπειας

Σε μια χρονοσειρά βροχομετρικών καταγραφών είναι δυνατό να παρατηρηθούν σφάλματα είτε συστηματικά είτε σποραδικά. Τα σφάλματα αυτά οφείλονται σε αρκετούς παράγοντες όπως αλλαγή στη θέση του οργάνου ή στον παρατηρητή, αντικατάσταση του οργάνου.

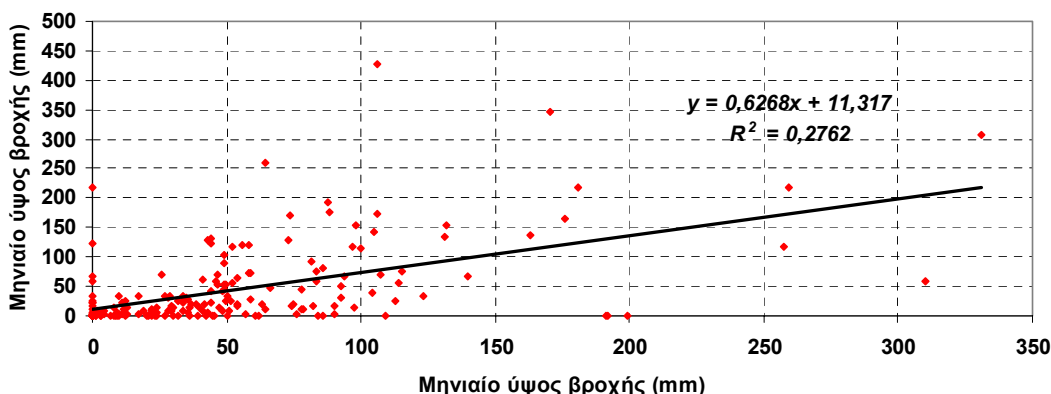
Για τον έλεγχο συνέπειας των βροχομετρικών δεδομένων με ικανοποιητική ακρίβεια σημαντικές προϋποθέσεις είναι:

- Η κλιματική ομοιογένεια των σταθμών που συγκρίνονται. Εμπειρικά συνίσταται η επιλογή σταθμών με μικροκλιματική και τοπογραφική ομοιογένεια.
- Η ισχυρή συσχέτιση των υψών βροχής των υπό μελέτη σταθμών. Στατιστικά ελέγχεται ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των ετήσιων υψών βροχής ανα δύο των σταθμών. Ισχυρή συσχέτιση ορίζεται για $|r| \geq r_{cr}$ ή $|r| \geq 0,7$. Ως r_{cr} ορίζεται ο λόγος $2/\sqrt{n}$, όπου n ο αριθμός των ετών παρατήρησης των βροχομετρικών δεδομένων.

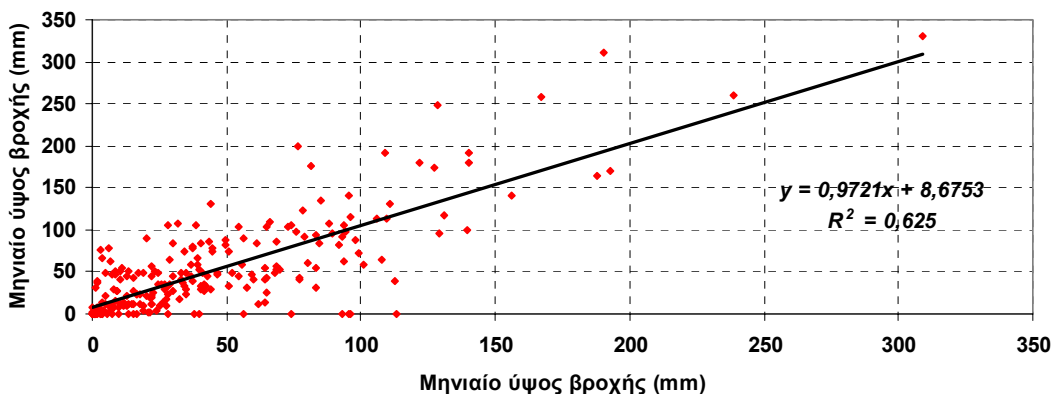
Στο πλαίσιο της διπλωματικής εξετάστηκαν έγινε εφικτό να συλλεχτούν τα βροχομετρικά δεδομένα δεκαοκτώ (18) ετών παρατηρήσεων για τους σταθμούς Καρδίτσας, Ανάβρας και δεκαέξι (16) ετών για το σταθμό Μουζακίου. Από αυτά τα τέσσερα (4) χρόνια από το 2000-2003 και για τους τρεις υπό εξέταση σταθμούς της λεκάνης αποτελούνταν από ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα, ενώ ειδικά για την διεξαγωγή του ελέγχου ομοιογένειας συλλέχθηκαν μηνιαία στοιχεία εικοσαετίας, ώστε να γίνει έλεγχος συνέπειας των σταθμών τόσο σε ετήσια βάση, όσο και σε μηνιαία. Τονίζεται ότι η συσχέτιση τω μηνιαίων τιμών, αν και χρησιμοποιείται σε κάποιες περιπτώσεις, δίνει σαφέστερα ασθενέστερη συσχέτιση. Τα κριτήρια για την ισχυρή συσχέτιση δύο σταθμών συμπυκνώνονται σε $|r| \geq 0,447 = r_{cr}$ ή $0,7$. (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Με βάση τα παραπάνω προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα, σημειώνοντας ότι παρατίθεται ο συντελεστής προσδιορισμού αντί της συσχέτισης.



Σχήμα 3. 9:Συσχέτιση μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων Μουζάκι - Καρδίτσα



Σχήμα 3. 10: Συσχέτιση μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων Μουζάκι - Ανάβρα



Σχήμα 3. 11: Συσχέτιση μηνιαίων βροχομετρικών δεδομένων Καρδίτσα - Ανάβρα

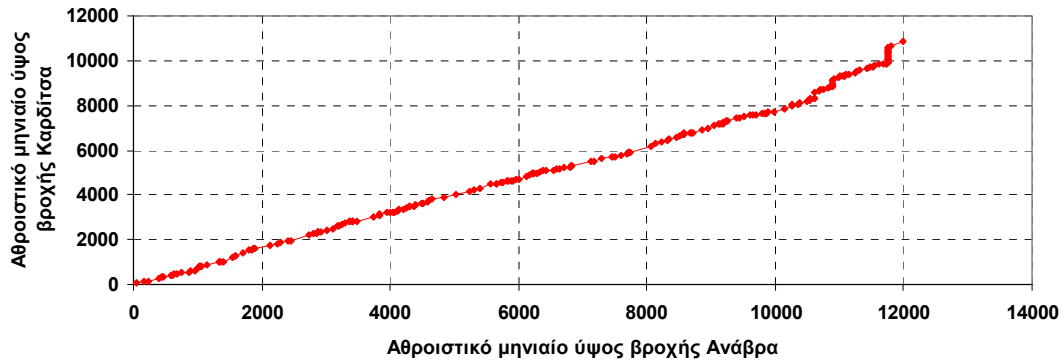
Συμπερασματικά:

1. Παρατηρείται σχετικά ικανοποιητική μηνιαία συσχέτιση μεταξύ Καρδίτσας - Ανάβρας. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι υψηλός 0,79 και ξεπερνά την κρίσιμη τιμή 0,447.
2. Παρατηρείται ότι η μηνιαία συσχέτιση μεταξύ Μουζακίου και Καρδίτσας είναι 0,634 και μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή που ορίστηκε αρχικά. Βέβαια η συσχέτιση για τις μηνιαίες χρονοσειρές είναι σαφέστερα ασθενέστερη από την αντίστοιχη για τις ετήσιες.
3. Ακόμα η συσχέτιση μεταξύ Μουζακίου και Ανάβρας εμφανίζεται μικρότερη από την αντίστοιχη Μουζακίου - Καρδίτσας ή Καρδίτσας - Ανάβρας. Εντούτοις η τιμή της κρίνεται ικανοποιητική καθώς είναι αυξημένη συγκριτικά με την κρίσιμη τιμή.
4. Το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών της υδρολογικής λεκάνης της Καρδίτσας είναι σαφέστατα καλύτερα κατανομημένο και πιο ομοιογενές από το αντίστοιχο δίκτυο των Ιωαννίνων. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει το ήπιο ανάγλυφο της πεδιάδας της Καρδίτσας.
5. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε τη μέθοδο της αθροιστικής καμπύλης για τους υπό εξέταση σταθμούς ανά δύο. Δεν ήταν δυνατό να ληφθεί ένας από τους σταθμούς ως σταθμός βάσης .

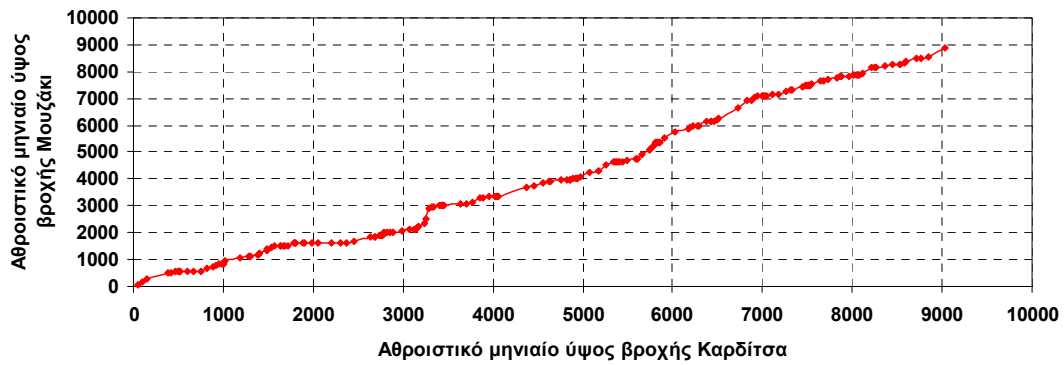
Αθροιστική Καμπύλη

Η διεξαγωγή του έλεγχου συνέπειας, δηλαδή του έλεγχου κατά πόσον το σύνολο των παρατηρήσεων προέκυψε με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως, έγινε με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης (Dingman 1994). Η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου συστήνεται να γίνεται σε ετήσια κλίμακα, καθώς για πιο πυκνά χρονικά διαστήματα, π.χ. μηνιαία, η συσχέτιση των χρονοσειρών είναι ασθενέστερη. Εντούτοις, επιχειρήθηκε εφαρμογή της μεθόδου για τις χρονοσειρές υψών βροχής των υπό εξέταση σταθμών. Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκε η σημαντική διαφορά μεταξύ των συσχετίσεων των μηνιαίων και των ετήσιων τιμών , γεγονός που επιβεβαιώνει τη μεγαλύτερη αξιοπιστία των ετήσιων χρονοσειρών.

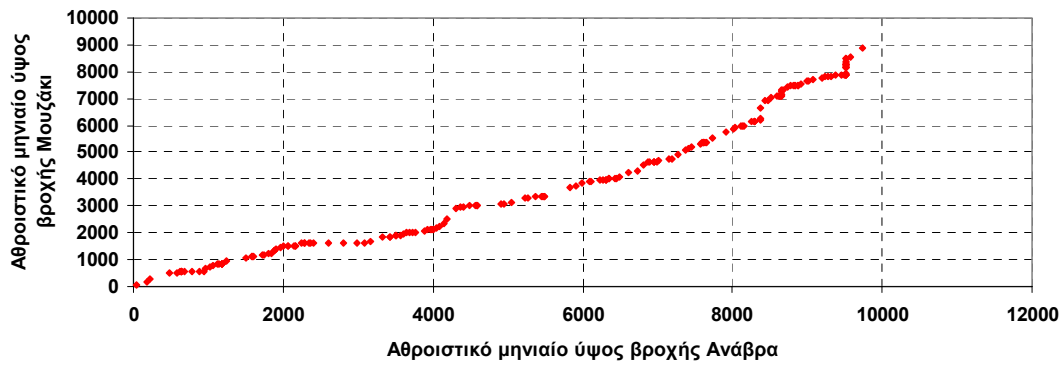
Παρακάτω παρατίθενται τα γραφήματα των διπλών αθροιστικών καμπυλών για τους βροχομετρικούς σταθμούς Καρδίτσας, Μουζακίου και Ανάβρας τόσο σε μηνιαία, όσο και σε ετήσια κλίμακα. Οι τετμημένες των συνημμένων διαγραμμάτων αντιστοιχούν στο αθροιστικό ύψος βροχής του σταθμού που λήφθηκε ως βάση και οι τεταγμένες στο αθροιστικό ύψος βροχής του υπό εξέταση σταθμού. Σε αντίθεση με την αντίστοιχη ανάλυση για τα Ιωαννίνα δεν ήταν δυνατό να επιλεγθεί εξαρχής σταθμός βάσης. Έτσι σε κάθε εφαρμογή της αθροιστικής καμπύλης λαμβάνεται αυθαίρετα ο σταθμός βάσης.



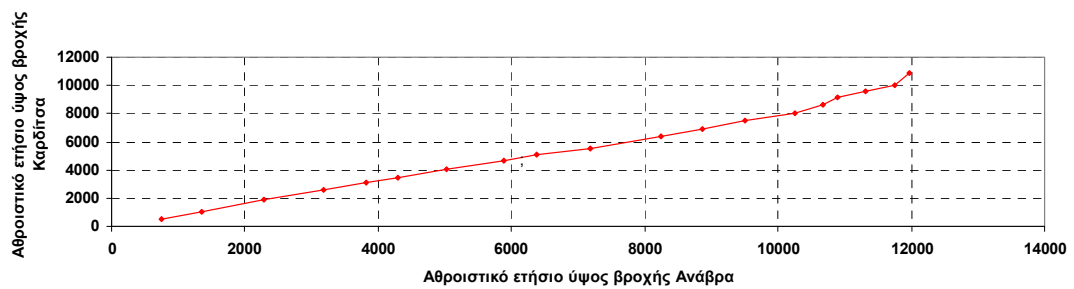
Σχήμα 3. 12: Αθροιστική καμπύλη για μηνιαία δεδομένα Καρδίτσα - Ανάβρα



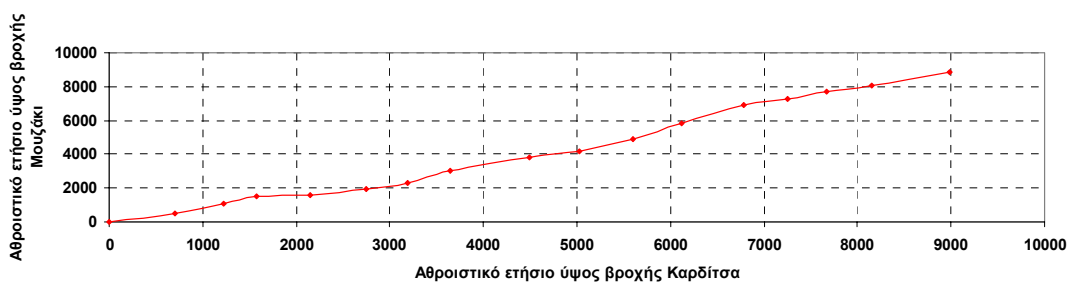
Σχήμα 3. 13: Αθροιστική καμπύλη για μηνιαία δεδομένα Μουζάκι - Καρδίτσα



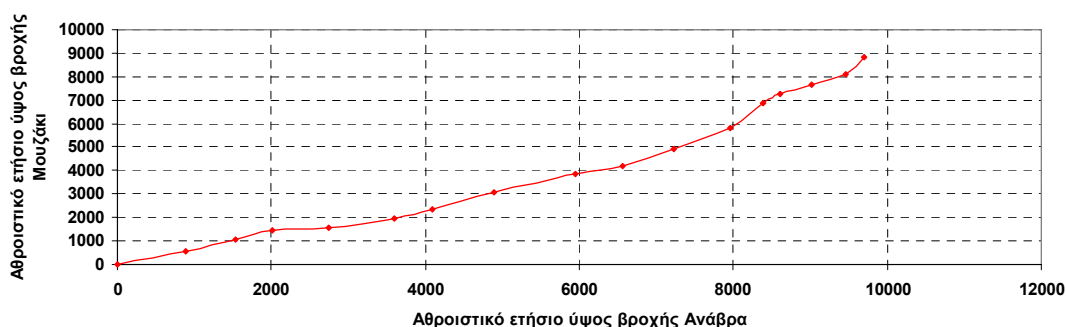
Σχήμα 3. 14: Αθροιστική καμπύλη για μηνιαία δεδομένα Μουζάκι - Ανάβρα



Σχήμα 3. 15: Αθροιστική καμπύλη για ετήσια δεδομένα Καρδίτσα - Ανάβρα



Σχήμα 3. 16: Διπλή αθροιστική καμπύλη για ετήσιο ύψος βροχής Μουζάκι - Καρδίτσα



Σχήμα 3. 17: Διπλή αθροιστική καμπύλη για ετήσιο ύψος βροχής Μουζάκι - Ανάβρα

Παρατηρήσεις:

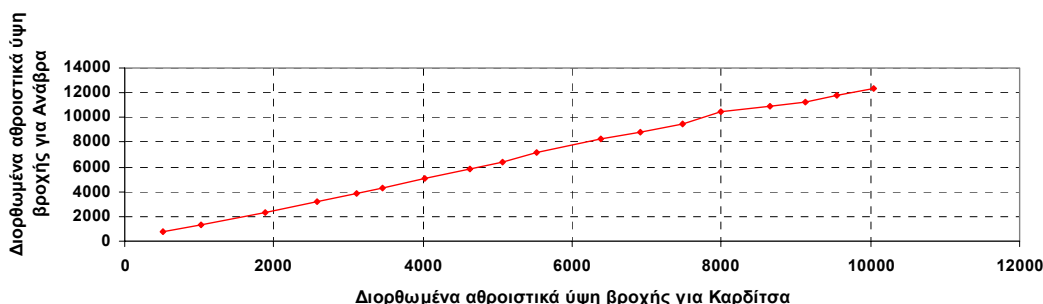
▪ Στη διπλή αθροιστική καμπύλη τόσο για τα ετήσια, όσο και για τα μηνιαία δεδομένα με σταθμό εξέτασης την Καρδίτσα και σταθμό βάσης την Ανάβρα η χρονοσειρά των αθροιστικών υψών βροχής (και κατά συνέπεια και εκείνες των μηνιαίων και ετήσιων υψών βροχής) του σταθμού της Καρδίτσας θεωρείται ομοιογενής. Οι χρονοσειρές των αθροιστικών μηνιαίων και ετήσιων υψών βροχής για το σταθμό της Καρδίτσας προκύπτουν ομοιογενείς κατόπιν επεξεργασίας των υπάρχοντων βροχομετρικών δεδομένων. Επίσης η αθροιστική χρονοσειρά του σταθμού της Ανάβρας στη διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης την Καρδίτσα εμφανίζει θλάση μετά την τιμή 8000. Η θλάση αυτή είναι απόρροια συστηματικής ασυνέχειας από την τιμή 8000 και έπειτα. Έγινε άρση της ασυνέχειας προτού συνταχθεί η διπλή αθροιστική καμπύλη ετήσιων υψών βροχής Μουζακίου-Ανάβρας.

▪ Στη διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό εξέτασης το Μουζάκι εμφανίζονται κοντά στις τιμές 2000 και 8000 θλάσεις στη σημειοσειρά απόρροια συστηματικής ασυνέχειας, αλλά και άλματα σε μεμονομένα στοιχεία της χρονοσειράς. Η διαδικασία άρσης της ασυνέπειας είναι αρκετά περίπλοκη σ'ότι αφορά στον σταθμό Μουζάκι, καθώς έχουν ληφθεί δύο σταθμοί βάσης: η Καρδίτσα και η Ανάβρα, αφού κατέσκει δύσκολο να ληφθεί αποκλειστικά ένας από αυτούς ως σταθμός βάσης. Εκτιμήθηκε ποιοτικά από την εποπτεία των βροχομετρικών δεδομένων ότι οι ασυνέπειες αφορούν την περίοδο που έπεται της πρώτης θλάσης και προηγείται της δεύτερης. Σημειώνεται ότι οι θλάσεις εμφανίζονται τόσο στην διπλή αθροιστική καμπύλη ετήσιων δεδομένων, όσο και στην αντίστοιχη των μηνιαίων. Από την εποπτεία των βροχομετρικών δεδομένων θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι μετρήσεις στον συγκεκριμένο σταθμό, ιδιαίτερα στα έτη 1986 έως 1991 έχουν πολλές παραλείψεις και μικρή αξιοπιστία.

Διόρθωση Ασυνέπειας

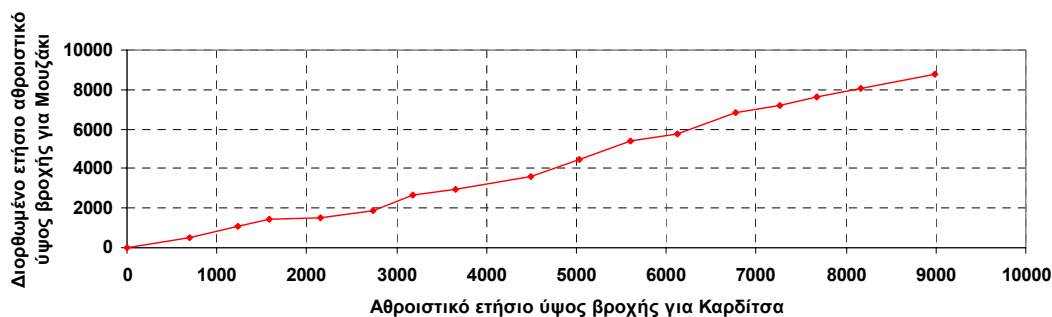
Η ασυνέπεια μιας χρονοσειράς διορθώνεται μέσω της διαδικασίας ανόρθωσης. Κατά τη διαδικασία αυτή πολλαπλασιάζονται τα δεδομένα της ασυνεπούς χρονικής με κατάλληλο συντελεστή ώστε η διπλή αθροιστική καμπύλη να παριστάνεται από συνεχή ευθεία διερχόμενη από την αρχή των αξόνων.

Ο συντελεστής αυτός ισούται με τον λόγο $\lambda = m' / m$, όπου m' : η κλίση της 'ασυνεπούς ευθείας' και m : η κλίση της 'συνεπούς ευθείας'. Αρχικά διορθώθηκαν οι ασυνέπειες από την αθροιστική χρονοσειρά υψών βροχής του σταθμού Ανάβρα. Παρατηρήθηκε από την εipoπεία των βροχομετρικών δεδομένων και κατόπιν αποδείχτηκε από την επεξεργασία τους ότι το τμήμα που επεται της θλάσης είναι ανομοιογενές. Έτσι μετά από τη απαραίτητη διόρθωση προέκυψε το ακόλουθο διάγραμμα:

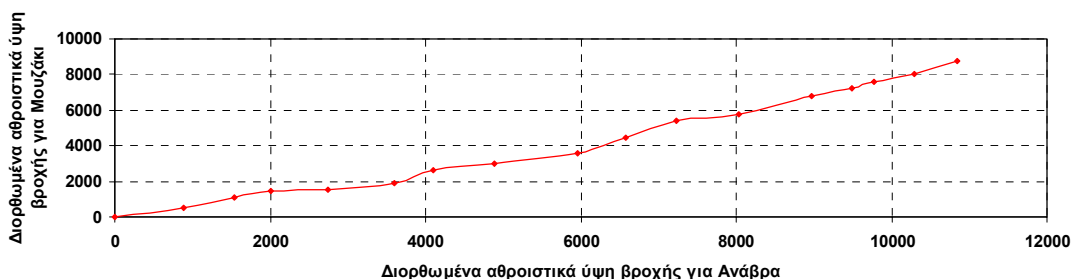


Σχήμα 3. 18: Διορθωμένη αθροιστική καμπύλη Ανάβρα- Καρδίτσα

Στην περίπτωση του βροχομετρικού σταθμού Μουζακίου, για την άρση της ασυνέπειας λήφθηκαν υπόψιν τόσο η κλίση του πρώτου συνεπούς τμήματος λ_1 , όσο και η κλίση του δεύτερου συνεπούς τμήματος λ_2 , καθώς και τα εσωτερικά άλματα. Έτσι για την επεξεργασία των δεδομένων έγινε του συνδυασμένου συντελεστή $\lambda_{ολικό}$. Η κατα το δυνατόν διορθωμένη αθροιστική καμπύλη παρατίθεται παρακάτω:



Σχήμα 3. 19: Διορθωμένη αθροιστική καμπύλη Μουζάκι- Καρδίτσα



Σχήμα 3. 20: Διορθωμένη αθροιστική καμπύλη Μουζάκι- Ανάβρα

Κατάρτιση χρονοσειράς αντιπροσωπευτικής βροχόπτωσης στην περιοχή της Καρδίτσας

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 η σημειακή πληροφορία βροχόπτωσης αποκτά αξιοπιστία όταν αναχθεί σε πληροφορία για το σύνολο της επιφάνειας της υδρολογικής λεκάνης. Για να μετατραπεί σε αντιπροσωπευτική η σημειακή βροχόπτωση της μεθόδου της άμεσης ολοκλήρωσης. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου η επιφανειακή βροχόπτωση στην υπό εξέταση λεκάνη προκύπτει ως γραμμική συσχέτιση της σημειακής βροχόπτωσης των επιμέρους σταθμών πολλαπλασιασμένης με κατάλληλους συντελεστές βαρύτητας. Οι συντελεστές αυτοί τέθηκαν ως μεταβλητές απόφασης της συνάρτησης του συντελεστή συσχέτισης και κατόπιν βελτιστοποίησης προέκυψαν οι καταλληλότερες τιμές. Βασικό κριτήριο για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μεθόδου άμεσης ολοκλήρωσης είναι η πυκνότητα της κατανομής των βροχομετρικών σταθμών. Αντίθετα με την υδρολογική λεκάνη των Ιωαννίνων, στη λεκάνη της Καρδίτσας το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών είναι σχετικά ομοιόμορφα κατανεμημένο και μπορεί να χαρακτηριστεί αντιπροσωπευτικό για τη σημειακή πληροφορία σε όλο το εύρος της λεκάνης. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει η πλειάδα των βροχομετρικών σταθμών που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή από διάφορες κρατικούς φορείς π.χ. υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, υπουργείο Γεωργίας, ΕΜΥ κλπ. Εντούτοις για να εξαλειφθεί το υπεισερχόμενο σφάλμα έγινε χρήση βελτιστοποιημένων συντελεστών βαρύτητας, που αντιστοιχούν στον κάθε βροχομετρικό σταθμό και που υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη και τα λοιπά δεδομένα για το δίκτυο της Καρδίτσας.

Η επιφανειακή βροχόπτωση δίνεται από τον τύπο:

$$h_s = \sum w_i h_i \quad , \text{όπου } i = 1, \dots, k \text{ οι επιμέρους υπό εξέταση σταθμοί.}$$

Συσχέτιση αντιπροσωπευτικού ύψους βροχής και παροχής εισόδου στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.

Παραπάνω αναφέρθηκε μια πρώτη ποιοτική διαπίστωση σε επίπεδο δεκαήμερων διαστημάτων για την παρασιτική εισροή υδάτων στο δίκτυο των Ιωαννίνων, καθώς και ένας πρώτος διαχωρισμός αυτών σε υπόγεια και όμβρια ύδατα. Στη συνέχεια ακολουθεί στατιστική επεξεργασία και ανάλυση της διορθωμένης επιφανειακής πληροφορίας για τη βροχόπτωση σε σχέση με την παροχή εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του δικτύου της Καρδίτσας. Όμοια με την αντίστοιχη διαδικασία για τα Ιωάννινα, η συσχέτιση έγινε λαμβάνοντας διάφορες χρονικές κλίμακες για τις

οποίες προέκυψε το σταθμισμένο ύψος βροχής, δηλαδή το ημερήσιο ύψος βροχής πολλαπλασιαζόμενο με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με τη συμβολή της βροχόπτωσης στην παροχή των λυμάτων. Οι συντελεστές αυτοί τέθηκαν ως μεταβλητές απόφασης της συνάρτησης του συντελεστή συσχέτισης και κατόπιν βελτιστοποίησης προέκυψαν οι καταλληλότερες τιμές.

Οι χρονικές κλίμακες που εξετάστηκαν είναι 1, 4, 5, 6, 7, 14, 30 ημερών. Για τα διαστήματα αυτά τέθηκε ως αντικειμενική συνάρτηση ο συντελεστής συσχέτισης. Κατόπιν βελτιστοποίησης με χρήση εξειδικευμένου λειτουργικού (Solver) προέκυψε ότι η μέγιστη συσχέτιση εμφανίζεται για τη χρονική κλίμακα τριάντα ημερών και είναι ίσος με 0,5383. Στον Πίνακα 3.2 παρατίθενται ενδεικτικά οι συντελεστές βαρύτητας των βροχομετρικών σταθμών και των χρονικών κλιμάκων.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις κλίμακες διάρκειας 1, 4, 5, 6, 7, 14 ημερών. Ο συντελεστής συσχέτισης για τα επιμέρους αυτά διαστήματα παρατίθεται στο ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3. 2: Ο συντελεστής προσδιορισμού για τα επιμέρους διαστήματα υστέρησης

Ημέρες Υστέρησης	1	4	5	6	7	14
Συντελεστής Συσχέτισης Παροχής ακαθάρτων & Σταθμισμένου ύψους βροχής	0,24	0,36	0,37	0,38	0,40	0,50

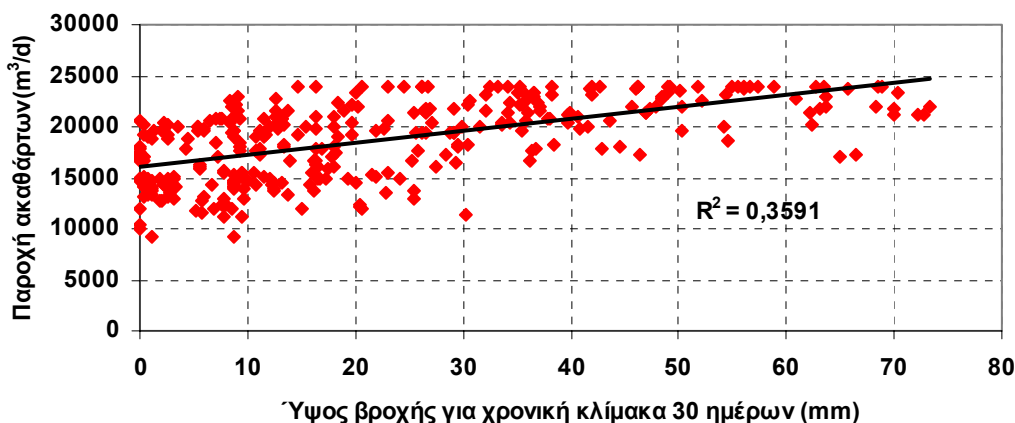
Πίνακας 3. 3: Συντελεστές βαρύτητας ημερών υστέρησης και συντελεστές βαρύτητας βροχομετρικών σταθμών

Αριθμός Ημερών Υστέρησης	Συν/τες Βαρύτητας	
	Συν/τες Βαρύτητας Ημερών Υστέρησης	Βροχομετρικών Σταθμών
1	1	Μουζάκι
2	0,94	0
3	0,94	
4	0,94	Καρδίτσα
5	0,94	1
6	0,69	
7	0,69	Ανάβρα
8	0,69	0,059
9	0,69	
10	0,69	
11	0,65	Αντικειμενική Συρνάρτηση με περιορισμό για την επίδραση του υψομέτρου
12	0,65	
13	0,65	
14	0,65	0,54
15	0,31	
16	0,31	
17	0,31	
18	0,31	
19	0,31	
20	0,31	
21	0,31	
22	0,31	
23	0,31	
24	0,31	

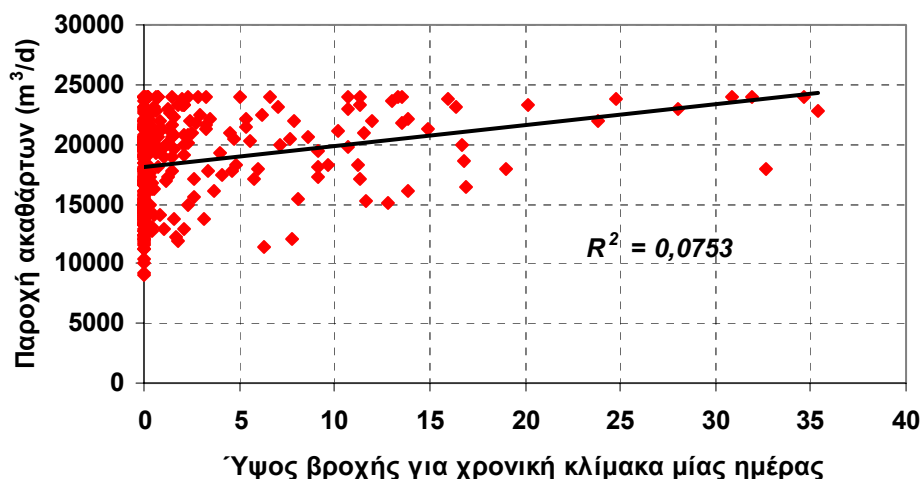
25	0,31
26	0,31
27	0,31
28	0,31
29	0,31
30	0,31
31	0,31

Συνοψίζοντας την προαναφερθείσα ανάλυση εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο συντελεστής συσχέτισης αυξάνει καθώς μεγαλώνει ο αριθμός των ημερών συσχέτισης και η μέγιστη τιμή εμφανίζεται για τριάντα ημέρες υστέρηση. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της μεγαλύτερης συνεισφοράς των υπογείων υδάτων στην παροχή ακαθάρτων του δικτύου της Καρδίτσας συγκριτικά με την αντίστοιχη συνιστώσα των ομβρίων υδάτων.
- Επιπροσθέτως σημειώνεται η ελάχιστη τιμή του συντελεστή συσχέτισης υπολογίστηκε για μια ημέρα υστέρηση και ισούται με 0,24. Η ένδειξη αυτή επιβεβαιώνει τη μικρή, τουλάχιστον για το υπό εξέταση έτος, συμβολή των ομβρίων στη διαμόρφωση των παρασιτικών εισροών.
- Υπογραμμίζεται ότι για το δίκτυο της Καρδίτσας, λόγω των δυσχερειών στην ημερήσια καταγραφή της παροχής ακαθάρτων, εξετάστηκε μόνο ένα ημερολογιακό έτος (2001). Το ετήσιο σταθμισμένο ύψος βροχής για το 2001 είναι 405 mm, τιμή κατὰτι μικρότερη από το σταθμισμένο μέσο ετήσιο ύψος βροχής της περιοχής (485 mm) σε εύρος εικοσαετίας (20). Συνεπώς το 2001 δε χαρακτηρίζεται από ακραίες συνθήκες βροχόπτωσης και αποτελεί αντιπροσωπευτικό, και εν πολλοίς συντηρητικό, δείγμα για το μέγεθος τόσο των όμβριων, όσο και των υπόγειων εισροών στο δίκτυο της Καρδίτσας.
- Στα Σχήματα 3.21 και 3.22 παρουσιάζεται η μετρημένη παροχή ακαθάρτων σε m³/d συναρτήσει του ύψους βροχής σε mm για χρονική κλίμακα 30 ημερών και μίας ημέρας αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού που παρατίθεται στα διαγράμματα είναι βελτιωμένος συγκριτικά με τον αντίστοιχο από την μαθηματική ανάλυση για χρονικές κλίμακες 30 ημερών και μίας (1) ημέρας αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη διαγραφή ενός μικρού αριθμού ακραίων τιμών, οι οποίες είτε προέκυψαν ως αποτέλεσμα εσφαλμένων μετρήσεων, είτε λόγω της μικρής συχνότητας τους δεν αντιπροσωπεύουν τη γενικότερη συμπεριφορά της χρονοσειράς.



Σχήμα 3. 21:Συσχέτιση παροχής ακαθάρτων- ύψους βροχής για χρονική κλίμακα 30 ημερών



Σχήμα 3. 22: Συσχέτιση παροχής ακαθάρτων- ύψους βροχής για χρονική κλίμακα μίας ημέρας

Χρήση χρονοσειρών παροχής των ποταμών ως δείκτη της κατάστασης των υπόγειων υδάτων

Η λογική που ακολουθήθηκε για τον έμμεσο υπολογισμό της συνεισφοράς των ποταμών είναι αντίστοιχη εκείνης που εφαρμόστηκε για το δίκτυο των Ιωαννίνων. Με βάση αυτή τη μεθοδολογία οι μεταβολές στην κατάσταση των υπόγειων υδάτων αντανακλώνται άνεσα στη παροχή των μεγάλων ποτάμων της ευρύτερης περιοχής. Κατά συνέπεια αυτή η ιδιότητα των ποταμών τα καθιστά της αξιόπιστο δείκτη όσον αφορά τη διακύμανση των υπόγειων υδάτων. Υπολογίζοντας, λοιπόν, τον συντελεστή συσχέτισης για τις χρονοσειρές παροχής ποταμών και παροχής ακαθάρτων επιβεβαιώνουμε τη μεγάλη συμβολή των υπόγειων υδάτων στη συνολική παροχή ακαθάρτων του δικτύου. Εν συνεχεία τις ποτάμιες παροχές θα τις εντάξουμε στο τελικό μοντέλο, όπου θα ποσοτικοποιηθούν οι παρασιτικές εισροές του δικτύου και θα αναλυθούν στις συνιστώσες τους. Για την υδρολογική λεκάνη της Καρδίτσας κατέστη δυνατό να συλλεχθούν στοιχεία για την ημερήσια παροχή του Μέγδοβα, η οποία μετράται από τη ΔΕΗ στη θέση του αντίστοιχου υδροηλεκτρικού .

Συσχέτιση ποτάμιων παροχών με την παροχή εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων.

Το επόμενο βήμα είναι η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση της ημερήσιας ποτάμιας παροχής σε σχέση με την παροχή εξόδου από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του δικτύου της Καρδίτσας. Η ποτάμια παροχή που συσχετίστηκε με την παροχή ακαθάρτων προέκυψε ως η σταθμισμένη ημερήσια παροχή του ποταμού, δηλαδή το γινόμενο της συλλεχθείσας παροχής του Μέγδοβα επί ένα βελτιστοποιημένο συντελεστή βαρύτητας. Η συσχέτιση έγινε λαμβάνοντας διάφορες χρονικές κλίμακες για τις οποίες προέκυψε η σταθμισμένη ποτάμια παροχή, δηλαδή η ημερήσια παροχή πολλαπλασιασμένη με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με τη συμβολή της παροχής στην παροχή των λυμάτων. Οι συντελεστές αυτοί τέθηκαν ως μεταβλητές απόφασης της συνάρτησης του συντελεστή συσχέτισης και κατόπιν βελτιστοποίησης προέκυψαν οι καταλληλότερες τιμές.

Τα διαστήματα που μελετήθηκαν είναι 1, 4, 5, 6, 7, 14, 30 ημέρες. Για τα διαστήματα αυτά τέθηκε ως αντικειμενική συνάρτηση ο συντελεστής συσχέτισης. Κατόπιν βελτιστοποίησης με χρήση εξειδικευμένου λειτουργικού (Solver) προέκυψε ότι η μέγιστη συσχέτιση εμφανίζεται για διάστημα τριάντα (30) ημερών υστέρησης και είναι ίσος με 0,56. Στο σημείο αυτό πρέπει να υπογραμμιστεί ότι

οι παρακάτω συντελεστές συσχέτισης προέκυψαν εξετάζοντας τα συλλεγόμενα στοιχεία της ημερήσιας παροχής ακαθάρτων και παροχής του ποταμού Μέγδοβα για ένα ημερολογιακό έτος. Ακόμη σημειώνεται ότι δεν κατέστη δυνατό να βρεθούν πλήρη ημερήσια δεδομένα για άλλο ποτάμι στην υδρολογική λεκάνη της Καρδίτσας. Εντούτοις για την εξέταση της συμβολής ενός και μόνο ποταμού οι προκύπτοντες συντελεστές συσχέτισης μπορούν να χαρακτηριστούν υψηλοί. Στον Πίνακα 3.4 παρατίθενται ενδεικτικά ο συντελεστής βαρύτητας του ποταμού και των χρονικών κλιμάκων για τα εξεταζόμενα διαστήματα.

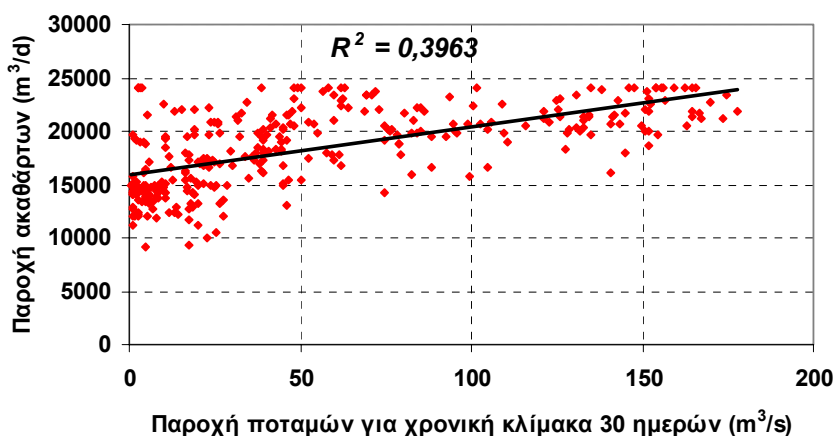
Πίνακας 3. 4: Συντελεστές συσχέτισης και συντελεστές βαρύτητας ποταμού

Ημέρες Υστέρησης	1	4	5	6	7	14	30
Συν/τες Βαρύτητας Μέγδοβα	1	1	1	1	1	1	1
Αντικειμενική Συρνάρτηση Συσχέτισης Παροχής Ποταμού και Παροχής Ακαθάρτων	0,332	0,4752	0,4468	0,5161	0,5346	0,5988	0,6295

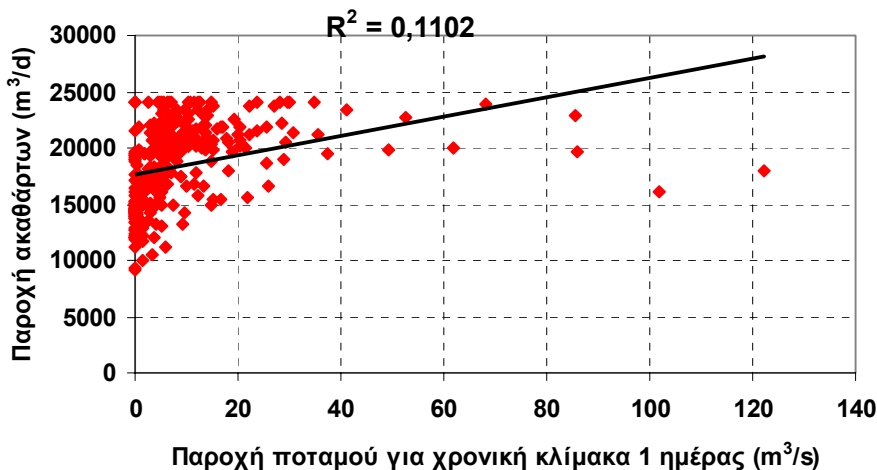
Συνοψίζοντας την προαναφερθείσα ανάλυση εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το γεγονός ότι ο συντελεστής συσχέτισης για τη συσχέτιση ενός και μόνο ποταμού λαμβάνει τις τιμές που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνει τη μεγάλη συμβολή των υπογείων υδάτων στη διαμόρφωση της παροχής ακαθάρτων και ενισχύει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό της υπόγειας συνιστώσας των ακαθάρτων.
- Ακόμη την αξιοπιστία της μεθοδολογίας επιτείνει το γεγονός ότι τα δεδομένα που εξετάστηκαν καλύπτουν ένα ημερολογιακό έτος, μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (2001).
- Για όλες τις χρονικές κλίμακες ο συντελεστής βαρύτητας του ποταμού δεν προέκυψε ως μεταβλητή του προβλήματος βελτιστοποίησης και λήφθηκε αυθαίρετα ίσος με τη μονάδα.
- Οι συντελεστές συσχέτισης κατά γενική τάση αυξάνονται με την αύξηση της διάρκειας της χρονικής κλίμακας.
- Για τα διαστήματα 4, 5 ημερών οι προκύπτοντες συντελεστές συσχέτισης είναι της τάξης του 0,45 – 0,48. Αντίθετα μετά το διάστημα των 6, 7 ημερών ο συντελεστής αυτός αυξήθηκε στο 0,51 – 0,53. Για το διάστημα 14 και 30 ημερών υστέρησης η αντιστοιχία στη συμπεριφορά των χρονοσειρών παροχής ακαθάρτων και παροχής ποταμού αγγίζει το 0,60 – 0,63.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μετρημένη παροχή ακαθάρτων σε m³/d συναρτήσει της παροχής ποταμού σε m³/s για χρονική κλίμακα 30 ημερών και μίας ημερών αντίστοιχα:



Σχήμα 3. 23: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων -Παροχής Ποταμών για χρονική κλίμακα 30 ημερών



Σχήμα 3. 24: Συσχέτιση μετρημένης παροχής ακαθάρτων - Ύψους Βροχής για χρονική κλίμακα μίας ημέρας

Συλλογή μηνιαίων τιμών οδατικής κατανάλωσης

Το νερό ύδρευσης προέρχεται από τον υδροηλεκτρικό σταθμό Ταυρωπού. Αρχικά χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας στον υδροηλεκτρικό σταθμό και στη συνέχεια συγκεντρώνεται σε αναρρυθμιστική δεξαμενή χωρητικότητας 600000 m³ για την άρδευση της πεδιάδας της Καρδίτσας. Τη διαχείριση του υδρευτικών αποθεμάτων νερού έχει αναλάβει ο Σύνδεσμος Ύδρευσης. Το νερό σύμφωνα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων έργου αποχέτευσης ακαθάρτων περιοχών Δ.Δ. Καρδίτσομαγούλας και Αρτεσιανού Δήμου Καρδίτσας της ΔΕΥΑ Καρδίτσας τόσο για την ύδρευση, όσο και για την άρδευση είναι εξαιρετικής ποιότητας. Ενδεικτικά παρατίθεται οι μέσες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού pH = 8.01, ηλεκτρική αγωγιμότητα = 300ΜΗΟΣ/LIT, CaCO₃ = 16.9, CO₂ = 0, χλωριόντα και αμμωνία = 0.

Συγκεκριμένα για τα επιφανειακά νερά η ποιότητά τους είναι καλή τουλάχιστον έως τα πεδινά, καθώς οι σχηματισμοί που συναντώνται κατά την επιφανειακή απορροή δεν είναι επιβαρυντικοί για το νερό. Ομοίως τα υπόγεια νερά που διατρέχουν τα στρώματα ασβεστολίθων και φλύσχη είναι καλής ποιότητας. Αντίθετα ο αβαθής φρεάτιος υδροφορέας που σχηματίζεται κατά τόπους στις ποτάμιες αποθέσεις και τις αλλουβιακές προσχώσεις είναι επιβαρυνμένος από τα φυτοφάρμακα και λιπάσματα, που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις καλλιέργειες του κάμπου. (ΔΕΥΑ Καρδίτσας)



Σχήμα 3. 25: Υδατική κατανάλωση και παροχή ακαθάρτων ανά ημέρα για το ημερολογιακό έτος 2001

Μοντέλο μη γραμμικής παλινδρόμησης

Κατά τη σύνταξη του γραμμικού μοντέλου κρίθηκε αναγκαίο να ερευνηθεί κατά πόσο οι παρασιτικές εισροές περιγράφονται από μοντέλο μη γραμμικής παλινδρόμησης. Σ' αυτήν την περίπτωση η παραμετρική εξίσωση του μοντέλου είναι η εξής:

$$Q = a + f \cdot Y^h + b \cdot \Pi^c + d \cdot B^e + E \quad (1)$$

, όπου:

- Q: κανονικοποιημένη παροχή ακαθάρτων
- Π: κανονικοποιημένη παροχή ποταμών για 30 ημέρες υστέρηση
- B: κανονικοποιημένο ύψος βροχής για μία ημέρα υστέρησης
- E: κανονικοποιημένη πρόσθετη συνιστώσα ομβρίων (από φιλτράρισμα χρονοσειρών)
- Y: κανονικοποιημένη υδατική κατανάλωση
- a, b, c, d, e, f, h: συν/τές από μοντέλο

Αναλυτικά οι συνιστώσες του μοντέλου θεωρείται ότι εκφράζουν:

- $a + f \cdot Y^h$: παροχή λυμάτων
- $b \cdot \Pi^c$: εισροή υπογείων υδάτων
- $d \cdot B^e + E$: εισροή ομβρίων υδάτων

Κατόπιν βελτιστοποίησης προκύπτουν οι ακόλουθοι συντελεστές και εκθέτες για το μοντέλο:

$$Q_{\text{Ακαθάρτων}} = 0,82 + 0 \cdot Y + 0,142 \cdot \Pi^{0,41} + 0,0375 \cdot B^{0,72} + E \quad (2)$$

Όπως προέκυψε από τη μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των παρασιτικών στα Ιωάννινα, η βέλτιστη προσομοίωση της διακύμανσης των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο προέκυψε από τη σύνταξη του μοντέλου μη γραμμικής παλινδρόμησης. Στην περίπτωση της Καρδίτσας το μοντέλο αναλύθηκε σε ετήσια βάση για το υπό εξέταση ημερολογιακό έτος 2001. Δεν κρίθηκε αξιόπιστη η ανάλυση σε τετραμηνιαία βάση, καθώς το δείγμα είναι πολύ μικρό για τέτοιου είδους ανάλυση. Τα δεδομένα για το μη γραμμικό μοντέλο προήλθαν από το μέσο όρο των κανονικοποιημένων χρονοσειρών για το υπό εξέταση έτος. Η ετήσια κλίμακα, όπως διαπιστώθηκε και για την περίπτωση των Ιωαννίνων οδηγεί στη σύνταξη γενικότερου μοντέλου με ενιαίους συντελεστές καθόλη τη διάρκεια του έτους 2001. Τα δεδομένα εισόδου είναι οι κανονικοποιημένες ημερήσιες τιμές των χρονοσειρών της βροχόπτωσης για χρονική κλίμακα μίας ημέρας, η υδατική κατανάλωση και η ποτάμια παροχή για χρονική κλίμακα 30 ημερών. Όλες οι χρονοσειρές αναφέρονται στο διάστημα Ιανουάριος 2001 έως Δεκέμβριος 2001. Κατά τη σύνταξη του μοντέλου έγινε και πάλι φιλτράρισμα των αιχμών της παροχής ακαθάρτων, δεδομένου ότι είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι οι κορυφές των ακαθάρτων οφείλονται σε εισροή όμβριων υδάτων στο δίκτυο. Ως αιχμές των ακαθάρτων ορίστηκαν και για την περίπτωση του μη γραμμικού μοντέλου της Καρδίτσας οι κανονικοποιημένες τιμές της χρονοσειράς που ξεπερνούν το 1,2 ή την μη κανονικοποιημένη τιμή 20724,8 m³/d. Η τιμή αυτή εκτιμήθηκε κατόπιν βετιστοποίησης, οπότε υπολογίστηκε ότι μέγιστη συσχέτιση ανάμεσα στη χρονοσειρά του ύψους βροχής για μια (1) ημέρα υστέρηση και των κορυφών της παροχής ακαθάρτων. Η μέγιστη συσχέτιση προέκυψε για την τιμή 1,13 και ήταν ίση με 0,3. Στη συνέχεια για λόγους ασφαλείας έγινε προσαύξηση κατά 10% και η τιμή ορίστηκε στο 1,2 με συντελεστή συσχέτισης 0,27, ο οποίος κρίθηκε ικανοποιητικός, δεδομένων των δυσχερειών της παρούσας ανάλυσης.

Στον Πίνακα 3.5 παρακάτω πίνακες παρατίθενται οι συντελεστές που προέκυψαν για κάθε ανάλυση με βάση το μη γραμμικό μοντέλο και την ετήσια ανάλυση. Έτσι, ο συντελεστής των υπογείων υδάτων υπολογίστηκε 14,2%, ενώ των ομβρίων σε 3,75%. Για την ποσοτικοποίηση των παρασιτικών εισροών από τα όμβρια ύδατα πρέπει να συνυπολογιστούν οι πρόσθετες εισροές που προέρχονται από το «φιλτράρισμα» των αιχμών των ακαθάρτων. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι ο συντελεστής προσδιορισμού υπολογίστηκε από το μοντέλο ίσος με 0,125 ή 12,5 %. Η τιμή αυτή δεν είναι ικανοποιητική, εντούτοις πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι σημαντικές ελλείψεις σε δεδομένα, καθώς και οι δυσκολίες στην εξεύρεση και τον υπολογισμό τους.

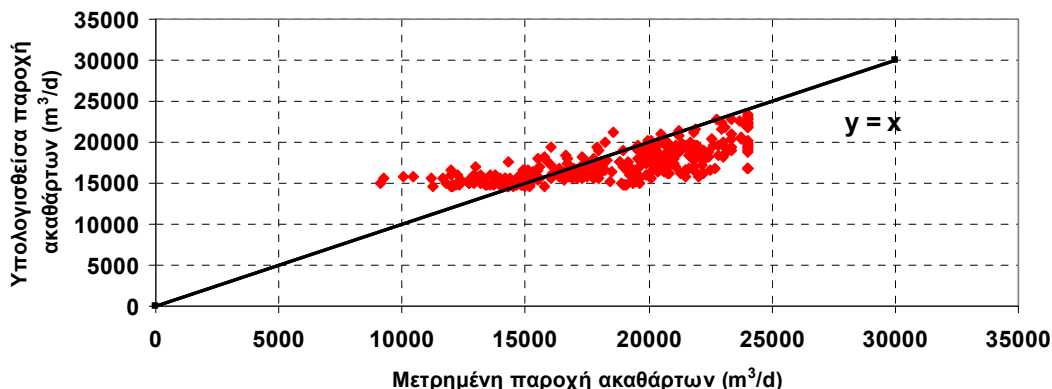
Πίνακας 3. 5: Ετήσιοι συντελεστές από μοντέλο μη γραμμικής παλινδρόμησης

ΕΤΗΣΙΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ			
Συντελεστής Παροχής Ποταμών	Συντελεστής Ομβριων Υδάτων	Συντελεστής Υδατικής Κατανάλωσης	Σταθερός Όρος
0,136	0,036	0	0,787
r^2	r		
0,124	0,353		

Για το μοντέλο προέκυψε ότι ο συντελεστής προσδιορισμού (r^2) των εκτιμώμενων και των μετρημένων χρονοσειρών ακαθάρτων είναι **0,124**. Η συσχέτιση αυτή δηλώνει ικανοποιητική περιγραφή της παροχής ακαθάρτων του δικτύου από το μοντέλο στο 12,4 % των περιπτώσεων. Όμως εξαιρώντας από τη μελέτη ένα πολύ μικρό αριθμό ακραίων τιμών αυξάνεται σημαντικά φθάνοντας το 37 %, και κατόπιν του συνυπολογισμού των πρόσθετων εισροών ισούται με 0,544 ή 54,4%. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι το μοντέλο είναι αρκετά γενικό και αξιοπιστο και πως η αρχική τιμή που εκτιμήθηκε για τον συντελεστή προσδιορισμού οφείλεται σε εσφαλμένα δεδομένα εισόδου. Σημειώνεται ότι για μη γραμμικά μοντέλα ο συντελεστής προσδιορισμού είναι πιο αξιόπιστος.

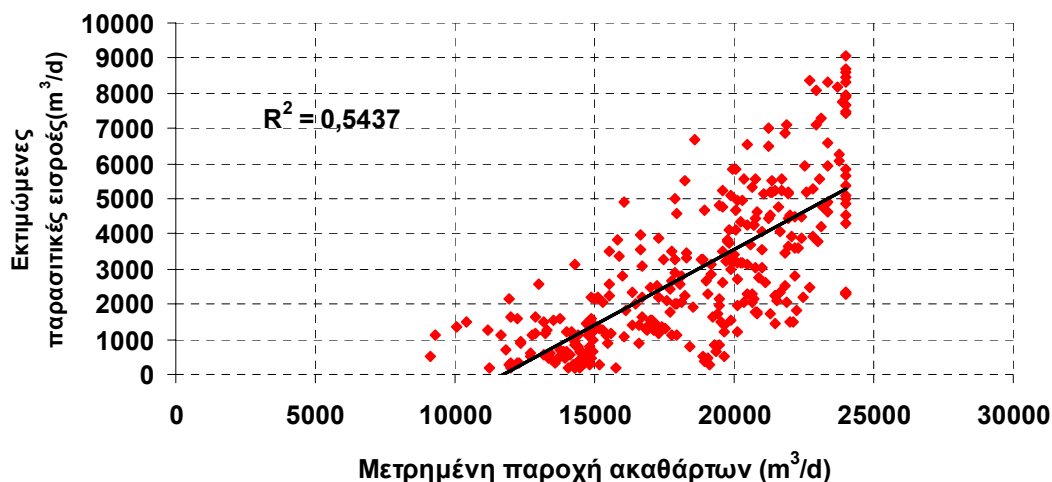
Κατά την πορεία διαμόρφωσης του μοντέλου για να ελεγχθεί η στοχαστική ή μη σχέση που διαμορφώθηκε ανάμεσα στην παροχή ακαθάρτων του δικτύου (ανεξάρτητη μεταβλητή) και στις παροχές ποταμών και ομβρίων για τη λεκάνη έγινε χρήση της κατανομής F . Με τη βοήθεια του προγράμματος EXCEL προσδιορίστηκαν η τιμή που προκύπτει από την κατανομή F για $p = 0.95$ ίση με 23 καθώς και οι βαθμοί ελευθερίας που βρέθηκαν 334 . Οι βαθμοί ελευθερίας που προσδιορίστηκαν με αυτόν τον τρόπο αποτελούν συνδυασμό των στατιστικών συμβόλων $v1$ και $v2$. Στο σημείο αυτό λαμβάνει χώρα ο δεύτερος έλεγχος για την καταλληλότητα του μοντέλου που εκφράζεται στην εξίσωση (1). Για να ελεγχθεί η αξιοπιστία των τιμών που προκύπτουν από την κατανομή F για $p = 0.95$ υπολογίστηκε η κρίσιμη τιμή της κατανομής F για τις χρονοσειρές από τους πίνακες της κατανομής F για $v1 = 2$ (αριθμός ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου) και $v2 = n + (k + 1)$, όπου n το μέγεθος των υπό εξέταση δειγμάτων που στην παρούσα εργασία είναι ίδιο και για τις δύο ανεξάρτητες μεταβλητές. Έτσι προέκυψε ότι η κρίσιμη τιμή της F ίση με 0,05. Η τιμή αυτή είναι σαφέστατα μικρότερη από την υπολογισθείσα, γεγονός που αποδεικνύει την αξιοπιστία του μοντέλου. (Spiegell, Hayslett 1971)

Στο παρακάτω διάγραμμα ελέγχεται η επίδοση του μοντέλου με τη μορφή της συσχέτισης της υπολογισθείσας παροχής ακαθάρτων και της μετρημένης παροχής ακαθάρτων ως προς την ευθεία $y = x$:

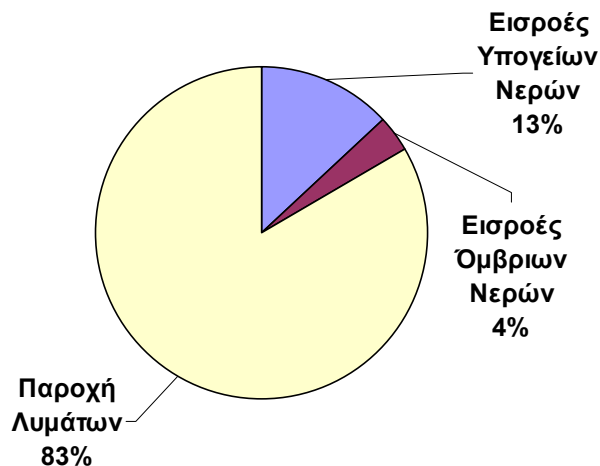


Σχήμα 3. 26: Συσχέτιση υπολογισθείσας παροχής ακαθάρτων- μετρημένης παροχής ακαθάρτων

Ακολούθως άλλο ένα κριτήριο της επίδοσης του μοντέλου αποτελεί η γραμμική συσχέτιση των υπολογισθέντων παρασιτικών εισροών με την μετρημένη παροχή ακαθάρτων στην έξοδο της εγκατάστασης, όπως σημειώνεται και στο διάγραμμα ο συντελεστής προσδιορισμού των χρονοσειρών (r^2) ισούται με 0,544. Ο συντελεστής προσδιορισμού, που προκύπτει, θεωρείται ικανοποιητικός. Εντούτοις χωρίς να αναιρείται την αξιοπιστία του συνταχθέντος μη γραμμικού μοντέλου είναι εμφανείς οι ελλείψεις σε δεδομένα και μετρήσεις.

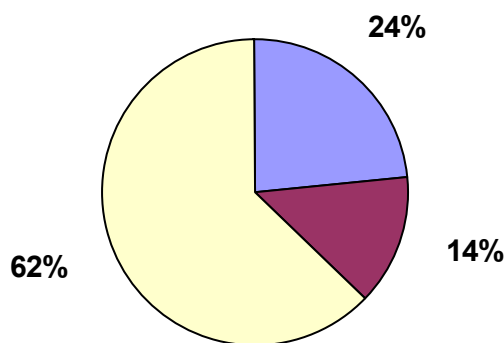


Σχήμα 3. 27: Συσχέτιση εκτιμώμενων παρασιτικών εισροών- μετρημένης παροχής ακαθάρτων



Σχήμα 3. 28: Συνιστώσες ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα

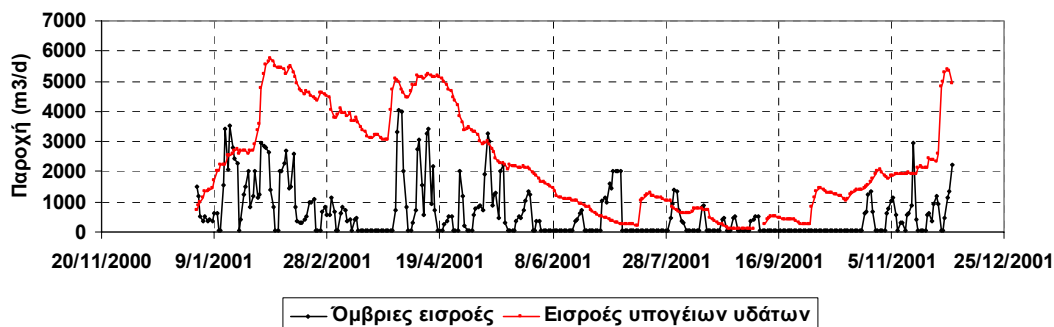
Το Σχήμα 3.28 προέκυψε τις συνιστώσες της παροχής ακαθάρτων για τη μέση ετήσια κλίμακα, όπως αυτές υπολογίστηκαν από το μοντέλο. Σημειώνεται ότι η συσχέτιση της υπολογισθείσας και της μετρημένης παροχής ακαθάρτων ισούται με 0,54. Ακόμη από το Σχήμα 3.28 γίνεται φανερό ότι η μέση τιμή των εισροών είναι 17% της μέση παροχή ακαθάρτων ή 2936,24 m³/d. Για την περίοδο εμφάνισης του μέγιστου 5% της παροχής ακαθάρτων προκύπτει ότι το 38% της παροχής ακαθάρτων προέρχεται από παρασιτικές εισροές, γεγονός που επιβεβαιώνει τις επιτόπιες παρατηρήσεις της ΔΕΥΑ Καρδίτσας που ανέφεραν μεγάλη αύξηση της παροχής ακαθάρτων στις ημέρες έντονης βροχόπτωσης. Το Σχήμα 3.29 παριστάνει τις συνιστώσες των ακαθάρτων για το μέγιστο 5% της παροχής:



Σχήμα 3. 29: Συνιστώσες της παροχής ακαθάρτων για την περίοδο που εμφανίζεται το μέγιστο 5 % των τιμών της παροχής ακαθάρτων

Ένας άλλος ποιοτικός έλεγχος της επίδοσης του μοντέλου αποτελεί η κατανομή των παρασιτικών εισροών στο χρόνο, καθώς επιβεβαιώνει τις αρχικές ποιοτικές εκτιμήσεις και καταδεικνύει την πραγματική προέλευση των παρασιτικών εισροών. Έτσι και σύμφωνα με το Σχήμα 3.30 παρατηρούμε αύξηση της εισροής υπογείων υδάτων κατά τους εαρινούς μήνες, οπότε και η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλή με μέγιστη τιμή τις 5500 m³/d, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς

μήνες η εισροή υπόγειων υδάτων μειώνεται σημαντικά. Αντίστοιχα η εισροή όμβριων υδάτων εμφανίζει αιχμές μετά από έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.30 εμφανίζονται ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες με μέγιστη τιμή 4000 m³/d. Αντίθετα το καλοκαίρι η συμβολή των ομβρίων στην παροχή ακαθάρτων μειώνεται σημαντικά. Υπενθυμίζεται ότι η ανάλυση στο δίκτυο της Καρδίτσας έγινε για ένα ημερολογιακό έτος.



Σχήμα 3. 30: Κατανομή των παρασιτικών εισροών για το έτος 2001

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΙΤΙΕΣ:

Για τη σύνταξη μελέτης με αξιόπιστα αποτελέσματα είναι απαραίτητη η συστηματική ημερήσια μέτρηση της παροχής ακαθάρτων στην είσοδο της εγκατάστασης, καθώς και των λειτουργικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης σε κάθε μονάδα αυτής (είσοδος, πρωτοβάθμια επεξεργασία κ.λ.π. Αυτό θα πρέπει να είναι κύριο μέλημα της ΔΕΥΑ Καρδίτσας τόσο για τα επόμενα χρόνια, όσο και για τις υπάρχουσες καταγραφές. Με βάση τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια της εκτίμησης της παροχής ακαθάρτων προέκυψε το μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω. Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παρασιτικών εισροών είναι υπόγειας προέλευσης 13 % της συνολικής παροχής ακαθάρτων για τη μέση ετήσια κλίμακα, ενώ μετά από βροχοπτώση αυξάνεται σημαντικά και ανέρχεται σε 24 %, αφού προφανώς συνυπολογίζεται και η συμβολή ομβρίων με υστέρηση, δηλαδή η αποστράγγιση της θεμελίωσης κ.λ.π. Επιπλέον μετά από βροχοπτώση το ποσοστό εισροής ομβρίων στο δίκτυο ανέρχεται στο 14 %, ενώ για τη μέση παροχή το ποσοστό αυτό υπολογίστηκε σε 4 %. Από τα αποτελέσματα αυτά συνάγεται ότι στο δίκτυο εισρέουν τόσο όμβρια, όσο και υπόγεια ύδατα.

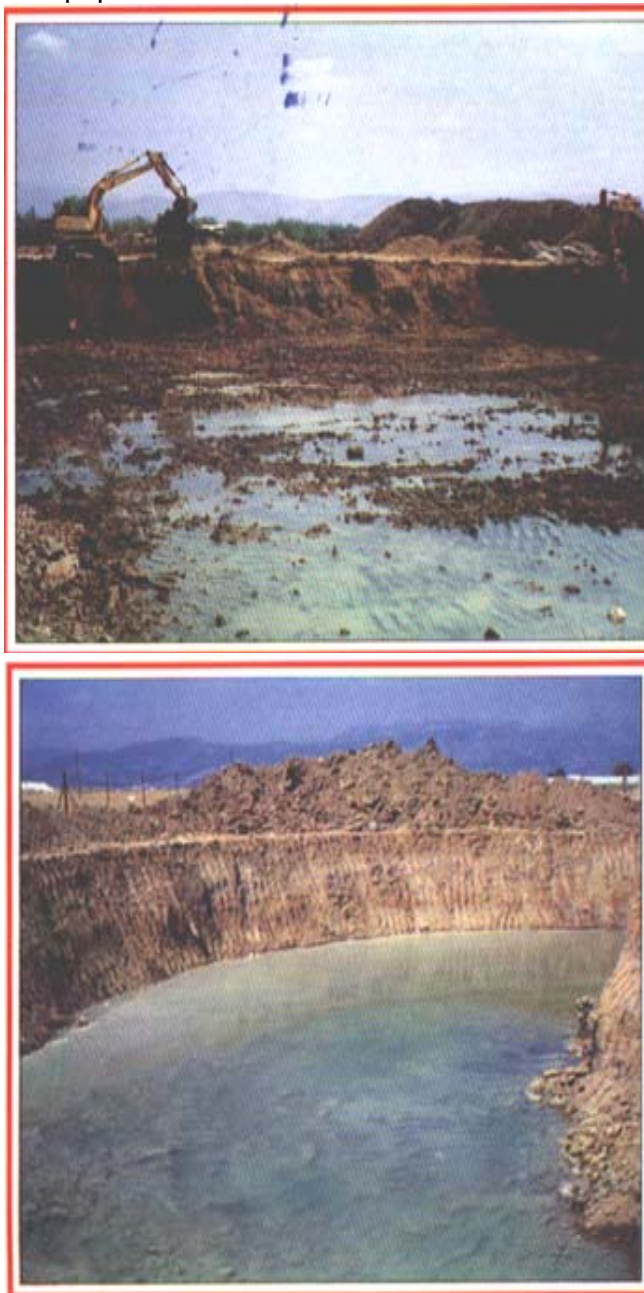
Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό σε τη σχετικά μικρή ηλικία του δικτύου και τον χωριστικό του χαρακτήρα ενισχύει την πιθανότητα οι εισροές στο δίκτυο να οφείλονται σε ρωμάτωση ή καταστροφή αγωγών, σε ατέλειες στη σύνδεση των αγωγών, σε ελαττωματική κάλυψη των φρεατίων και των ανθρωποθυρίδων, καθώς και σε παράνομη σύνδεση της απαγωγής των ομβρίων από σκεπές, αυλές και θεμελιώσεις στο δίκτυο ακαθάρτων. Επίσης παλιοί βόθροι, εκτός λειτουργίας που δεν έχουν σφραγιστεί, ενδεχομένως να αποτελούν πηγή εισροών υπογείων υδάτων ιδιαίτερα κατά τις περιόδους υψηλού υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον από τη ΔΕΥΑ Καρδίτσας υποδειχθήκανε ως πιθανές αιτίες εισροών οι διαφορικές παραμορφώσεις των αγωγούς από τη διέλευση βαρέων οχημάτων (φορτίο μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο για το οδόστρωμα). Το γεγονός αυτό επιτείνεται από την έλλειψη ελαστικών δακτυλίων στις συνδέσεις των αγωγών. Υπενθυμίζεται ότι το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου αποτελείται από αγωγούς πλαστικούς αγωγούς (PVC) και αγωγούς σκυροδέματος, ενώ δεν έχει γίνει στεγάνωση των αρμών σύνδεσης των αγωγών. Οι αγωγοί από σκυρόδεμα είναι ευαίσθητοι στη σύνδεσή τους κατά τμήματα.

Οι ενέργειες που συστήνονται στην ΔΕΥΑ Καρδίτσας κατόπιν της παρούσας εργασίας είναι η εκτενής επιθεώρηση του δικτύου: αρχικά επιθεωρώντας τα φρεάτια, στη συνέχεια βιντεοσκοπώντας εσωτερικά το δίκτυο με κατάλληλο κλειστό κύκλωμα. Επιπλέον με χρήση κατάλληλων σύγχρονων μεθόδων, π.χ. μέθοδος καπνού, είναι δυνατό να ελεγχθούν ιδιωτικές ιδιοκτησίες για παράνομη αποστράγγιση σκεπών, αυλών και θεμελίων. Η μέθοδος καπνού συστήνεται καθώς είναι οικονομική και εύκολη στη διεξαγωγή. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η ΔΕΥΑ Καρδίτσας έχει κατατάξει τις παράνομες συνδέσεις σε πρωταρχική πηγή παρασιτικών εισροών στο δίκτυο. Αν η ένδειξη πιστοποιηθεί από την επιθεώρηση του δικτύου, τότε είναι αναγκαίο κατά την αντιμετώπιση του προβλήματος να σταθούν αρωγοί οι δημότες. Οι διεθνείς αναφορές αποδεικνύουν ότι με κατάλληλη ενημέρωση οι πολίτες στην πλειοψηφία τους θα ευαισθητοποιηθούν στις έκκλησεις της ΔΕΥΑ και θα συνδράμουν στο έργο της.

Κεφάλαιο 4ο: Δίκτυο ακαθάρτων Άργους - Ναυπλίου

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στις εικόνες του σχήματος 4.1 και 4.2 φαίνονται οι εργασίες για την εκσκαφή και θεμελίωση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων που εξυπηρετεί τον δήμο Άργους, Ναυπλίου, Νέας Κίου, καθώς και τις βιομηχανίες της ευρύτερης περιοχής. Όπως φαίνεται και στην εικόνα κατά την εκσκαφή και σε βάθος περίπου δύο μέτρων (2 m) από την επιφάνεια του εδάφους συναντήθηκε ο υδροφόρος ορίζοντας. Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, εξολοκλήρου το δίκτυο και ο κεντρικός αγωγός του Ναυπλίου, καθώς και τμήμα του κεντρικού αγωγού του Άργους βρίσκονται πολύ κοντά στην ακτογραμμή. Συνεπώς ο υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής έχει άμεση επικοινωνία με τη θάλασσα. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται από τις μαρτυρίες των μηχανικών της ΔΕΥΑ Άργους που επέβλεπαν την κατασκευή της εγκατάστασης. Σημειώνεται σ' αυτό το σημείο ότι για τη θεμελίωση της εγκατάστασης έγινε άντληση των υδάτων.



Σχήμα 4.1 & 4.2 : Εργασίες εκσκαφής και θεμελίωσης εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων

ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται σκαρίφημα των αγωγών προσαγωγής του δικτύου αποχέτευσης του Άργους και του Ναυπλίου.



Πηγή: ΔΕΥΑ Άργους

Σχήμα 4.3: Κεντρικοί αγωγοί μεταφοράς λυμάτων δήμων Άργους και Ναυπλίου

Ο αγωγός προσαγωγής του Άργους κατασκευάστηκε το 1996 και αποτελείται από τσιμεντοσωλήνες μήκους δύο μέτρων (2 m) κυκλικής διατομής διαμέτρου 1000mm. Ο αντίστοιχος αγωγός του Ναυπλίου κατασκευάστηκε την περίοδο 1993-1996 από σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE) και κάθε σωλήνας έχει μήκος δώδεκα (12 m), είναι κυκλικής διατομής και διαμέτρου 800mm. Ο δήμος Νέας Κίου συμβάλλει στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων μέσω καταθλιπτικών πλαστικών αγωγών από PVC. Οι αγωγοί προσαγωγής του Ναυπλίου και του Άργους, που είναι οι κύριοι τροφοδότες της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, είναι τοποθετημένοι κάτω από τη στάθμη του

υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος βρίσκεται σε στάθμη 2 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά μέσον όρο το βάθος τοποθέτησης του κεντρικού αγωγού μεταφοράς των λυμάτων του δήμου Άργους είναι 5 m κάτω από την επιφάνεια τους εδάφους.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η ενοποιημένη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων εξυπηρετεί τους δήμους Άργους, Ναύπλιου, Νέας Κίου, Μηδέας και τις βιομηχανίες της περιοχής. Η προμελέτη για την μελέτη και κατασκευή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας Άργους-Ναυπλίου-Νέας Κίου ανατέθηκε από τη νομαρχία Αργολίδος στα τέλη του 1989 στο μελετητικό γραφείο ΕΨΙΛΟΝ ΕΠΕ – Κ. ΛΕΦΑΣ. Από τη μελέτη επιλέχθηκε η λύση της κοινής μονάδας για τους τρεις δήμους με το σκεπτικό αφενός της μείωσης τόσο του κατασκευαστικού, όσο και του λειτουργικού κόστους και αφετέρου της ασφαλέστερης και ευχερέστερης λειτουργίας. Η προμελέτη εγκρίθηκε στις αρχές του 1991 και περιλάμβανε δύο κατασκευαστικές φάσεις: η πρώτη με χρονικό ορίζοντα το 2010 και η δεύτερη το 2030. Η χρηματοδότηση του έργου έγινε από το κοινοτικό πρόγραμμα ENVIREG. Κύριος του έργου ήταν η ΔΕΥΑ Άργους και ο ανάδοχος επιλέχθηκε κατόπιν διεθνούς διαγωνισμού. Η σύμβαση υπόγραφηκε στις αρχές 1993 με την κοινοπραξία Διάκεντρος Α. Ε. SIDI Srl.

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης έγινε με βάση τη μέθοδο της ενεργού ιλύος με σταθεροποίηση της ιλύος κατά την πρώτη φάση, ενώ κατά τη δεύτερη φάση προβλέπεται η προσθήκη της διεργασίας της πρωτοβάθμιας καθίζησης και της σταθεροποίησης της λάσπης με αναερόβια χώνευση. Επιπλέον οι αγωγοί προσαγωγής του Άργους και του Ναυπλίου καταλήγουν σε κοινό φρεάτιο και από εκεί μεταφέρονται στο αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης. Στο αντλιοστάσιο αυτό χύνονται και τα βοθρολύματα από τη μονάδα υποδοχής και επεξεργασίας βοθρολυμάτων. Στη μονάδα αυτή τα βοθρολύματα υφίστανται προεπεξεργασία πριν τη μεταφορά τους μέσω του αντλιοστασίου αρχικής ανύψωσης στις κύριες μονάδες. Η προεπεξεργασία των βοθρολυμάτων στη μονάδα υποδοχής και επεξεργασίας περιλαμβάνει την εσχάρωση και τον αερισμό για την ομογενοποίηση και σταθεροποίηση των βοθρολυμάτων. Η μονάδα έχει ανεξάρτητο σύστημα απόσμησης.

Σύμφωνα με τη γραμμή λυμάτων μετά το αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης τα λύματα και τα βοθρολύματα οδηγούνται στις μονάδες προεπεξεργασίας: την εσχάρωση, τον μετρητή παροχής και το δίδυμο εξαμωτή – λιποσυλλέκτη. Αναλυτικά κατά την εσχάρωση διαχωρίζονται τα ογκώδη αντικείμενα, στη συνέχεια μετράται η παροχή εισόδου των λυμάτων στον μετρητή παροχής και στον εξαμωτή – λιποσυλλέκτη καθιζάνει η άμμος και συγκρατώνται τα λίπη. Μετά την προεπεξεργασία τα λύματα οδηγούνται στη βιολογική μονάδα, που αποτελείται από δύο δεξαμενές βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου, τρεις δεξαμενές απονιτροποίησης και τρεις δεξαμενές αερισμού. Η επιλογή πολλαπλών γραμμών επεξεργασίας έγινε με κριτήριο την ευελιξία της μονάδας στις διακυμάνσεις φορτίου και παροχών και την εύκολη συντήρηση αυτής.

Στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας τα ανεπεξέργαστα λύματα αναμιγνύονται με την ανακυκλοφορία ιλύος από την καθίζηση και λόγω των αναερόβιων συνθηκών απελευθερώνεται φώσφορος. Ο φώσφορος που απελευθερώνεται προσρωφάται στις δεξαμενές αερισμού από τους μικροοργανισμούς και απομακρύνεται μέσω της περίσσειας ιλύος. Στις δεξαμενές απονιτροποίησης επικρατούν ανοξικές συνθήκες που ευνοούν την μετατροπή (N-NO₃) σε αέριο άζωτο, καθώς την απομάκρυνση ενός σημαντικού ποσοστού BOD₅ των λυμάτων. Στις δεξαμενές αερισμού μέσω του επιτυγχάνεται η βιοοξειδωση του ρυπαντικού φορτίου από τους μικροοργανισμούς, καθώς και η μετατροπή των αμμωνιακών (N-NH₄) σε νιτρικά. Το απαραίτητο οξυγόνο παρέχεται μέσω εννέα σταθερών επιφανειακών αεριοτήρων. Εκτός της βιολογικής αποφωσφόρωσης, υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης χημικών (FeCl₃) για την περαιτέρω απομείωσης της συγκέντρωσης φωσφόρου στην εξόδο.

Στη συνέχεια η ενεργός ιλύς οδηγείται σε τρεις δεξαμενές καθίζησης, όπου η λάσπη καθιζάνει. Μέρος της ανακυκλοφορεί στην αναερόβια δεξαμενή, ενώ η υπόλοιπη (περίσσεια ιλύς) οδηγείται

στη μονάδα πάχυνσης. Στη μονάδα πάχυνσης αυξάνεται η συγκέντρωση της περίσσειας ιλύος και κατά συνέπεια μειώνεται ο όγκος της. Στη συνέχεια η συμπυκνωμένη ιλύς αντλείται προς τη μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης, όπου με χρήση ταινιοφιλτροπρεσσών αφυδατώνεται και στη συνέχεια απομακρύνεται. Τα δε επεξεργασμένα λύματα μετά την καθίζηση μεταφέρονται στη μονάδα χλωρίωσης, όπου προστίθεται χλώριο για απολύμανση και στη συνέχεια στο αντλιοστάσιο τελικής ανύψωσης, όπου υφίστανται πρόσθετο αερισμό (μονάδα μεταερισμού). Από εκεί μέσω υποθαλάσσιου αγωγού καταλήγουν στον τελικό αποδέκτη.

Τα δεδομένα σχεδιασμού παρατίθενται στον Πίνακα 4.1, τόσο για την πρώτη, όσο και για τη δεύτερη φάση:

Πίνακας 4. 1: Δεδομένα σχεδιασμού εγκατάστασης

	Φάση I	Φάση II
Εξυπηρετούμενος Πληθυσμός	120.000	150.000
BOD5 (kg/d)	7.615	9.769
Αιωρούμενα Στερεά SS (kg/d)	7.805	10.197
N (kg/d)	944	1.054
P (kg/d)	345	392
Μέση ημερήσια (m³/d)	17.426	24.808
Μέγιστη ημερήσια (m³/d)	23.172	33.595
Παροχή αιχμής (L/S)	395	550

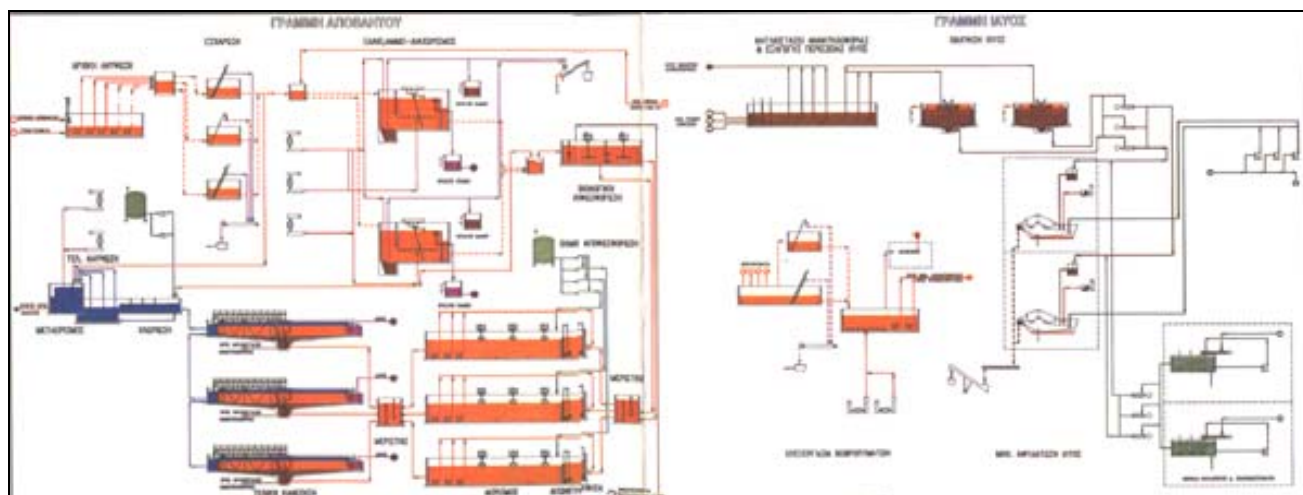
Τα παραπάνω δεδομένα προέκυψαν θεωρώντας 60000 τον πραγματικό εξυπηρετούμενο πληθυσμό από τους δήμους Άργους, Ναυπλίου και Νέας Κίου και 60000 τον ισοδύναμο πληθυσμό στον οποίο αντιστοιχεί η παραγόμενη παροχή βιομηχανικών λυμάτων. Σημειώνεται ότι οι βιομηχανίες της περιοχής, Liberta, Aspiss, Χριστοδούλου, Βαμβαξ και Εξαρχάκης, λειτουργούν κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες και παράγουν σχεδόν το δεκαπλάσιο ρυπαντικό φορτίο σε σχέση με το ρυπαντικό φορτίο των αστικών λυμάτων.

Για την εκροή από την εγκατάσταση και με βάση την Οδηγία Ε.Ε. 91/271 τηρήθηκαν τα ακόλουθα κριτήρια, τα οποία λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό :

Εκροή από τη βιολογική επεξεργασία :

- Συγκέντρωση BOD5 ≤ 20 mg/L
- Συγκέντρωση νιτρικών (N-NH₄) ≤ 1 mg/L
- Συγκέντρωση νιτρικών (N-NO₃) ≤ 10 mg/L
- Συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών SS ≤ 20 mg/L
- Συγκέντρωση συνολικού φωσφόρου (ανόργανου) ≤ 2 mg/L

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται είτε μέσω υποθαλάσσιου αγωγού στον Αργολικό Κόλπο ή εναλλακτικά για άρδευση κι αυτό γιατί η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για την απομείωση των ρυπαντικών φορτίων και των θρεπτικών συστατικών (άζωτο, φώσφορος).



Πηγή: ΔΕΥΑ Άργους

Σχήμα 4.4: Γραμμή λυμάτων και ιλός για τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων Άργους-Ναυπλίου

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

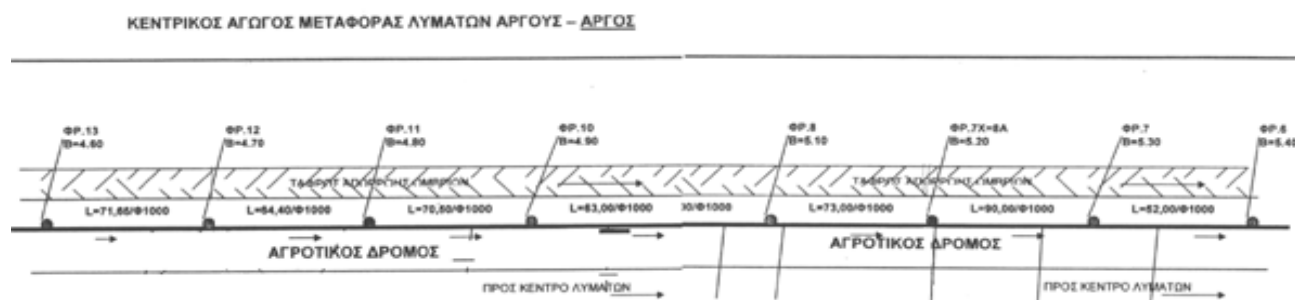
Παρατηρήσεις υπευθύνων της ΔΕΥΑ Άργους

Τόσο για την ΔΕΥΑ Άργους, όσο και για τη ΔΕΥΑ Ναυπλίου το ζήτημα των παρασιτικών εισροών είναι ζωτικής σημασίας αφενός από λειτουργικής και αφετέρου από οικονομικής πλευράς. Τα λειτουργικά προβλήματα που προκαλούν οι πρόσθετες εισροές στο δίκτυο έχουν αναλυθεί διεξοδικώς σε προηγούμενο κεφάλαιο, εντούτοις οι βασικές συνιστώσες αυτών είναι η επιβάρυνση και η υπερχειλίση των αγωγών, η αύξηση του λειτουργικού κόστους συλλογής και επεξεργασίας ακαθάρτων, η ανεπαρκής επεξεργασία ακαθάρτων και η επιβάρυνση της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος. Επιπλέον για την περίπτωση των ΔΕΥΑ Άργους και Ναυπλίου έχει εγκριθεί κονδύλι από το τρίτο κοινοτικό πλαίσιο στήριξης (Γ' Κ.Π.Σ.) για την αναβάθμιση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με τον σαφή όρο του περιορισμού των παρασιτικών εισροών. Μετά την αναβάθμιση της εγκατάστασης, η οποία προβλέπεται να περιλαμβάνει υποβρύχιο αερισμό για τις δεξαμενές αερισμού, την απομάκρυνση των ανθυγεινών οσμών από τη μονάδα μηχανικής αφυδάτωσης ιλός και καταθλιπτικό υποθαλάσσιο αγωγό διαμέτρου 630mm για τη μετατροπή του συστήματος επεξεργασίας λυμάτων σε συνεχούς ροής, και σύμφωνα με τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) που συντάχθηκε από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τα επεξεργασμένα λύματα θα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την άρδευση της περιοχής.

Τα παραπάνω καθιστούν σαφή την επιτακτική ανάγκη για ανίχνευση και αντιμετώπιση των πηγών παρασιτικών εισροών στο δίκτυο. Σύμφωνα με τις υποδείξεις και τις παρατηρήσεις των υπευθύνων η κυριότερη ποσότητα πρόσθετων εισροών προέρχεται από τους κεντρικούς αποχετευτικούς αγωγούς Άργους και Ναυπλίου. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την ανίχνευση αλατιού στις αντλίες τόσο της αρχικής, όσο και της τελικής ανίψωσης. Σημειώνεται ότι ολόκληρος κεντρικός αγωγός μεταφοράς λυμάτων του Ναυπλίου και ένα τμήμα του κεντρικού αγωγού του Άργους είναι τοποθετημένοι στην παράκτια ζώνη και κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, γεγονός που δικαιολογεί τα άλατα που βρέθηκαν στις αντλίες εξαιτίας της αλμυρότητας του νερού.

Επιθεώρηση κεντρικού αγωγού μεταφοράς λυμάτων δήμου Άργους

Τον Δεκέμβριο του 1999 συνεργείο της ΕΥΔΑΠ με τη συνεργασία της τεχνικής υπηρεσίας της ΔΕΥΑ Άργους προέβη σε τηλεοπτικό έλεγχο τμήματος του κεντρικού αγωγού. Το τμήμα που ερευνήθηκε χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα με μέσο όρο μήκους τα 70m. Ο έλεγχος έγινε από το φρεάτιο 13 έως το φρεάτιο 6, με βάθος τοποθέτησης 4,60 m και 5,40m αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι στη διάθεση της ΔΕΥΑ Άργους υπάρχουν βίντεο, καθώς και φωτογραφίες από τα εξεταζόμενα τμήματα. Το συνεργείο εργάστηκε κατά μήκος του κεντρικού αγωγού μεταφοράς λυμάτων από τον δήμο Άργους. Κατά την επιθεώρηση εντόπισε μεγάλες εισροές υπογείων υδάτων σε αρκετές διατομές. Επίσης κατά τόπους ο αγωγός ήταν φραγμένος από πέτρες και μπάζα, ενώ σε μία διατομή καταγράφηκε μεγάλη διαφορική παραμόρφωση των αγωγών. Τονίζεται ότι σε κάποιες θέσεις το συνεργείο σημείωσε αδυναμία της συσκευής να προχωρήσει, χωρίς να διευκρινίζει την αιτία. Στο Σχήμα 4.5 εικονίζονται οι διατομές του αγωγού που ελέγχθηκαν. Δεν κατέστη δυνατή η παράθεση φωτογραφικού υλικού, λόγω κακής ευκρίνειας. Σαν σημείωση αναφέρεται ότι το συνεργείο που διενεργήσε την έρευνα αποτελείτο από έναν εργοδηγό, τρεις εργατοτεχνίτες και δύο οδηγούς για το όχημα της κινητής μονάδας τηλεοπτικού ελέγχου και για το όχημα του συνεργείου συντήρησης αντλιοστασίων.



Σχήμα 4. 5: Σκαρίφημα του τμήματος που επιθεωρήθηκε με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης

Λειτουργικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης

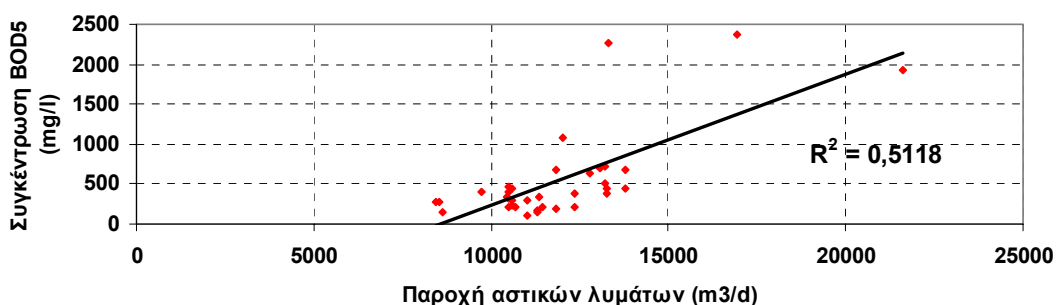
Από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά στην είσοδο της εγκατάστασης είναι δυνατό, πέρα από τους όποιους άλλους υπολογισμούς, να εξαχθούν ποιοτικά συμπεράσματα για την προέλευση και στη σύσταση των συνιστωσών των ακαθάρτων. Έτσι, λαμβάνοντας τον συνολικό εξοπλισμένο πληθυσμό από την εγκατάσταση για την πρώτη φάση σταθερό και ίσο με 120000, καθώς επίσης και τυπικό φορτίο στα λύματα COD, BOD₅ και NH₄ ίσες με 120, 60 και 12 g/κατ. * d αντίστοιχα, προκύπτει ότι οι αναμενόμενες τιμές φορτίου COD, BOD₅ και NH₄ θα ήταν 14400 kg/d, 7200kg/d και 1440kg/d αντίστοιχα, δηλαδή οι αναμενόμενες τιμές συγκέντρωσης λαμβάνοντας μέση παροχή λυμάτων 12060 m³/d είναι : 1194 mg/L, 594 mg/L και 119,4 mg/L σύμφωνα με τις ΔΕΥΑ Άργους και Ναυπλίου.

Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές της συγκέντρωσης COD, BOD₅ και NH₄ : 1075 mg/L, 540 mg/L και 20,7 mg/L παρατηρούμε ότι η απόκλιση όσον αφορά στο COD και στο BOD₅ είναι πρακτικά αμελητέα, ενώ παρατηρείται σημαντική μείωση της αναμενόμενης τιμής της NH₄.

Στα Σχήματα 4.6 και 4.7 παρουσιάζεται η συμπεριφορά της συγκέντρωσης BOD₅, COD και N-NH₄ σε σχέση με την παροχή αστικών λυμάτων. Προτιμήθηκε η παροχή αστικών λυμάτων από τη συνολική παροχή ακαθάρτων, καθώς εξαιρούνται τα βοθρολύματα, που αποτελούν πηγή αυξημένης

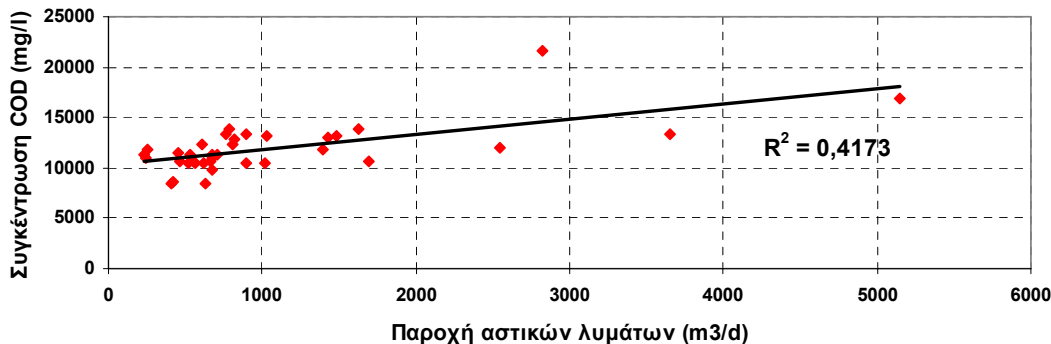
συγκέντρωσης COD, BOD₅ και N-NH₄, και έτσι θα εμφανίζονταν μη αντιπροσωπευτικές ακραίες τιμές. Με βάση τα διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι τόσο για τη συγκέντρωση COD, όσο και για τη συγκέντρωση BOD₅ παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή προσδιορισμού συσχετιζόμενες με την παροχή αστικών λυμάτων, γεγονός που μεταφράζεται σε αντιστοιχία της συμπεριφοράς. Δηλαδή για αυξημένη παροχή ακαθάρτων εμφανίζεται αυξημένη και η συγκέντρωση BOD₅ και COD. Αντίθετα, όπως σημειώθηκε και παραπάνω η συγκέντρωση N-NH₄ εμφανίζει χαμηλό συντελεστή προσδιορισμού, δηλαδή εμφανίζεται μικρή ομοιγένεια στη συμπεριφορά της συγκέντρωσης N-NH₄ και παροχής αστικών λυμάτων. Εντούτοις τονίζεται ότι οι τιμές συγκέντρωσης COD, BOD₅ και N-NH₄, καθώς και οι παροχές αστικών λυμάτων αντιστοιχούν σε μέσες ημερήσιες τιμές, γεγονός που μειώνει την αξιοπιστία των όποιων συμπερασμάτων και υποθέσεων.

Συσχέτιση συγκέντρωσης BOD₅ και παροχής αστικών λυμάτων

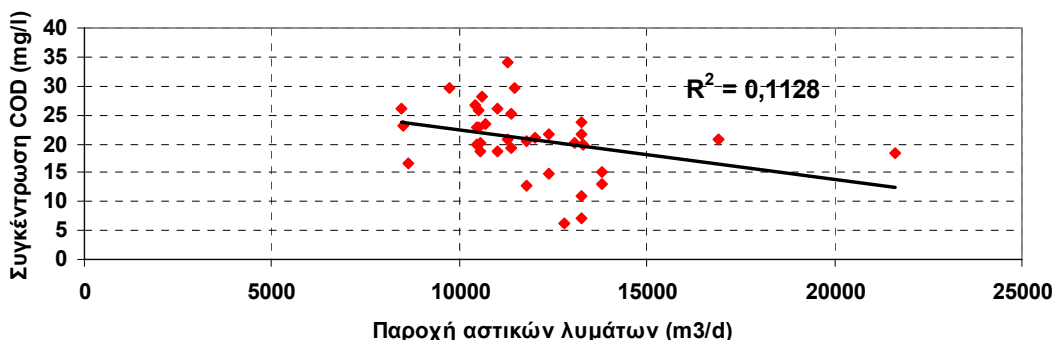


Σχήμα 4.6: Συσχέτιση συγκέντρωσης BOD₅ και παροχής ακαθάρτων

Συσχέτιση συγκέντρωσης COD - παροχής αστικών λυμάτων



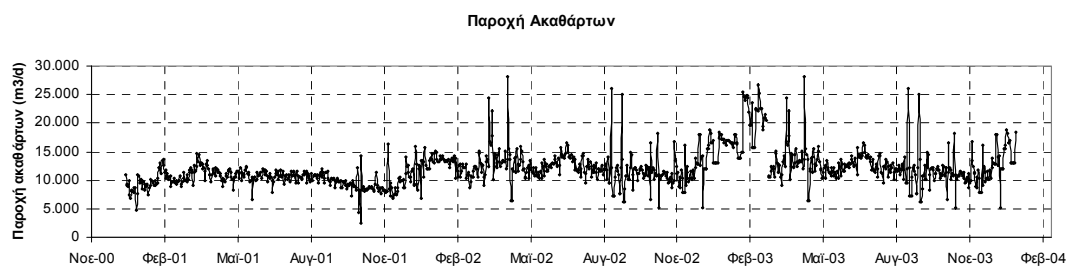
Σχήμα 4. 7: Συσχέτιση συγκέντρωσης COD και παροχής ακαθάρτων

Συσχέτιση συγκέντρωσης N-NH₄ - παροχής αστικών λυμάτωνΣχήμα 4. 8: Συσχέτιση συγκέντρωσης N-NH₄ και παροχής ακαθάρτων

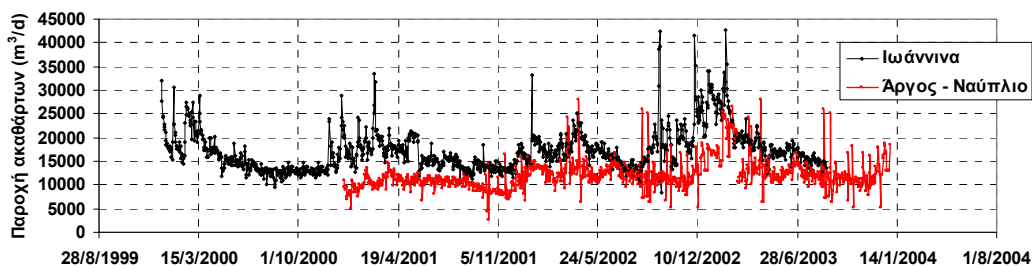
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η διακύμανση της ημερήσιας παροχής ακαθάρτων στη διάρκεια του διαστήματος 2001 έως 2003. Ενδεικτικό στοιχείο για την εισροή προσθετων υδάτων στο δίκτυο θα ήταν, όπως και στην περίπτωση των Ιωαννίνων και της Καρδίτσας, η σύγκριση της παροχής ακαθάρτων με την ημερήσια υδατική κατανάλωση, το ημερήσιο ύψος βροχής και ημερήσια δεδομένα για τη διακύμανση του υπόγειου ορίζοντα. Στην περίπτωση του Άργους - Ναυπλίου η συλλογή των δεδομένων υδατικής κατανάλωσης ήταν ιδιαίτερα δυσχερής. Όσον αφορά τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα με βάση τις επιτόπου παρατηρήσεις και τις συστάσεις των υπευθύνων τόσο της ΔΕΥΑ Άργους, όσο και της ΔΕΥΑ Ναυπλίου, οι κεντρικοί αγωγοί μεταφοράς λυμάτων είναι καθόλη τη διάρκεια του έτους κάτω από τη στάθμη του. Όπως προαναφέρθηκε εκτιμάται ότι ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται 2 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ οι κεντρικοί αποχετευτικοί αγωγοί στη στάθμη 5 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, σύμφωνα με τις ΔΕΥΑ Άργους και Ναυπλίου. Με βάση τα προηγούμενα αποφασίστηκε να γίνει σύγκριση της διακύμανσης της παροχής ακαθάρτων μέσα στο έτος με την αντίστοιχη διακύμανση της παροχής ακαθάρτων στα Ιωάννινα, αφού εκεί το πρόβλημα των παρασιτικών εισροών είναι μαθηματικά εξακριβωμένο. Τονίζεται ότι η σύγκριση έχει ποιοτικό και όχι ποσοτικό χαρακτήρα.

Στο σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η κατανομή της παροχής ακαθάρτων για το διάστημα 2001-2003. Επιπλέον το συγκριτικό διάγραμμα 4.10 παρουσιάζει την παροχή ακαθάρτων του Άργους- Ναυπλίου σε σχέση με την αντίστοιχη των Ιωαννίνων.



Σχήμα 4. 9: Κατανομή παροχής ακαθάρτων στο διάστημα 2001 έως 2003

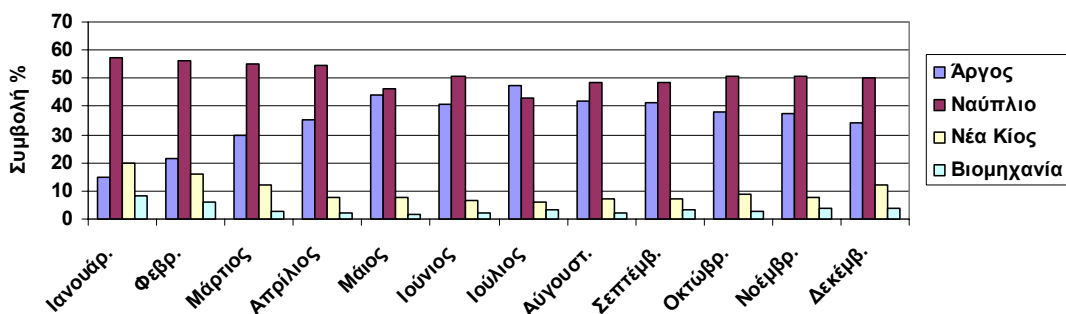


Σχήμα 4.10: Συγκριτικό διάγραμμα παροχής ακαθάρτων Ιωαννίνων και Άργους-Ναυπλίου.

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει σημαντική ομοιομορφία στη συμπεριφορά της χρονοσειράς των παροχών ακαθάρτων για τις δύο υπό εξέταση πόλεις. Ο συντελεστής συσχέτισης που προέκυψε ισούται με 0,44 και θεωρείται ικανοποιητικός, ιδιαίτερα αν ληφθούν υπόψιν οι ετερόκλητες γεωλογικές, μετεωρολογικές και υδρολογικές συνθήκες των περιοχών. Σημειώνεται όμως ότι οι παροχές ακαθάρτων για το Άργους-Ναύπλιο εμφανίζονται αυξημένες καθόλη τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, εναντιθέση με τις αντίστοιχες παροχές των Ιωαννίνων που παρουσιάζουν αύξηση κατά τους εαρινούς μήνες. Το γεγονός αυτό είναι πρόδηλο της προέλευσης των υπογείων υδάτων που εισρέουν στα δύο δίκτυα. Έτσι, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το κύριο μέρος των παρασιτικών εισροών για τα Ιωάννινα προέρχεται από υπόγειες εισροές και η διακύμανσή τους ακολουθεί την αυξομείωση της στάθμης του υπογείου υδροφόρου οριζοντα, η οποία καθορίζεται από την παροχή των ποταμών της ευρύτερης περιοχής. Στην περίπτωση του Άργους-Ναυπλίου οι εισροές προέρχονται και πάλι από τον υπόγειο υδροφόρο, μόνο που στην περίπτωση αυτή ο υδροφόρος είναι σε επικοινωνία με τη θάλασσα, όποτε η διακύμανση λαμβάνει χώρα καθόλη τη διάρκεια του χειμώνα και μειώνεται αισθητά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Χαρακτηριστική ένδειξη της εισροής πρόσθετων υδάτων και ενδεχομένως της προέλευσής τους αποτελεί η ιδιαίτερα αυξημένη συμβολή του δικτύου του Ναυπλίου στη συνολική εισερχόμενη παροχή στην εγκατάσταση. Σημειώνεται ότι ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός στο Ναύπλιο ισούται περίπου με τον μισό εξυπηρετούμενο πληθυσμό του Άργους. Αναλυτικά ο πληθυσμός του Άργους ανέρχεται στις 25000, ενώ ο πληθυσμός του Ναυπλίου στις 15000. Παρατηρείται επίσης ότι η αυξημένη συμβολή του Ναυπλίου εμφανίζεται καθόλη τη διάρκεια του έτους κι όχι περιοδικά το καλοκαίρι, όποτε ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός αυξάνεται λόγω τουρισμού. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζεται η ποσοστιαία συμβολή του Ναυπλίου στη συνολική εισερχόμενη παροχή στην εγκατάσταση. Πέρα από το Άργος και το Ναύπλιο από την εγκατάσταση εξυπηρετούνται ο δήμος Νέας Κίου και οι βιομηχανίες της περιοχής, οι οποίες λειτουργούν τους χειμερινούς μήνες.

Ποσοστιαία κατανομή παροχής ακαθάρτων ανά πόλη το 2003



Σχήμα 4.11: Ποσοστιαία κατανομή παροχής ακαθάρτων ανα πόλη για το έτος 2003

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η ποσοστιαία αύξηση της συμβολής του Ναυπλίου ανά μήνα στη συνολική παροχή ακαθάρτων του κοινού δικτύου της ευρύτερης περιοχής για τα έτη 2001, 2002 και 2003. Η μεγαλύτερη αύξηση της συμβολής παρατηρείται κατά τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η αύξηση αυτή δεν οφείλεται σε αύξηση του εξυπηρετούμενου πληθυσμού, λόγω τουρισμού. Σημειώνεται σ' αυτό το σημείο ότι κατά τους μήνες αυτούς παρατηρείται μεταβολή και μεταβολή στην ακτογραμμή, η οποία επηρεάζει άμεσα τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος τροφοδοτείται από τη θάλασσα.

Πίνακας 4. 2: Ποσοστιαία αύξηση της συμβολής του Ναυπλίου κατά την περίοδο 2001-2003.

Ναύπλιο	Ιανουάρ.	Φεβρ.	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστ.	Σεπτέμβ.	Οκτώβρ.	Νοέμβρ.	Δεκέμβ.
2001	38,6	47,1	42,4	43,6	42,1	40,9	35,2	34,7	33,7	32,9	35,0	33,2
2002	34,0	44,8	43,3	42,1	43,9	32,5	42,4	47,6	51,9	52,8	54,7	51,2
2003	57,4	56,2	55,4	54,4	46,6	50,5	43,1	48,5	48,5	50,5	50,9	50,3
Αύξηση % 2001-2003	18,8	9,1	12,9	10,8	4,4	9,6	7,9	13,8	14,8	17,6	15,9	17,1

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΑΙΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι για την περίπτωση του Άργους- Ναυπλίου έγινε μια πρώτη ποιοτική διερεύνηση του προβλήματος. Δεν ήταν δυνατή περαιτέρω ανάλυση εξαιτίας των δυσχερειών στη συλλογή αναγκαίων δεδομένων. Η κύρια συνιστώσα των παρασιτικών εισροών είναι προφανές ότι είναι τα υπόγεια ύδατα. Εντούτοις οι αγωγοί είναι σύγχρονοι και δεν δικαιολογείται εισροή υπογείων υδάτων σ' αυτούς, παρόλο που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλή. Εξετάζοντας καλύτερα τους κεντρικούς αποχετευτικούς αγωγούς, αφού αυτοί υποδείχθηκαν από τη ΔΕΥΑ ως κύρια πηγή παρασιτικών εισροών, εξάγεται το εξής συμπέρασμα: ο αγωγός του Άργους είναι κατασκευασμένος από σκυρόδεμα, υλικό εύκολο στην κατασκευή και οικονομικό, έχει όμως μικρό μήκος ανά τμήμα και συνεπώς πολλούς αρμούς, σημεία επίφοβα για εισροές ακόμα και με τη χρήση ελαστικών δακτυλίων. Επιπλέον το σκυρόδεμα προσβάλλεται εύκολα από το θαλασσινό νερό, γεγονός που επιτείνει τον κίνδυνο των εισροών, μιας και σημαντικό μέρος του αγωγού του Άργους είναι κάτω από το θαλάσσιο υδροφόρο ορίζοντα. Τα συμπεράσματα αυτά πιστοποιούνται από την επιθεώρηση του δικτύου με τη χρήση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης.

Όσον αφορά στον αγωγό του Ναυπλίου είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο (PE) υλικό στεγανό και ανθεκτικό, το οποίο δε διαβρώνεται από το θαλασσινό νερό. Επιπλέον το υλικό αυτό είναι ευαίσθητο στην αμμωνία και τα φωσφορικά οξέα, τα οποία δεν παρουσιάζουν σημαντικές συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα, ενώ τα βιομηχανικά λύματα, όπου η συγκεντρωσή τους είναι σημαντικότερη, μεταφέρονται ξεχωριστά στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Με τα υπάρχοντα δεδομένα δε δικαιολογείται η μεγάλη συμβολή του Ναυπλίου στη συνολική εισερχόμενη παροχή στην εγκατάσταση, τουλάχιστον από εξετάζοντας τον κεντρικό αγωγό μεταφοράς των λυμάτων. Ενδεχομένως οι πρόσθετες εισροές να προέρχονται από το δίκτυο ακαθάρτων στο κέντρο της πόλης. Για να διαπιστωθεί αυτός ο ισχυρισμός απαιτείται εκτενής επιθεώρηση του δικτύου.

Κεφάλαιο 5ο : Συμπεράσματα

Από τις διεθνείς αναφορές προκύπτει ότι το ζήτημα των παρασιτικών εισροών έχει αρχίσει να εξετάζεται διεξοδικά από πολλούς ερευνητές και δημόσιες υπηρεσίες. Στο πλαίσιο της διερεύνησης του προβλήματος στη χώρα μας εξετάστηκαν τα παραδείγματα των Ιωαννίνων, της Καρδίτσας και του Άργους - Ναυπλίου. Για τα Ιωάννινα και την Καρδίτσα συντάχθηκαν μοντέλα ποσοτικοποίησης των πρόσθετων εισροών, ενώ στην περίπτωση του Άργους-Ναυπλίου έγινε μια πρώτη ποιοτική διερεύνηση.

Από την ενδελεχή μελέτη του δικτύου των Ιωαννίνων προέκυψε ότι οι παρασιτικές εισροές αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό της παροχής ακαθάρτων (35 - 67 %). Το ποσοστό των πρόσθετων εισροών είναι τόσο σημαντικό, ώστε το χωριστικό δίκτυο των Ιωαννίνων να λειτουργεί περιοδικά ως παντοροικό. Στη διαμόρφωση των πρόσθετων εισροών συμβάλλουν τόσο τα όμβρια, όσο και τα υπόγεια ύδατα. Το δίκτυο της πόλης είναι σύγχρονο, γι' αυτό και οι πηγές των παρασιτικών εισροών δεν μπορούν να αναζητηθούν τοπικά, αλλά απαιτείται εκτενής επιθεώρηση του δικτύου. Παρατηρώντας ότι το 31 % της παροχής ακαθάρτων σε ετήσια κλίμακα προέρχεται από υπόγεια ύδατα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ένα σημαντικό τμήμα του δικτύου είναι ρωγματομένο ή παραμορφωμένο ή κατεστραμένο. Ο ισχυρισμός αυτός, που θα επιβεβαιωθεί μόνο κατόπιν ελέγχου στο πεδίο, υποδεικνύει ως πρωτεύουσα αιτία των πρόσθετων εισροών την έλλειψη επιμέλειας στην κατασκευή.

Όσον αφορά την πόλη της Καρδίτσας, πριν τη σύνταξη του μοντέλου ποσοτικοποίησης των παρασιτικών εισροών, έγινε κατα προσέγγιση εκτίμηση των ημερήσιων παροχών ακαθάρτων από τις ταινίες συνεχούς καταγραφής. Με αφορμή το γεγονός αυτό αναδεικνύεται το πρόβλημα των ελλειψών δεδομένων που παρουσιάζεται συχνά στον ελλαδικό χώρο. Έχοντας εκτιμήσει την εισερχόμενη παροχή στην εγκατάσταση, έγινε η σύνταξη του μοντέλου. Από τα παραγόμενα συμπεράσματα προέκυψε ότι οι πρόσθετες εισροές ανέρχονται στο 17 % της παροχής ακαθάρτων σε ετήσια κλίμακα, ενώ μετά από έντονη βροχοπτώση το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 38 % της συνολικής παροχής λυμάτων. Ιδιαίτερη αξία έχει να τονιστεί ότι στην πόλη της Καρδίτσας μετά από ισχυρό επεισόδιο βροχής παρατηρείται αύξηση σημαντική αύξηση και στα υπόγεια ύδατα. Το γεγονός αυτό μεταφράζεται ενσωμάτωση έμμεσων όμβριων εισροών, ο οποίος προέρχεται από π.χ. αποστράγγιση θεμελιώσεων στο δίκτυο ακαθάρτων. Η συνιστώσα αυτή των ομβρίων απορρέει με υστέρηση και δύσκολα διαχωρίζεται από τις υπόγειες εισροές. Εντούτοις στην Καρδίτσα ήταν αρκετά εμφανής. Με βάση τα κατασκευαστικά στοιχεία του δικτύου (ΔΕΥΑ Καρδίτσας) παρατηρείται ότι δεν έχει ληφθεί κάποιο μέτρο κατά την κατασκευή για την προστασία του δικτύου από τις παρασιτικές εισροές, όπως τοποθέτηση στεγανών ελαστικών δακτυλίων ή σφράγιση παλιών βόθρων.

Η περίπτωση του Άργους - Ναυπλίου διαφέρει από τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, καθώς το πρόβλημα είναι αρκετά περίπλοκο και τα δεδομένα ελλιπή. Με βάση την πρώτη ποιοτική διερεύνηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα δίκτυα και των δύο πόλεων αντιμετωπίζουν πρόβλημα παρασιτικών εισροών. Η προέλευση των εισροών πιθανότατα διαφέρει, όμως μόνο κατόπιν εκτενούς επιθεώρησης μπορεί να γίνει εντοπισμός και ποσοτικοποίηση. Τονίζεται ότι η ιδιαιτερότητα των δικτύων Άργους και Ναυπλίου έγκειται εντοπίζεται στο υδροφόρο ορίζοντα, η στάθμη του οποίου είναι διαρκώς ψηλότερα από τους αγωγούς.

Η ενασχόληση με το ζήτημα των παρασιτικών εισροών στην Ελλάδα δε θα πρέπει να περιοριστεί στη διερεύνηση και τη σύνταξη μοντέλων ποσοτικοποίησης, αλλά να διευρυνθεί σε θεσμικό επίπεδο, όπως έχει συμβεί άλλωστε σε πολλές χώρες του εξωτερικού.

Ιωάννινα

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το μοντέλο σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παρασιτικών εισροών είναι υπόγειας προέλευσης 31 % της παροχής ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα, ενώ η αντίστοιχη τιμή των όμβριων εισροών είναι 4 %. Μετά από έντονη βροχόπτωση οι εισροές ομβρίων στο δίκτυο ανέρχονται σε 40 %. Από το μοντέλο συνάγεται ότι στο δίκτυο εισρέουν τόσο όμβρια, όσο και υπόγεια ύδατα, τα οποία αποτελούν σημαντικό ποσοστό της παροχής ακαθάρτων κυμαινόμενο από 35 έως 67 %. Τονίζεται ότι τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τις παρατηρήσεις της τοπικής ΔΕΥΑ, σύμφωνα με τις οποίες παρατηρείται υπερδιπλασιασμός της παροχής μετά από ισχυρή βροχόπτωση. Συνεπώς το δίκτυο των Ιωαννίνων, αν και χωριστικό, περιοδικά λειτουργεί ως παντορροϊκό. Τα παραπάνω συμπεράσματα καταδεικνύουν τη σοβαρότητα τους προβλήματος και την επιτακτική ανάγκη για επίλυση.

Η μεγάλη συμβολή τόσο των ομβρίων, όσο και των υπογείων υδάτων στη διαμόρφωση της παροχής ακαθάρτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι πηγές των παρασιτικών εισροών για το δίκτυο των Ιωαννίνων είναι ποικίλες και δεν περιορίζονται μόνο σε παράνομες συνδέσεις της απαγωγής ομβρίων από κτήρια στο δίκτυο ακαθάρτων ή σε ρωγματομένους/ κατεστραμμένους αγωγούς. Το γεγονός αυτό καθιστά ακόμη πιο αναγκαία την εκτενή επιθεώρηση του δικτύου με χρήση διαφόρων μεθόδων π.χ. μέθοδος καπνού, ελέγχου με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης. Πολλές από τις μεθόδους ανίχνευσης η ΔΕΥΑ Ιωαννίνων έχει τη δυνατότητα να τις πραγματοποιήσει, καθώς διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό.

Σημειώνεται ότι το δίκτυο των Ιωαννίνων είναι σχετικά σύγχρονο και εφοδιασμένο με στεγανωτικούς ελαστικούς δακτυλίους στο μεγαλύτερο μέρος των συναρμογών του. Επιπλέον οι σωλήνες στο μεγαλύτερο μέρος του δικτύου είναι κατασκευασμένοι από PVC ή σκυρόδεμα, ενώ σε μικρό μέρος έχουν τοποθετηθεί αμιαντοτσιμεντοσωλήνες. Τόσο οι πλαστικοί, όσο και οι αγωγοί από αμιαντοτσιμεντό παράγονται σε μεγάλα μήκη, γεγονός που περιορίζει τον αριθμό των αρμών και κατά συνέπεια της πιθανές εισροές. Επιπλέον οι σωλήνες από σκυρόδεμα είναι εφοδιασμένοι με ελαστικούς στεγανωτικούς δακτυλίους, γεγονός που αντισταθμίζει ως ένα βαθμό των μεγάλο αριθμό των αρμών τους. Τα παραπάνω καταδεικνύουν ότι οποιαδήποτε προσπάθεια ανίχνευσης πιθανών πηγών πρόσθετων εισροών δεν αποδίδει. Συνεπώς η επιθεώρηση του δικτύου αποτελεί μονόδρομο και άμεση συνέχεια της παρούσας μελέτης. Άλλωστε η μεταφορά και η επεξεργασία τόσο μεγάλων ποσοτήτων παρασιτικών εισροών είναι ασύμφορη για τη ΔΕΥΑ και μια συγκριτική οικονομοτεχνική μελέτη θα το αποδείξει.

Καρδίτσα

Για τη σύνταξη μελέτης με αξιόπιστα αποτελέσματα είναι απαραίτητη η συστηματική ημερήσια μέτρηση της παροχής ακαθάρτων στην είσοδο της εγκατάστασης, καθώς και των λειτουργικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης σε κάθε μονάδα αυτής (είσοδος, πρωτοβάθμια επεξεργασία κ.λ.π. Αυτό θα πρέπει να είναι κύριο μέλημα της ΔΕΥΑ Καρδίτσας τόσο για τα επόμενα χρόνια, όσο και για τις υπάρχουσες καταγραφές. Με βάση τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια της εκτιμησης της παροχής ακαθάρτων προέκυψε το μοντέλο που περιγράφηκε παραπάνω. Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των παρασιτικών εισροών είναι υπόγειας προέλευσης 13 % της συνολικής παροχής ακαθάρτων για τη μέση ετήσια κλίμακα, ενώ μετά από βροχόπτωση αυξάνεται σημαντικά και ανέρχεται σε 24 %, αφού προφανώς συνυπολογίζεται και η συμβολή ομβρίων με υστέρηση, δηλαδή η αποστράγγιση της θεμελίωσης κ.λ.π. Επιπλέον μετά από βροχόπτωση το ποσοστό εισροής ομβρίων στο δίκτυο ανέρχεται στο 14 %, ενώ για τη μέση παροχή το

ποσοστό αυτό υπολογίστηκε σε 4 %. Από τα αποτελέσματα αυτά συνάγεται ότι στο δίκτυο εισρέουν τόσο όμβρια, όσο και υπόγεια ύδατα.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό σε τη σχετικά μικρή ηλικία του δικτύου και τον χωριστικό του χαρακτήρα ενισχύει την πιθανότητα οι εισροές στο δίκτυο να οφείλονται σε ρωμάτωση ή καταστροφή αγωγών, σε ατέλειες στη σύνδεση των αγωγών, σε ελαττωματική κάλυψη των φρεατίων και των ανθρωποθυρίδων, καθώς και σε παράνομη σύνδεση της απαγωγής των ομβρίων από σκεπές, αυλές και θεμελιώσεις στο δίκτυο ακαθάρτων. Επίσης παλιοί βόθροι, εκτός λειτουργίας που δεν έχουν σφραγιστεί, ενδεχομένως να αποτελούν πηγή εισροών υπογείων υδάτων ιδιαίτερα κατά τις περιόδους υψηλού υδροφόρου ορίζοντα. Επιπλέον από τη ΔΕΥΑ Καρδίτσας υποδείχθηκαν ως πιθανές αιτίες εισροών οι διαφορικές παραμορφώσεις των αγωγούς από τη διέλευση βαρέων οχημάτων (φορτίο μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο για το οδόστρωμα). Το γεγονός αυτό επιτείνεται από την έλλειψη ελαστικών δακτυλίων στις συνδέσεις των αγωγών. Υπενθυμίζεται ότι το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου αποτελείται από αγωγούς πλαστικούς αγωγούς (PVC) και αγωγούς σκυροδέματος, ενώ δεν έχει γίνει στεγάνωση των αρμών σύνδεσης των αγωγών. Οι αγωγοί από σκυρόδεμα είναι ευαίσθητοι στη σύνδεσή τους κατά τμήματα.

Οι ενέργειες που συστήνονται στην ΔΕΥΑ Καρδίτσας κατόπιν της παρούσας εργασίας είναι η εκτενής επιθεώρηση του δικτύου: αρχικά επιθεωρώντας τα φρεάτια, στη συνέχεια βιντεοσκοπώντας εσωτερικά το δίκτυο με κατάλληλο κλειστό κύκλωμα. Επιπλέον με χρήση κατάλληλων σύγχρονων μεθόδων, π.χ. μέθοδος καπνού, είναι δυνατό να ελεγχθούν ιδιωτικές ιδιοκτησίες για παράνομη αποστράγγιση σκεπών, αυλών και θεμελίων. Η μέθοδος καπνού συστήνεται καθώς είναι οικονομική και εύκολη στη διεξαγωγή. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η ΔΕΥΑ Καρδίτσας έχει κατατάξει τις παράνομες συνδέσεις σε πρωταρχική πηγή παρασιτικών εισροών στο δίκτυο. Αν η ένδειξη πιστοποιηθεί από την επιθεώρηση του δικτύου, τότε είναι αναγκαίο κατά την αντιμετώπιση του προβλήματος να σταθούν αρωγοί οι δημότες. Οι διεθνής αναφορές αποδεικνύουν ότι με κατάλληλη ενημέρωση οι πολίτες στην πλειοψηφία τους θα ευαισθητοποιηθούν στις εκκλήσεις της ΔΕΥΑ και θα συνδράμουν στο έργο της.

Άργος

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι για την περίπτωση του Άργους- Ναυπλίου έγινε μια πρώτη ποιοτική διερεύνηση του προβλήματος. Δεν ήταν δυνατή περαιτέρω ανάλυση εξαιτίας των δυσχερειών στη συλλογή αναγκαίων δεδομένων. Η κύρια συνιστώσα των παρασιτικών εισροών είναι προφανές ότι είναι τα υπόγεια ύδατα. Εντούτοις οι αγωγοί είναι σύγχρονοι και δεν δικαιολογείται εισροή υπογείων υδάτων σ'αυτούς, παρόλο που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλή. Εξετάζοντας καλύτερα τους κεντρικούς αποχετευτικούς αγωγούς, αφού αυτοί υποδείχθηκαν από τη ΔΕΥΑ ως κύρια πηγή παρασιτικών εισροών, εξάγεται το εξής συμπέρασμα: ο αγωγός του Άργους είναι κατασκευασμένος από σκυρόδεμα, υλικό εύκολο στην κατασκευή και οικονομικό, έχει όμως μικρό μήκος ανά τμήμα και συνεπώς πολλούς αρμούς, σημεία επίφοβα για εισροές ακόμα και με τη χρήση ελαστικών δακτυλίων. Επιπλέον το σκυρόδεμα προσβάλλεται εύκολα από το θαλασσινό νερό, γεγονός που επιτείνει τον κίνδυνο των εισροών, μιας και σημαντικό μέρος του αγωγού του Άργους είναι κάτω από το θαλάσσιο υδροφόρο ορίζοντα. Τα συμπεράσματα αυτά πιστοποιούνται από την επιθεώρηση του δικτύου με τη χρήση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης.

Όσον αφορά στον αγωγό του Ναυπλίου είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο (PE) υλικό στεγανό και ανθεκτικό, το οποίο δε διαβρώνεται από το θαλασσινό νερό. Επιπλέον το υλικό αυτό είναι ευαίσθητο στην αμμωνία και τα φωσφορικά οξέα, τα οποία δεν παρουσιάζουν σημαντικές

συγκεντώσεις στα αστικά λύματα, ενώ τα βιομηχανικά λύματα, όπου η συγκεντρωσή τους είναι σημαντικότερη, μεταφέρονται ξεχωριστά στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Με τα υπάρχοντα δεδομένα δε δικαιολογείται η μεγάλη συμβολή του Ναυπλίου στη συνολική εισερχόμενη παροχή στην εγκατάσταση, τουλάχιστον από εξετάζοντας τον κεντρικό αγωγό μεταφοράς των λυμάτων. Ενδεχομένως οι πρόσθετες εισροές να προέρχονται από το δίκτυο ακαθάρτων στο κέντρο της πόλης. Για να διαπιστωθεί αυτός ο ισχυρισμός απαιτείται εκτενής επιθεώρηση του δικτύου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ:

- Ανδρεαδάκης Α., Καταγραφή αξιολόγηση και ιεράρχιση αναγκαίων επεμβάσεων στην υφιστάμενη μονάδα των Ιωαννίνων, 2002
- Ανδρεαδάκης Α., Εγκαταστάσης Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων, ΕΜΠ 1986
- ΔΕΥΑ Καρδίτσας, Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων έργου αποχέτευσης ακαθάρτων περιοχών Δ.Δ. Καρδίτσομαγούλας και Αρτεσιανού Δήμου Καρδίτσας
- ΔΕΥΑ Άργους, Μελέτη- Κατασκευή Ενοποίησης Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων Άργους-Ναυπλίου-Νέας Κίου, 1995
- ΕΥΔΑΠ, Εννιαίες παραδοχές υπολογισμού παροχών ακαθάρτων στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, Εγκύκλιος 121272/1985.1.03, 1985
- ΕΥΔΑΠ, Έλεγχος Κεντρικού Αγωγού Μεταφοράς Λυμάτων στην Περιοχή του Άργους, 2000
- Κουτσογιάννης Δ., Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, 1999
- Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, ΕΜΠ, 1999.
- Κουτσογιάννης Δ., Στατιστική Υδρολογία, ΕΜΠ 1999
- Κτιριοδομικός Κανονισμός, Απόφαση 3046/304, 1988
- Κτιριοδομικός Κανονισμός, ΦΕΚ 59 Δ', Άρθρο 26 1989
- Λιακόπουλος Α., Μαθήματα Περιβαλλοντικής Υδραυλικής, Τεύχος 1, Αποχετεύσεις και επεξεργασία λυμάτων, Θεσσαλονίκη 1985
- Μαρίνος Παύλος, Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ελλάδας, σελ.28
- Μαρίνος Παύλος κ.α. , Αποδελτίωση και Αξιολόγηση των λοιπών Μελέτων Υδατικών Πόρων Ηπείρου, 1986
- Νικολάου Ε. - Λάγκαρης Β., Η εξέλιξη των υδρογεωλογικών συνθηκών της στενότερης περιοχής της λίμνης των Ιωαννίνων και οι παράγοντες που επέδρασαν στις ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους (Εισηγήση Συνεδρίου), ΙΓΜΕ 1989.
- Νικολάου Ε., Η μείωση των υδροαποθεμάτων του λεκανοπεδίου. Η μεταφορά από τις λεκάνες Αράχθου, Αώου, Καλαμά (Εισηγήση Συνεδρίου), ΙΓΜΕ 1990.
- Παπαθεωδώρου Η. & Γ. Τσίππρας, Προστασία Υπογείων Υδάτων Πηγών Κρυάς Ιωαννίνων, ΕΛ.ΚΕ.ΠΑ Παρ/μα Ιωαννίνων 1988
- Σμυρνιώτης κ.α., Προκαταρκτική Έκθεση Υδρογεωλογικής Μελέτης του Καρστικού Συστήματος Μιτσικελίου και της Λεκάνης Ιωαννίνων, ΙΓΜΕ 1997.
- ΥΒΕΤ-Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων - ΙΓΜΕ-ΕΜΠ Τομέας ΥΠΥΘΕ- DELFT HYDRAULICS, Συνδιασμένη διαχείριση υδάτων Λούρου και Αράχθου, 1986.
- ΥΒΕΤ-Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων - ΙΓΜΕ-ΕΜΠ Τομέας ΥΠΥΘΕ- ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ, Μελέτη -Πιλότος για τη Διαχείριση των υδατικών πόρων του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου, 1993.
- ΥΠΥΘΕ, Σημειώσεις για τα Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας.
- ASCE, APWA, WEF, Manual of Financing and Charges for Wastewater Systems, American Society of Civil Engineers (ASCE) & Water Pollution Control Federation (WPCF), Gravity Sanitary Sewer Design and Constructio, ASCE No60, WPCF No FD - 5, 1982

Barry Ewald & Dale Kratzer, Sewer System Savings: 7 Steps to Establish an Effective I/I Program, Pennsylvania Magazine, τεύχος Οκτωβρίου 2000

Belhadj N., Joannis C., Raimbault G., Modelling of rainfall induced infiltration into separate sewerage, Water Science and Technology, Volume 32 Issue 1,1995

City of Johnstown, Excessive Infiltration and Storm Sewer Connection, 1991

Commonwealth of Massachusetts, Guidelines for Performing I/I Analyses and Sewer Evaluation Survey, 1993

Commonwealth of Massachusetts, Interim I/I Policy, 2001

Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, WEF No 8
ASCE No 76

EPA, I/I Analysis and Project Certification, 1985

EPA, Clean Water Act, Title 40

EPA, National Conference on Sanitary Sewer Overflows, 1996

Fernandez B.R. & Gresh J.S., Grouwater migration in Sewer Trenches, Florida Water Resources Journal, April 1998

Gustafsson, Hernebring & Hammarlund, Continuous Modelling of I/I in Sewers with MouseNAM, 1999

Hayslett H.T., Statistics made simple, London 1971

Hammer M., Water and Wastewater Technology

Heany et al., Collection Systems, 1999

Austin Texas: Infiltration / Inflow, Issue Paper (www. Cigmat.edu)

Kracht O. & Gujer W., Quantification methods for infiltration into urban sewer systems by natural tracers, ETH 2003

Louisiana Department of Environment, Guidance for evaluating Infiltration/ Inflow for State Revolving Projects, 2001

Liu & Vipulanandan, Verification of Infiltration at Sewer Pipe Joints, Δημοσίευση 2003

Liu & Vipulanandan, Costing for Infiltration in Sanitary Sewer System, 2000

Mark & Wade, Controlling I/I in Wastewater Collection Systems, 2000

Martz, Υδραυλική των οικισμών, Μέρος 2, Αποχετεύσεις, Μετάφραση: Γ. Χατζηθεωδόρου, Μ. Γκιούρδας, Αθήνα 1970

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering, Mc Graw Hill, 1981

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering : Collecting and Pumping f Wastewater, Mc Graw Hill, 1979

Murray R. Spiegel, Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics, McGraw-Hill, New York

Wade, SSES & I/I Studies, Tulsa Oklahoma

Water Science and Technology, Modelling of rainfall indused infiltration in separate sewerage, Volume 32, Issue 1, 1993