

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικής και Θαλασσιών Έργων



Παρασιτικές Εισροές
σε Δίκτυα Ακαθάρτων

Ζαλαχώρη Ιωάννα,
Επιβλέπων καθηγήτης: Δ. Κουτσογιάννης
Συνεπιβλέπων: Α. Ανδρεαδάκης

Παρασιτικές εισροές:

Υπόγεια Ύδατα

Εισέρχονται:

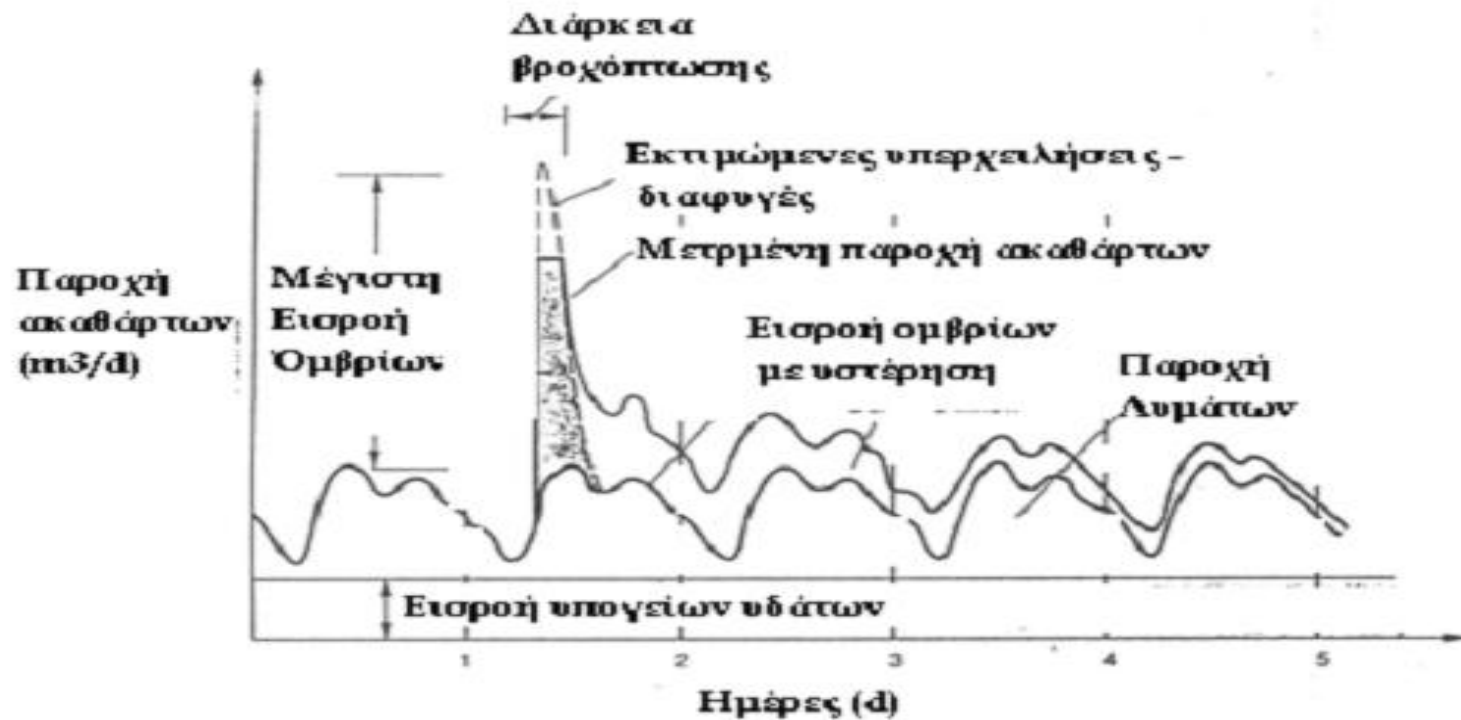
- από ρωγματώσεις στο εσωτερικό των αγωγών
- από ατέλειες στην κατασκευή και τη στεγάνωση φρεατίων,
- από ατέλειες στη σύνδεση των αγωγών

Όμβρια Ύδατα

Εισέρχονται:

- από καλύμματα φρεατίων (άμεση απορροή)
- από παράνομες συνδέσεις της απαγωγής των ομβρίων από αυλές και σκεπές (άμεση απορροή), θεμελίωση (απορροή με υστέρηση)
- από το δίκτυο όμβριων (απορροή με υστέρηση)

Συνιστώσες παρασιτικών εισροών:



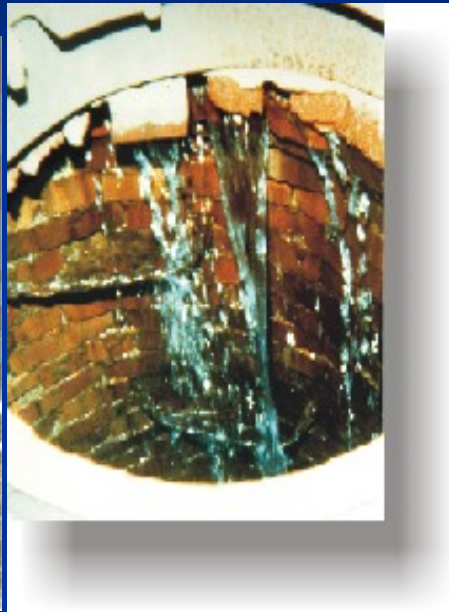
Πηγές παρασιτικών εισροών



Πηγές παρασιτικών εισροών (2)



Παράνομη
σύνδεση
υδρορροής
στο δίκτυο
ακαθάρτων



Φρεάτιο
χωρίς
κάλυμμα



Διαβρωμένος
αγωγός
αποχέτευσης

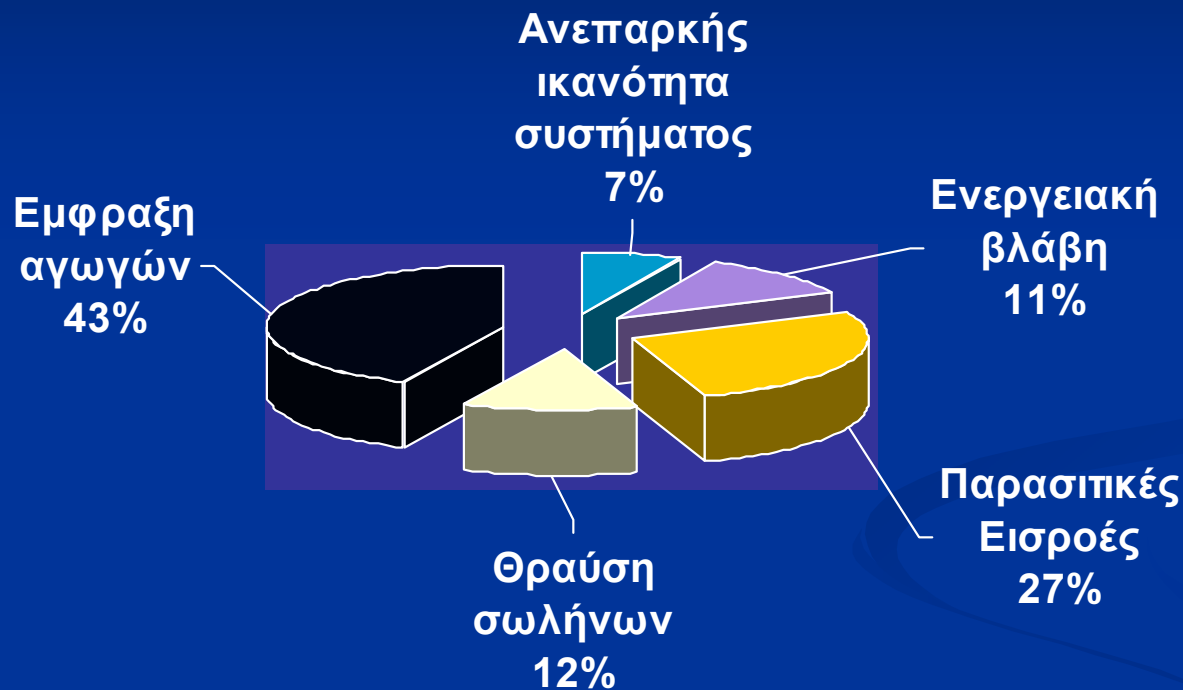


Ρωγμή σε
αποχετευτικό
αγωγό

Προβλήματα:

- **Δίκτυο Ακαθάρτων**
 - Επιβάρυνση αγωγών
 - Υπερχείλιση αγωγών
 - Αύξηση λειτουργικού κόστους συλλογής
- **Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων**
 - Ανεπαρκής επεξεργασία ακαθάρτων
 - Αύξηση λειτουργικού κόστους εγκατάστασης
 - Δυσμενείς επιπτώσεις στον αποδέκτη

Έκταση προβλήματος:



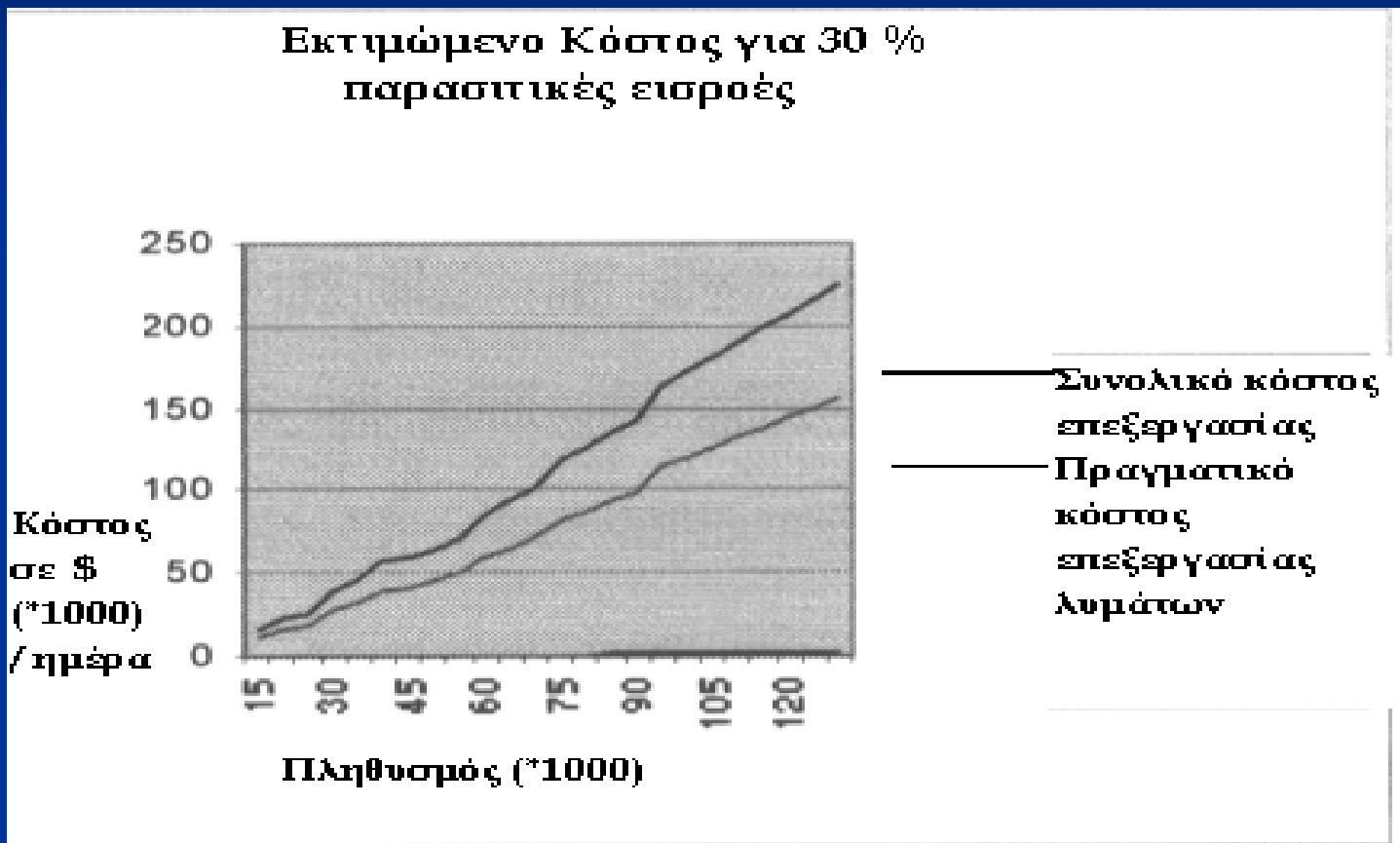
Αιτίες υπερχειλήσης αγωγών

Πηγή: USEPA, 1996 (δείγμα 6 αποχετευτικών δικτύων στις ΗΠΑ)

Έκταση προβλήματος (2):

- 100 % της παροχής λυμάτων (Petroff 1996)
- Αύξηση 3,5 έως 20 φορές της παροχής ακαθάρτων υπό ξηρές συνθήκες και χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα (USEPA 1990, για δείγμα 10 πόλεων)
- Αύξηση 30 φορές της παροχής ακαθάρτων υπό ξηρές συνθήκες και χαμηλό υδροφόρο ορίζοντα (Jeng et al. 1996, Houston Texas)

Εκτιμώμενο Κόστος για 30% παρασιτικές εισροές:



Θεσμικό Πλαίσιο:

ΗΠΑ

Ανίχνευση και περιορισμός του προβλήματος όταν:

- Εισροές ομβρίων υδάτων ≥ 1040 L/ κατ. / d (275 gpcd)
- Εισροές υπογείων υδάτων ≥ 450 L/ κατ. / d (120 gpcd)

(Τροποποίηση ανά πολιτεία)

ΕΥΡΩΠΗ

Ελλιπές θεσμικό πλαίσιο

Συστάσεις για σχεδιασμό (Martz 1970)

Θεσμικό Πλαίσιο:

ΕΛΛΑΔΑ

Κτιριοδομικός Κανονισμός (Απόφαση 3046/304/1988, ΦΕΚ 59 Δ' / 1989 Άρθρο 26)

§ 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.

ΕΥΔΑΠ (1985)

Προσαύξηση κατά 30% παροχής λυμάτων σε περιοχές υψηλού Υ.Ο.

Προσαύξηση κατά 20% παροχής λυμάτων σε περιοχές χαμηλού Υ.Ο.

Αντιμετώπιση στο στάδιο μελέτης –κατασκευής:

- Διερεύνηση τοπικών συνθηκών
- Προσαύξηση παροχής σχεδιασμού
- Ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και υλικών
- Επιμελής κατασκευή
- Πλήρης διαμόρφωση του δικτύου

Εντοπισμός στο στάδιο λειτουργίας:

Ποιοτικά

- Συγκριτική ανάλυση παροχών ακαθάρτων σε συνθήκες υψηλού υδροφόρου ορίζοντα ή / και έπειτα από βροχόπτωση
- Σύγκριση παροχής ακαθάρτων –υδατικής κατανάλωσης
- Συγκριτική ανάλυση λειτουργικών χαρακτηριστικών σε συνθήκες υψηλού υδροφόρου ορίζοντα ή / και έπειτα από βροχόπτωση
- Συσχέτιση ωριαίων δεδομένων παροχής –βροχόπτωσης για τις πρώτες πρωινές ώρες

Εντοπισμός στο στάδιο λειτουργίας:

Ποσοτικά

- Επί τόπου έλεγχος (κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης)
- Σταθμήμετρα / Όργανα συνεχούς καταγραφής της παροχής σε επίφοβες θέσεις
- Test Καπνού
- Χρήση χρωστικών ουσιών
- Έλεγχος με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης.
- Έλεγχος αγωγών και αρμών με εφαρμογή πίεσης

Μέθοδοι Εντοπισμού:



(α)

Έλεγχος με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης



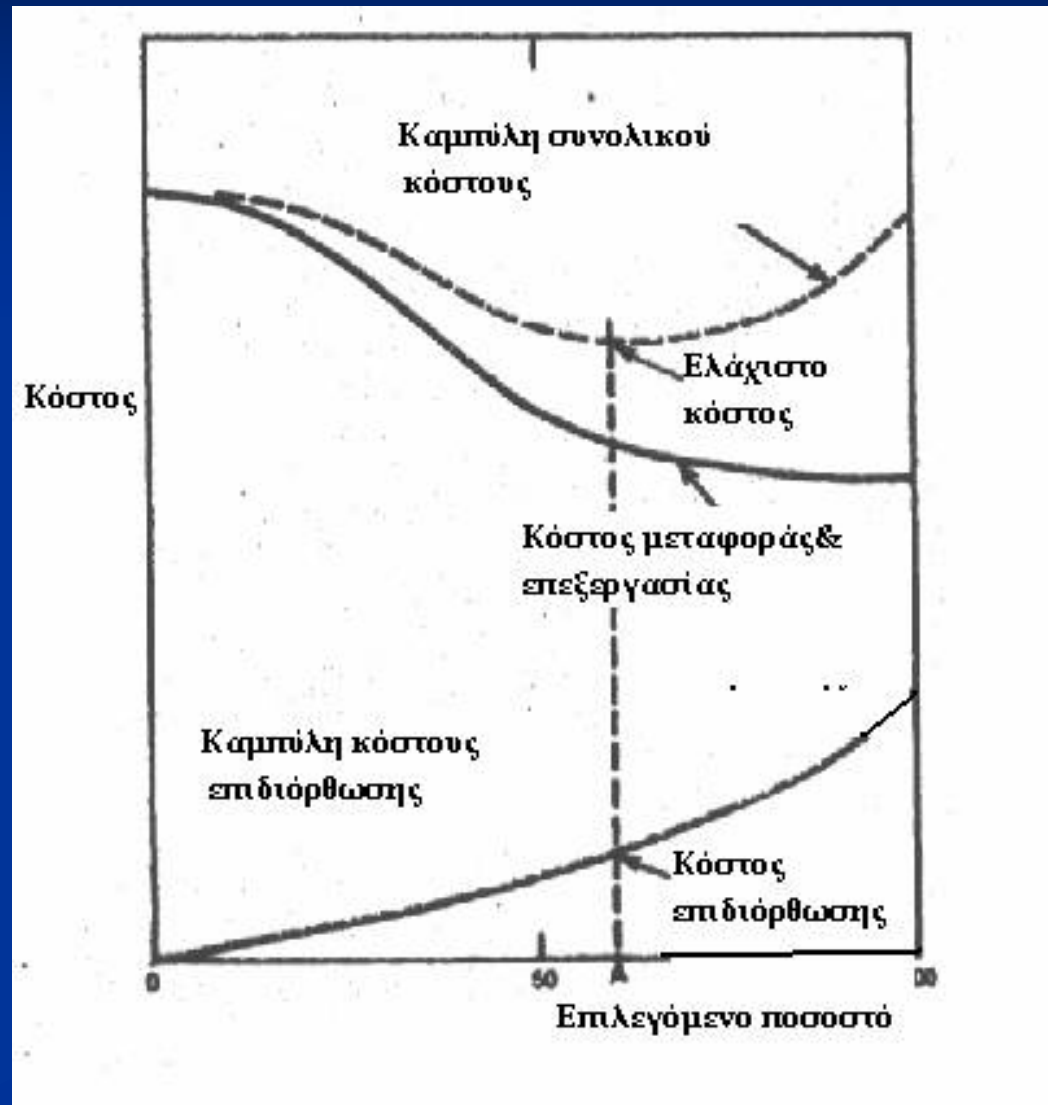
(β)

Test Καπνού

Αντιμετώπιση στο Στάδιο Λειτουργίας:

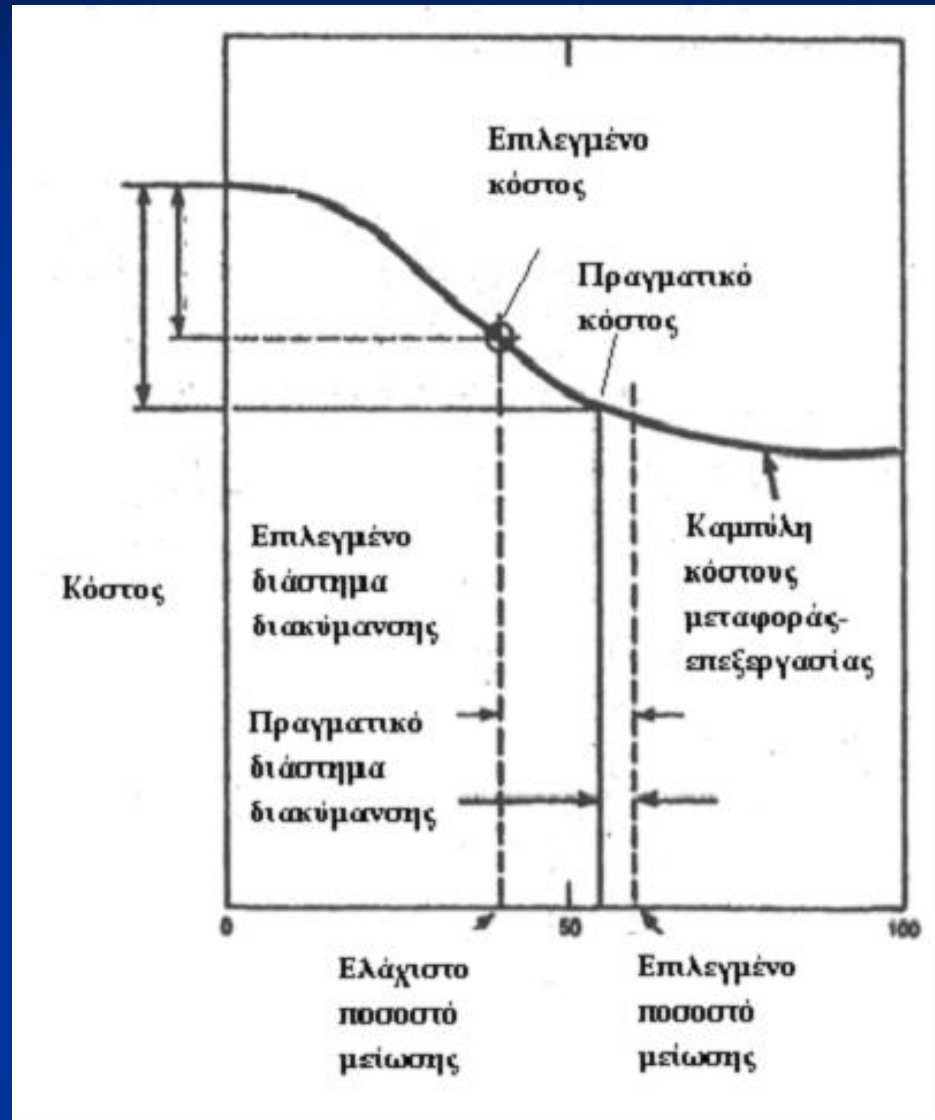
- Συγκριτική Οικονομοτεχνική Μελέτη
- Επιδιόρθωση Δικτύου
(σύγχρονες vs παραδοσιακές μεθοδοι)
 - διόρθωση τοπικών / εκτεταμένων ατελειών
 - σφράγιση φρεατίων / αρμών
 - καθαίρεση παράνομων συνδέσεων
 - αντικατάσταση τμημάτων αγωγού
- Επέκταση ή επανακατασκευή εγκατάστασης επεξεργασίας

Οικονομοτεχνική ανάλυση (1):



Πηγή: USEPA, 1985

Οικονομοτεχνική ανάλυση (2):



Παραδείγματα αντιμετώπισης διεθνώς:

- Σεμινάρια, Κανάδας 2005
- Alexandria, Virginia USA
- St Lawrence, Pennsylvania
- Austin, Texas USA
- Johnstown, Pennsylvania USA
- Broward County, Florida USA
- Honolulu, Hawaii USA
- Lower Paxton, Pennsylvania USA
- Countywide, Kentucky USA
- Plant City, Florida USA
- Boston, Massachusetts, USA
- Tulsa, Oklahoma USA
- Springfield, Pennsylvania USA
- Skagit County, Washington USA
- Eaton Rapids City, USA
- Louisiana, USA
- Allegheny County, USA
- Ottawa, Canada
- Indianapolis, Indiana USA
- Alaska, USA

Έρευνα -Πιλοτικές εφαρμογές στην Ευρώπη:

- **Σουηδία**

Μοντέλο MouseNAM με εφαρμογή στην Prague, Zagreb, Ljublijana, Goteborg Rya, Helsingborg, Sydney & Auckland.

- **Bouguenais, Γαλλία**

Μοντέλο εκτίμησης παρασιτικών εισροών από υπόγεια ύδατα

- **ΕΤΗ, Ελβετία**

Μέθοδοι ποσοτικοποίησης υπόγειων εισροών με εφαρμογή σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις.

Τυπικές συνιστώσες παροχής ακαθάρτων (MouseNAM):



Αντιστοιχία συντελεστών MouseNAM - ελληνικών πιλοτικών εφαρμογών

Πηγή: 3rd DHI Software Conference, Sweden 1999

Συμπερασματικά:

- Η.Π.Α.

Έρευνα & Κανονισμοί από τη δεκαετία 1970.
Εξέλιξη & Εφαρμογή εκτενώς έκτοτε.

- Ευρώπη

Έρευνα από τη δεκαετία 1990.
Εφαρμογή περιορισμένη.

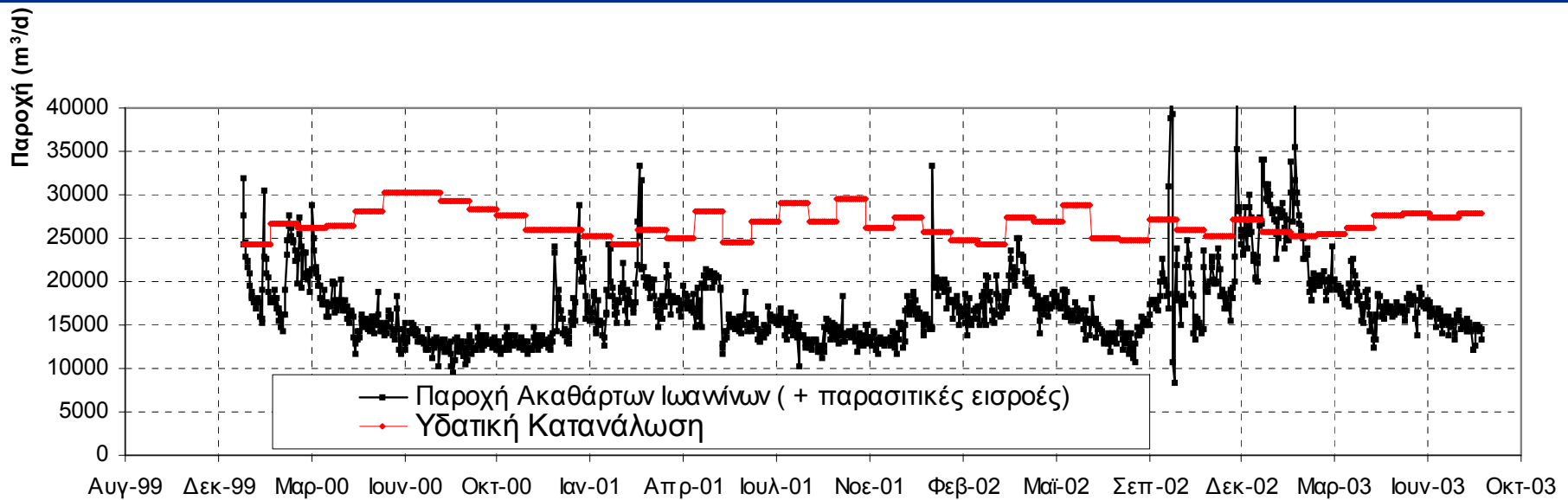
Αντιμετώπιση στην Ελλάδα (2):

- Υποτίμηση του προβλήματος
- Ελλιπή δεδομένα για τα δίκτυα στον ελληνικό χώρο
- Ανεπαρκής έρευνα
- Έλλειψη ελέγχων από ΔΕΥΑ
- Έλλειψη ενημέρωσης μελετητών
- Ασυμφωνία Μελετητών-Επιβλεπόντων
- Έλλειψη ενημέρωσης κοινής γνώμης

Δίκτυο Ακαθάρτων Ιωαννίνων:

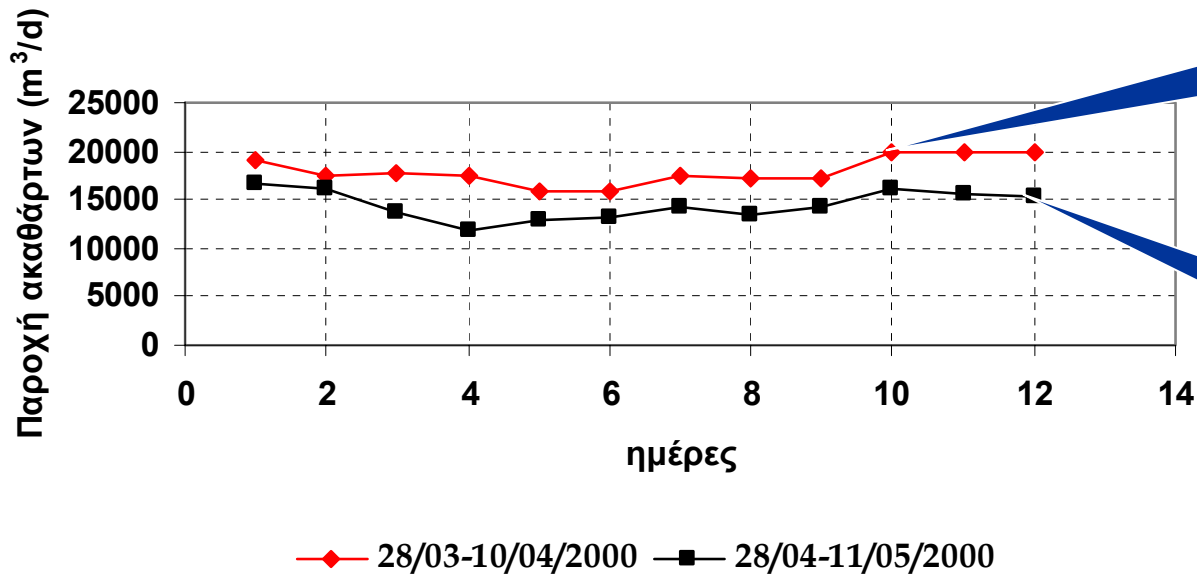
- Εξυπηρετεί περίπου 130.000 κατοίκους.
- Χωριστικό δίκτυο
- Κατασκευασμένο την περίοδο 1985 - 2000
- Αγωγοί από PVC, σκυρόδεμα και αμιαντοτσιμέντο.
- Χρήση ελαστικών δακτυλίων στεγάνωσης.
- 5 αντλιοστάσια με καταθλιπτικούς αγωγούς
- Κεντρικός αγωγός μεταφοράς ακαθάρτων μήκους περίπου 3,5km από PVC Φ1200.
- Επέκταση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων το 2003.

Σύγκριση παροχής ακαθάρτων και υδατικής κατανάλωσης:



Ποιοτική ανίχνευση (1):

Συνθήκες υψηλού Υ.Ο.:

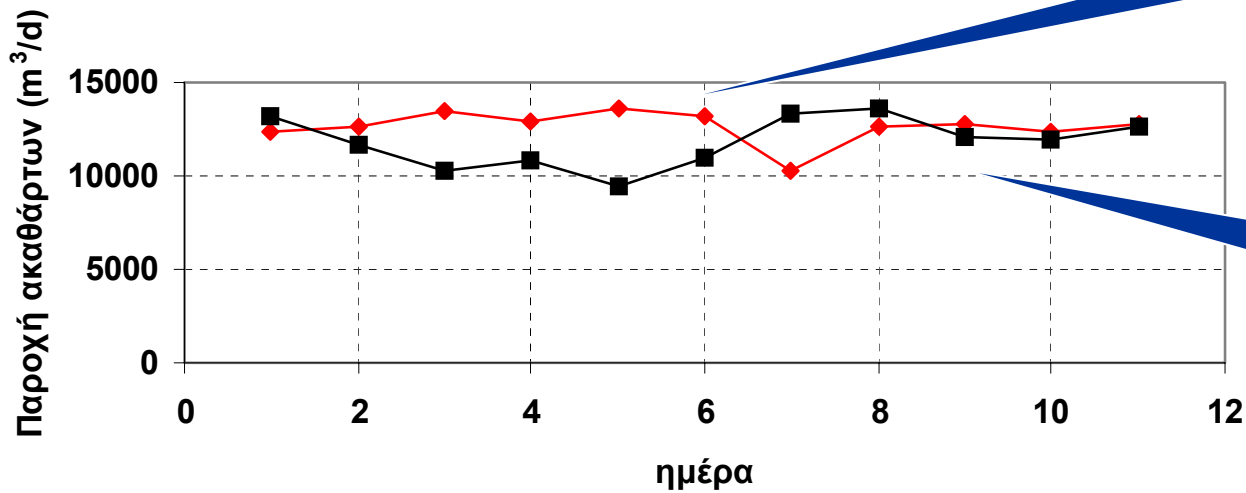


Υγρό
δεκαήμερο

Ξηρό
δεκαήμερο

Ποιοτική ανίχνευση (2):

Συνθήκες χαμηλού Υ.Ο.



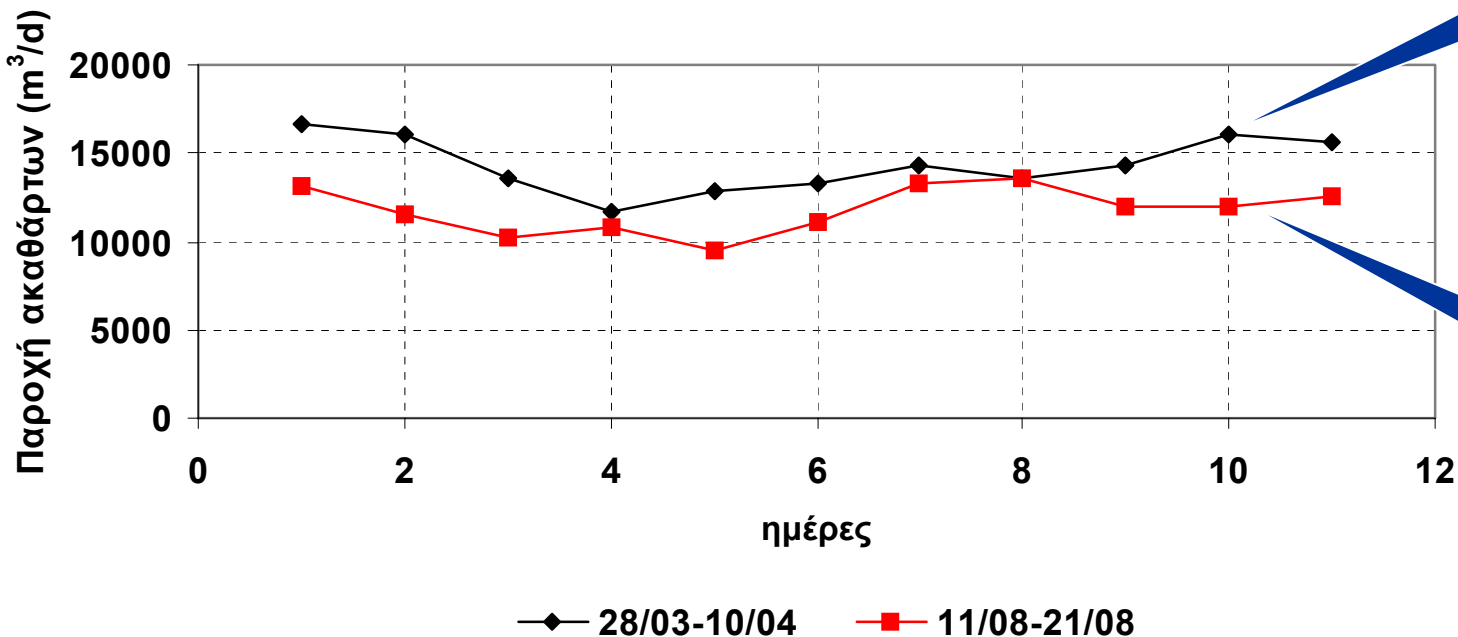
Υγρό
δεκαήμερο

Ξηρό
δεκαήμερο

—◆— 24/07-03/08/2000 —■— 11-21/08/2000

Ποιοτική ανίχνευση (3):

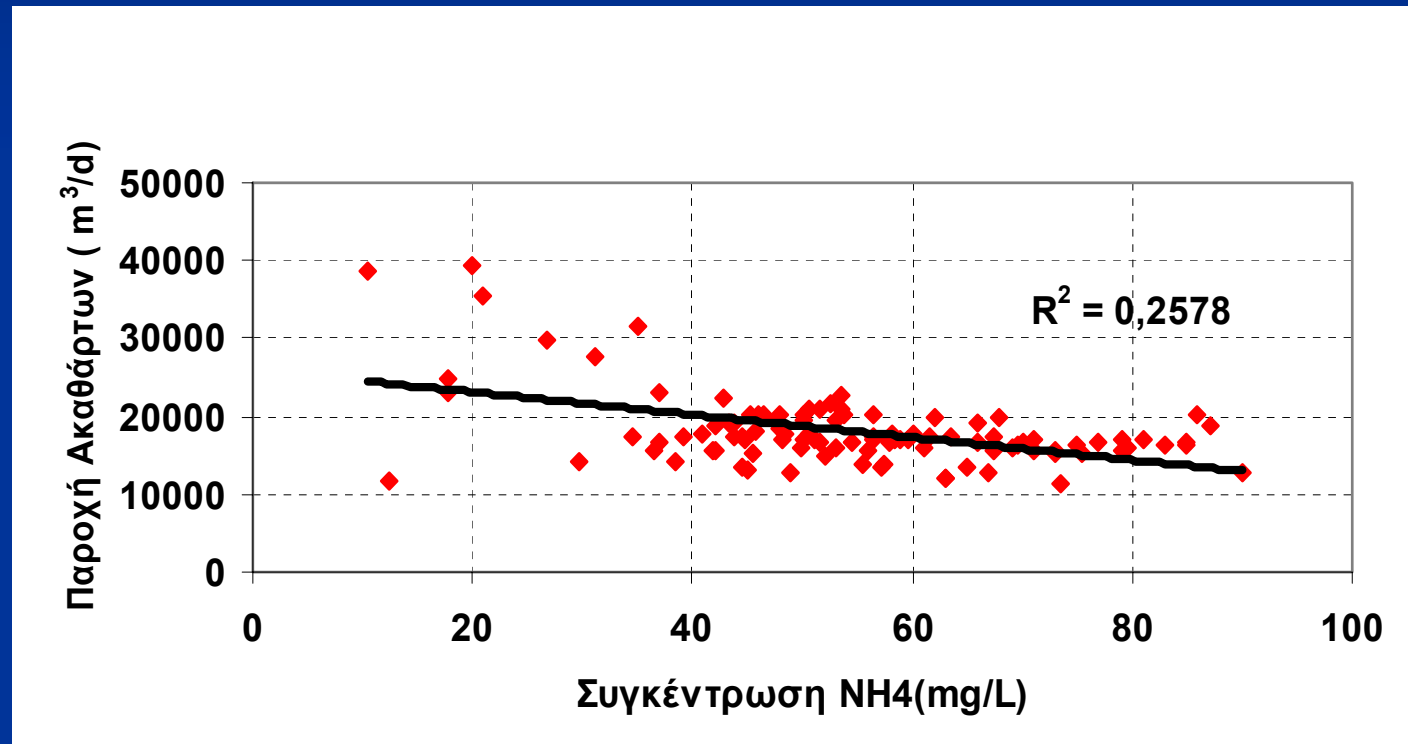
Ξηρές συνθήκες



Υψηλός
Υ.Ο.

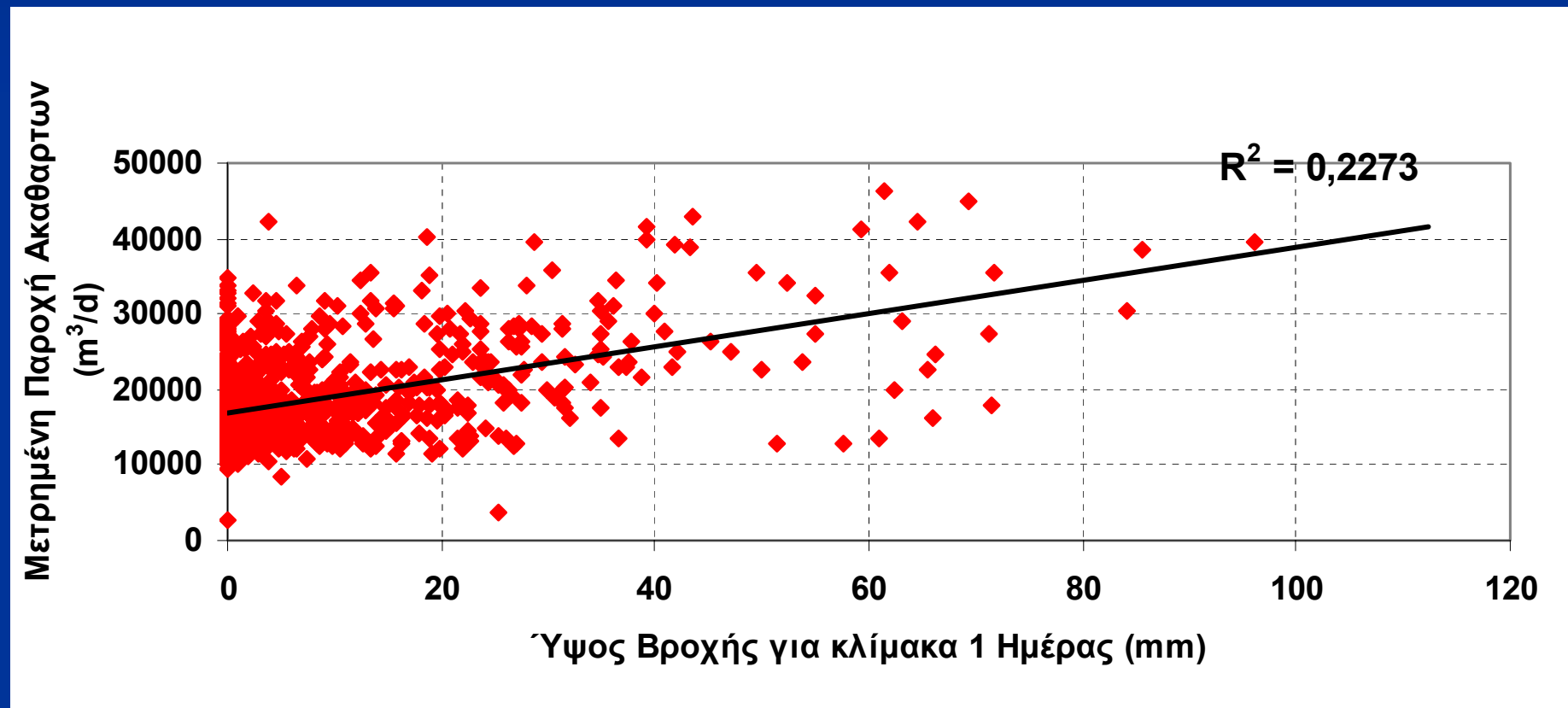
Χαμηλός
Υ.Ο.

Συσχέτιση παροχής ακαθάρτων με ποιοτικούς δείκτες:



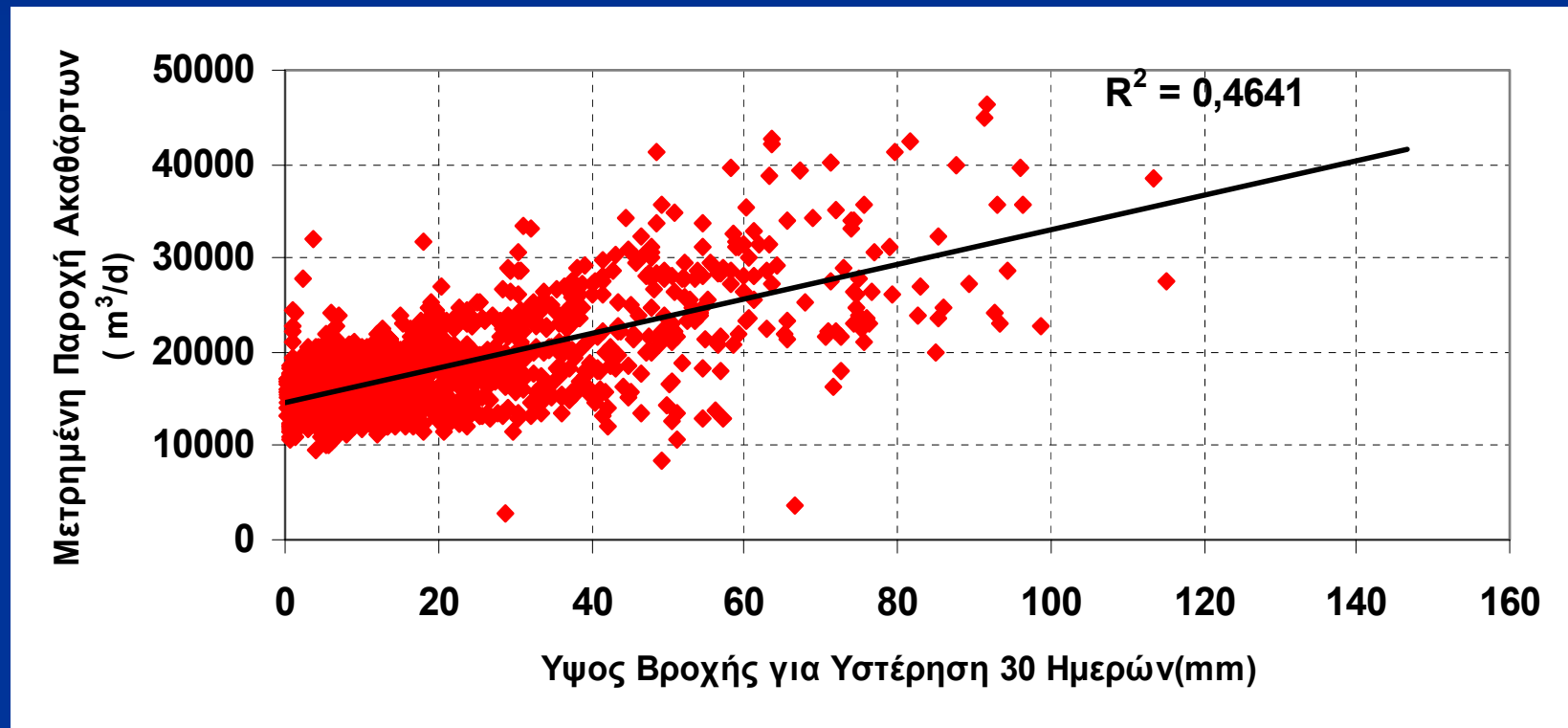
Συσχέτιση Παροχής Ακαθάρτων - Ύψους Βροχής (1):

Συσχέτιση για χρονική κλίμακα 1 ημέρας (σήμερα + 1 ημέρα πίσω)



Συσχέτιση Παροχής Ακαθάρτων - Ύψους Βροχής (2):

Συσχέτιση για χρονική κλίμακα 30 ημερών



Συμπεράσματα:

Χρονική κλίμακα:

1 ημέρας



23% εξηγούμενη
διασπορά

30 ημερών

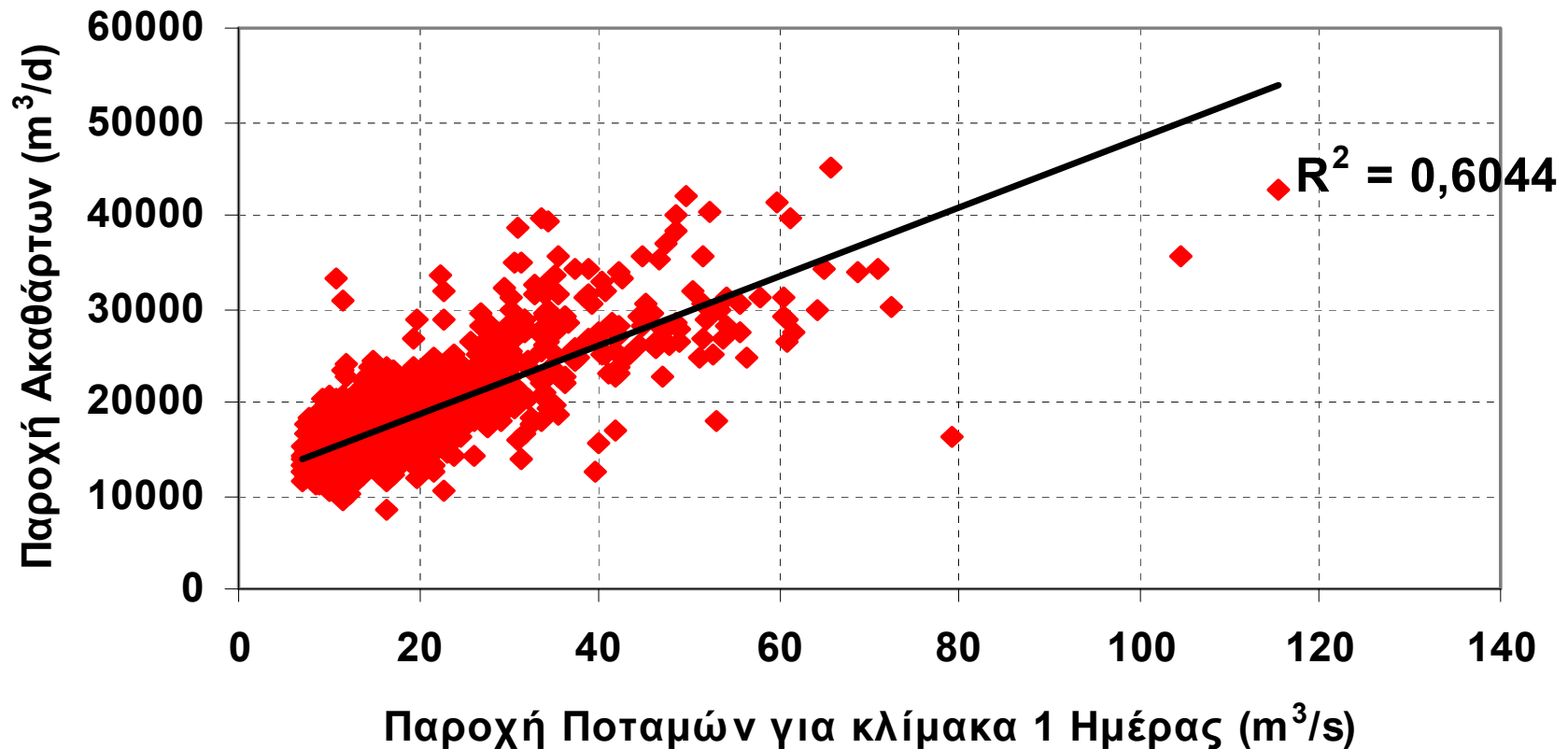


46% εξηγούμενη
διασπορά

- Σημαντική η συμβολή υπόγειων νερών
- Μικρότερη η συμβολή ομβρίων
- Δεν υπάρχουν στοιχεία στάθμης υπογείων νερών
- Χρήση παροχής ποταμών ως δείκτη συμπεριφοράς υπογείων νερών

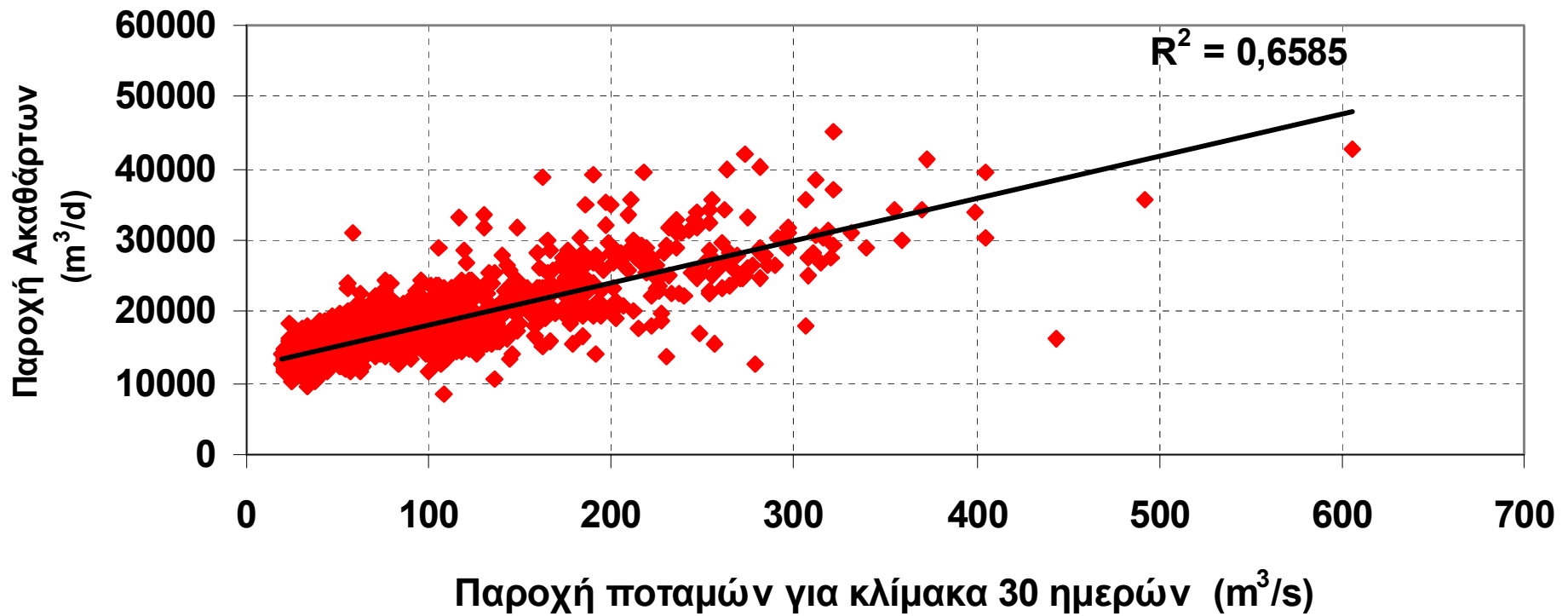
Συσχέτιση Παροχής Ακαθάρτων- Παροχής Ποταμών (1):

Συσχέτιση για χρονική κλίμακα 1 ημέρας



Συσχέτιση Παροχής Ακαθάρτων- Παροχής Ποταμών (2):

Συσχέτιση για χρονική κλίμακα 30 ημερών



Μοντέλο:

Η παραμετρική μορφή της εξίσωσης είναι:

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

, όπου:

Q: κανονικοποιημένη παροχή ακαθάρτων

Y: κανονικοποιημένη υδατική κατανάλωση

Π: κανονικοποιημένη παροχή ποταμών

B: κανονικοποιημένη παροχή ομβρίων

E: πρόσθετη συνιστώσα ομβρίων (από
φιλτράρισμα χρονοσειρών)

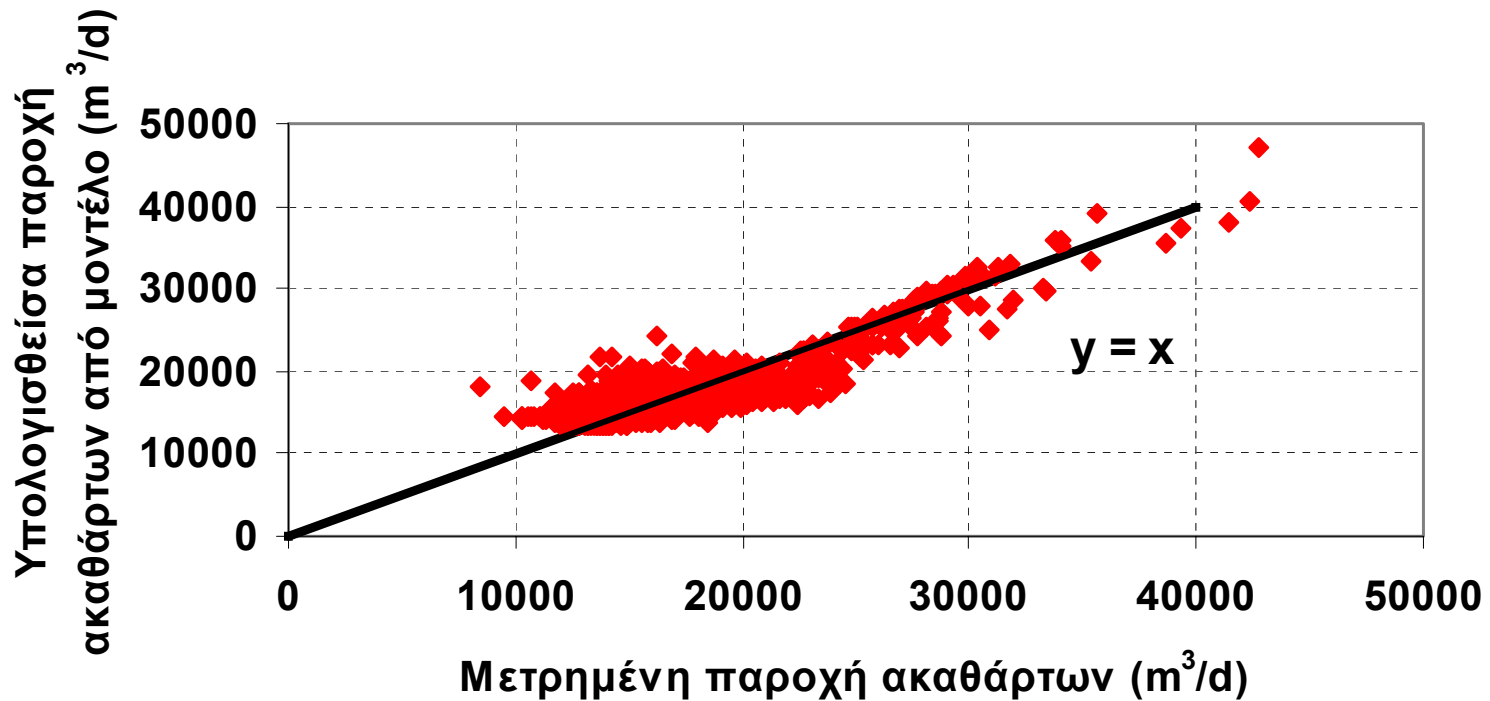
a, b, c, e, h: συν/ τές από μοντέλο

Συνιστώσες μοντέλου:

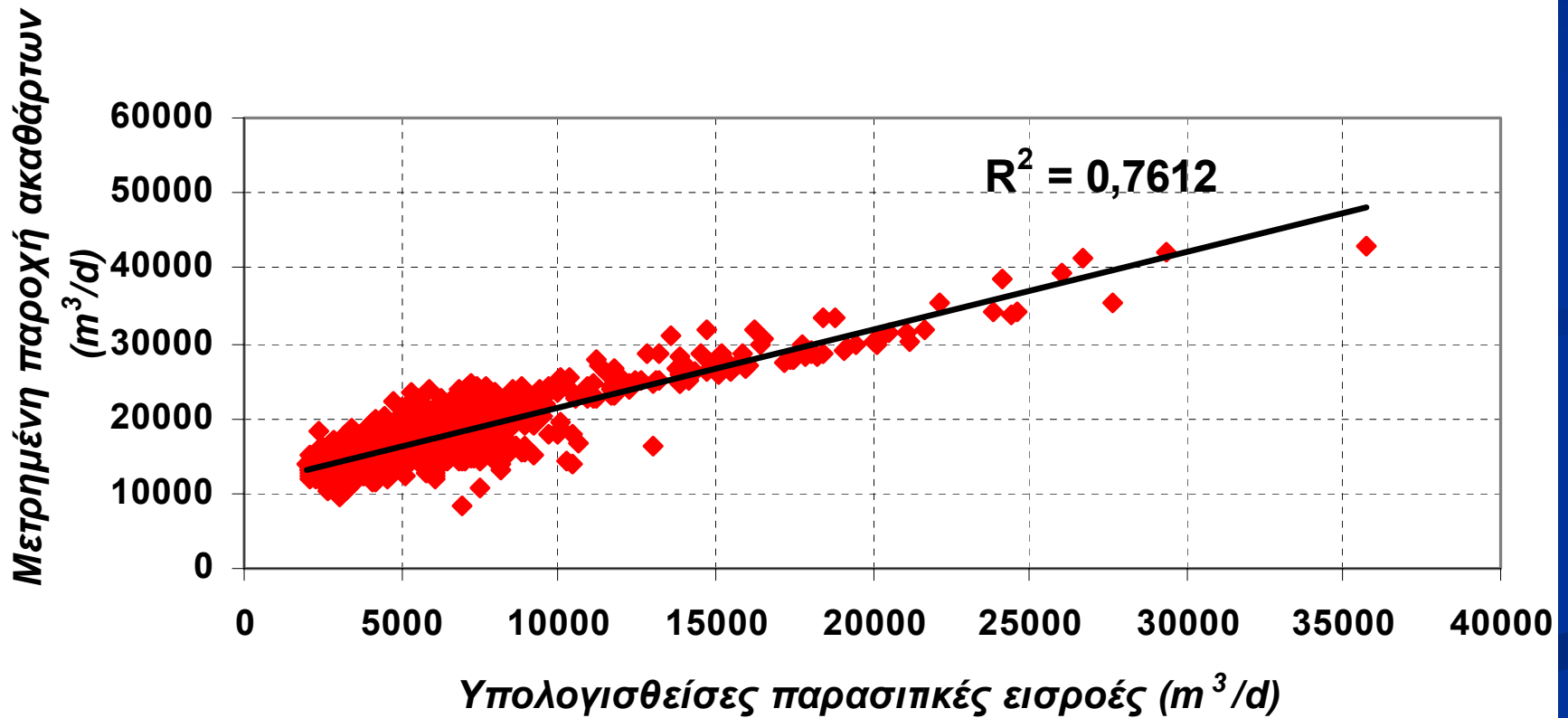
Θεωρήθηκε ότι εκφράζουν:

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

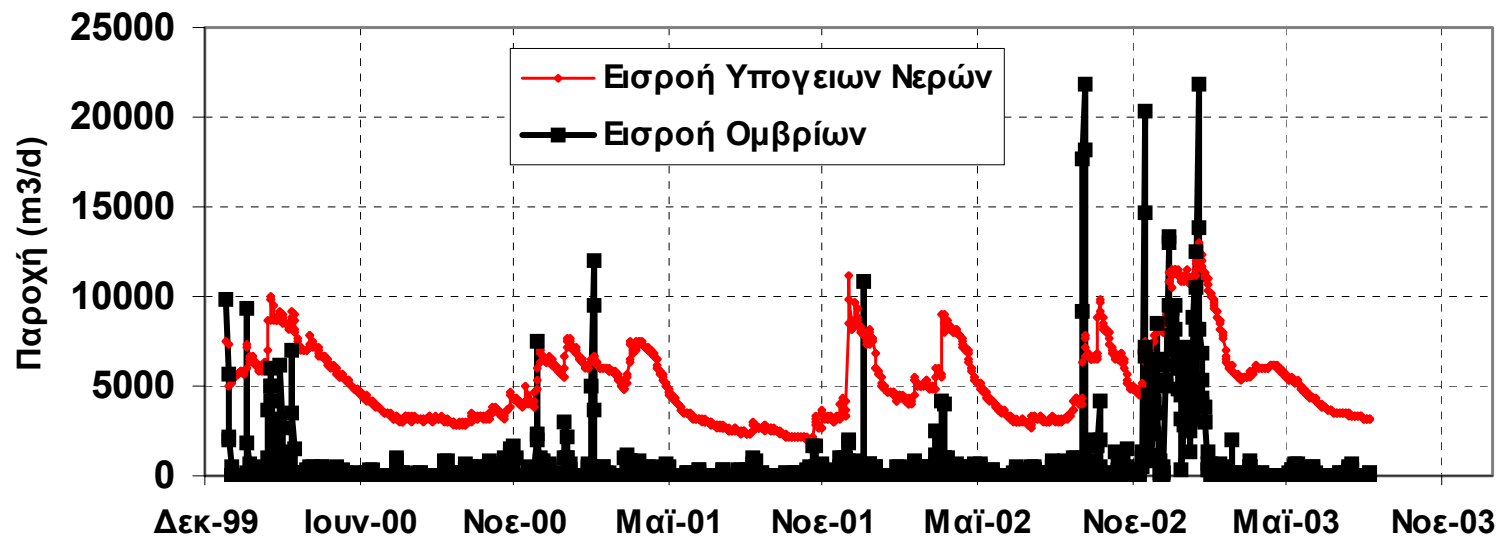
Έλεγχος επίδοσης μοντέλου (1):



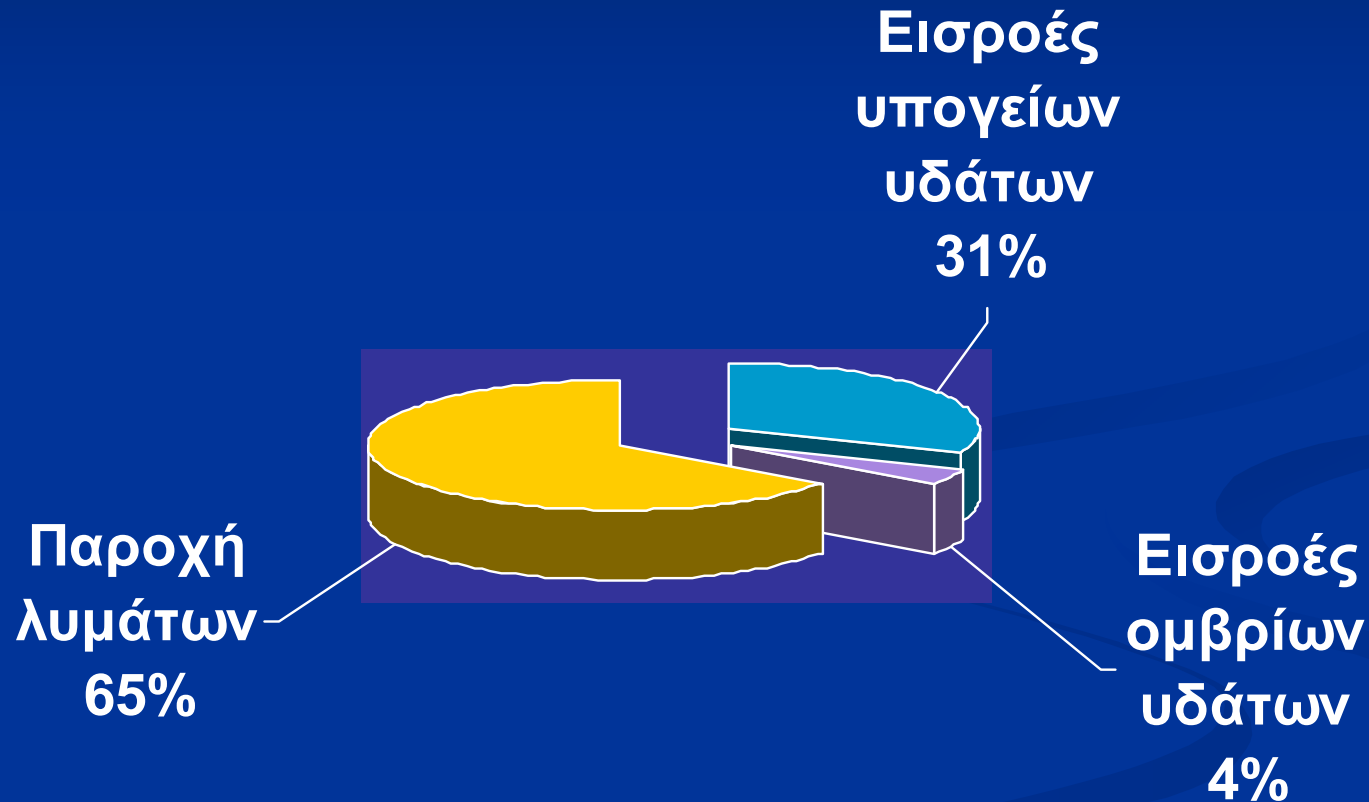
Έλεγχος επίδοσης μοντέλου (2):



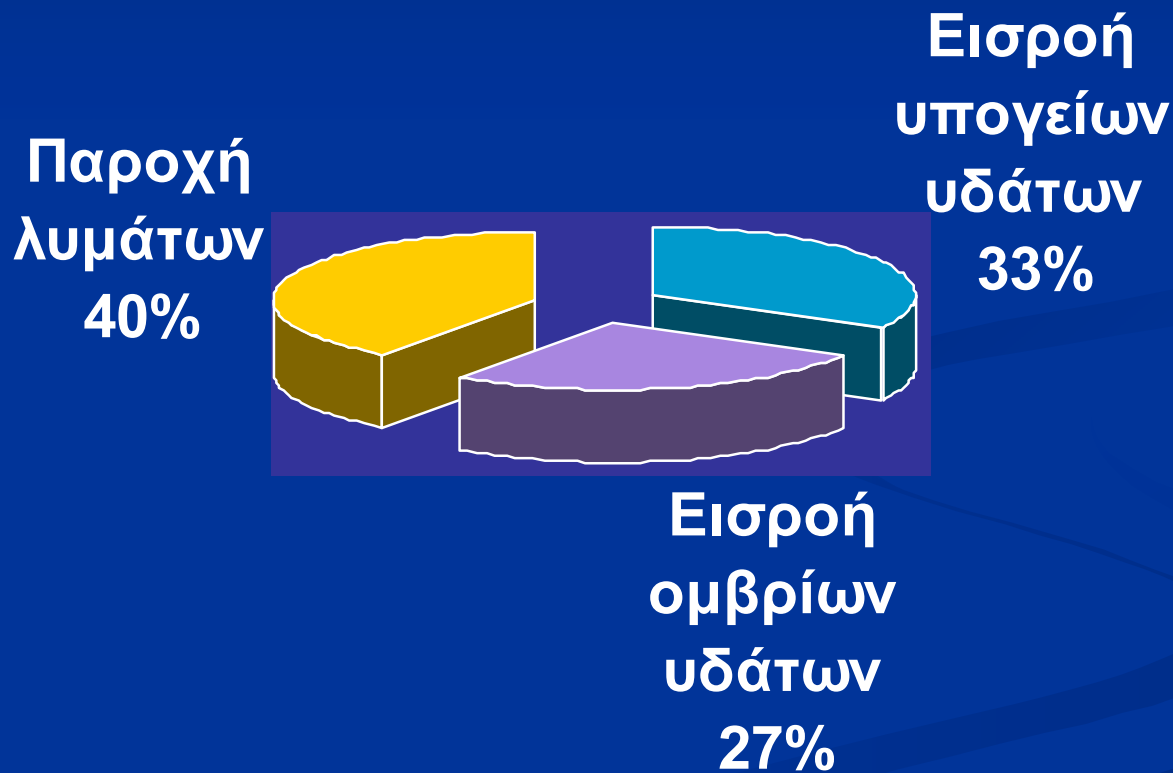
Κατανομή παρασιτικών εισροών:



Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα:



Συνιστώσες Ακαθάρτων για την περίοδο εμφάνισης του μέγιστου 5 % της παροχής ακαθάρτων:



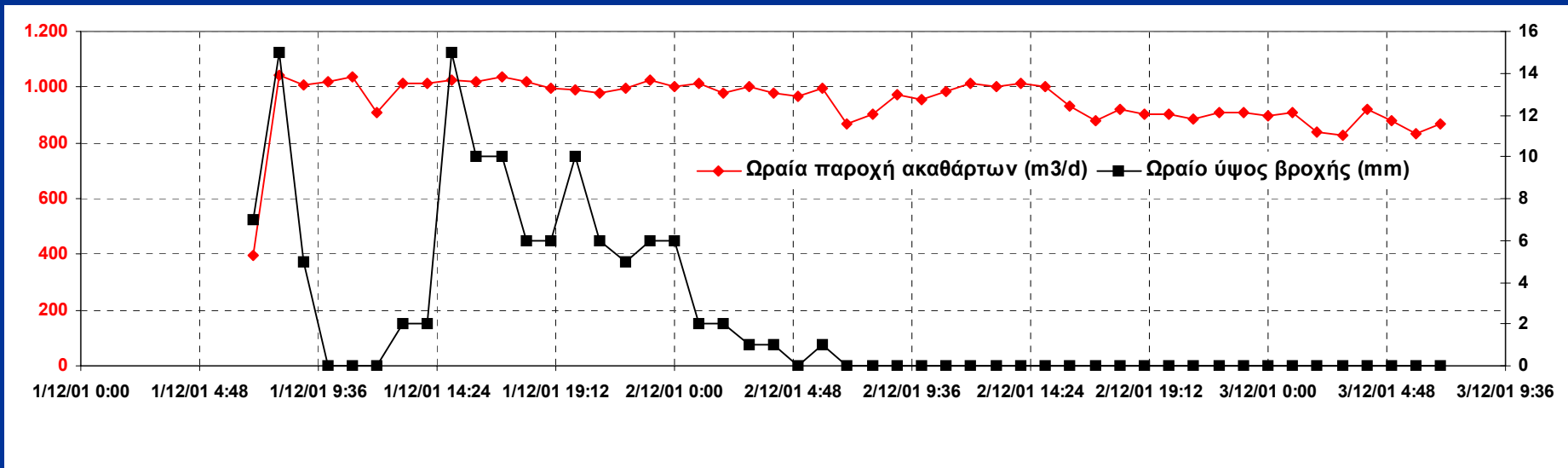
Καρδίτσα:

- Συνολικός παροχετευόμενος πληθυσμός 35.000
- Χωριστικό δίκτυο
- Κατασκευάστηκε 1980 – 2000
- Υλικά κατασκευής PVC και αμιαντοτσιμέντο
- Όμοροι οικισμούς εξυπηρετούνται με σύστημα βόθρων (διευρυμένος δήμος Καποδίστρια)
- Εγκατάσταση επεξεργασίας ολοκληρώθηκε το 1989
- 2 στάδια κατασκευής για τα πληθυσμιακά δεδομένα 2005 & 2025
- Έλλειψη μετρήσεων ημερήσιας παροχής ακαθάρτων

Σύγκριση παροχής ακαθάρτων και υδατικής κατανάλωσης:

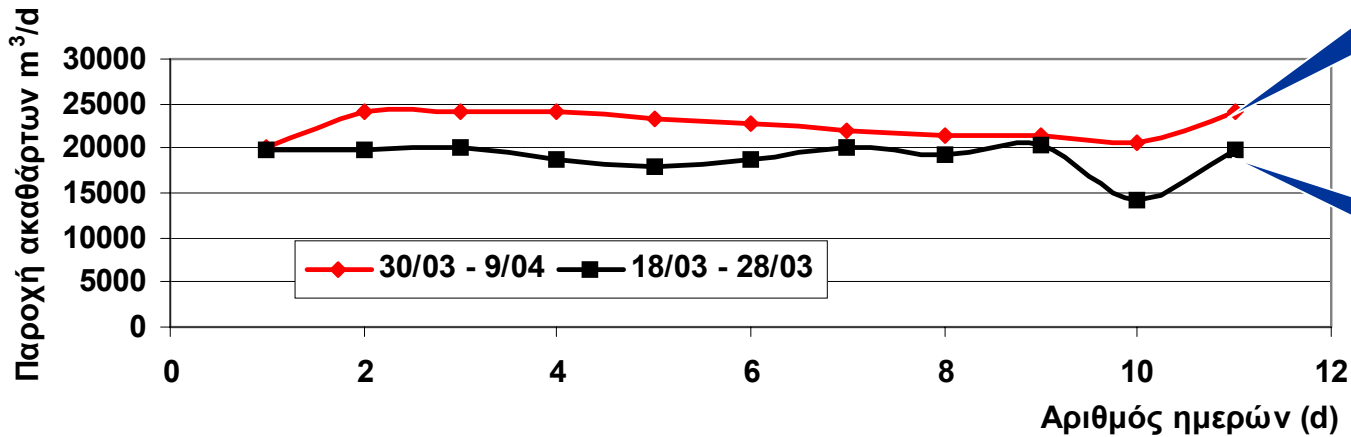


Ωριαία κατανομή ακαθάρτων/ ύψους βροχής:



Ποιοτική ανίχνευση (1):

Συνθήκες υψηλού Υ.Ο.:

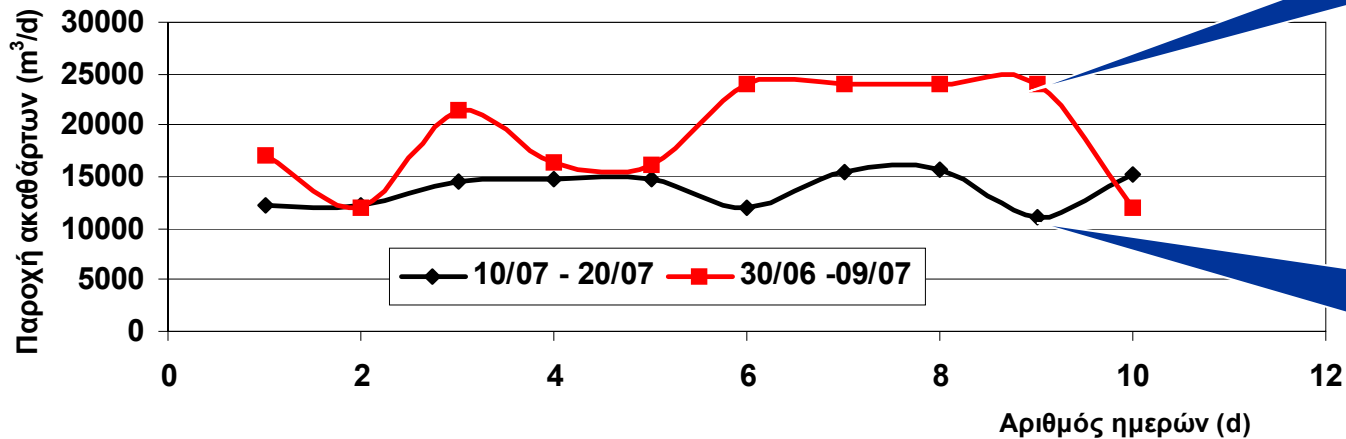


Υγρό
δεκαήμερο

Ξηρό
δεκαήμερο

Ποιοτική ανίχνευση (2):

Συνθήκες χαμηλού Υ.Ο.:

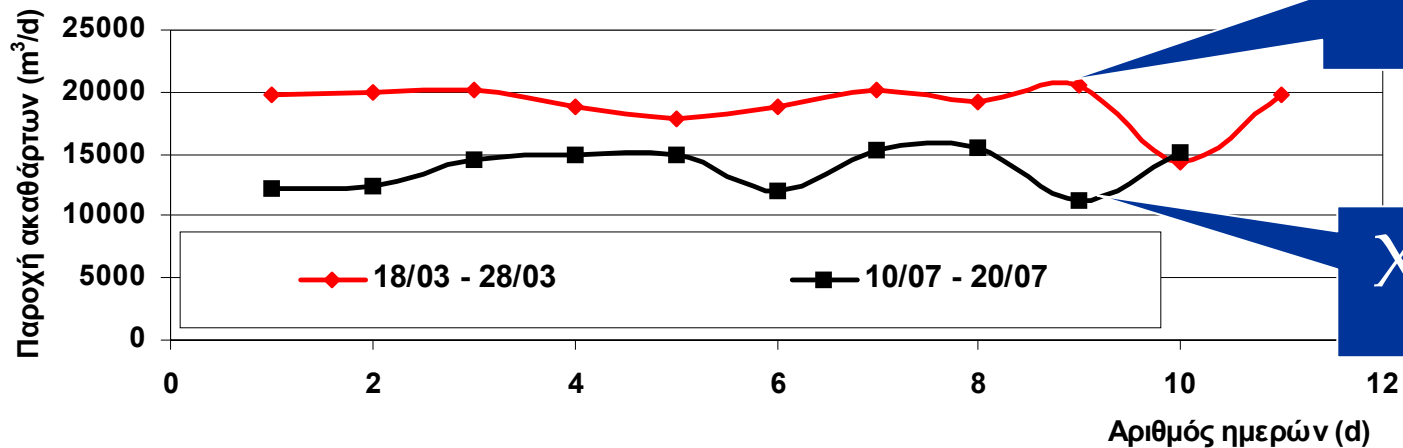


Υγρό δεκαήμερο

Ξηρό δεκαήμερο

Ποιοτική ανίχνευση (3):

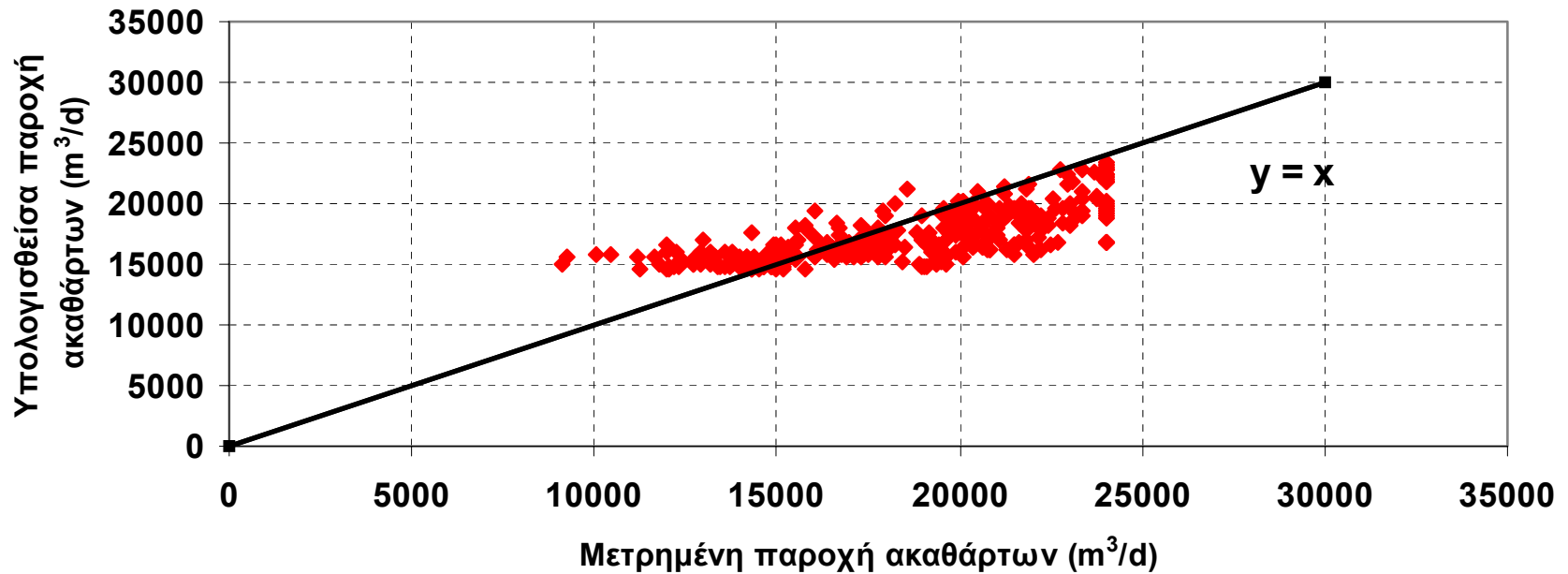
Ξηρές συνθήκες:



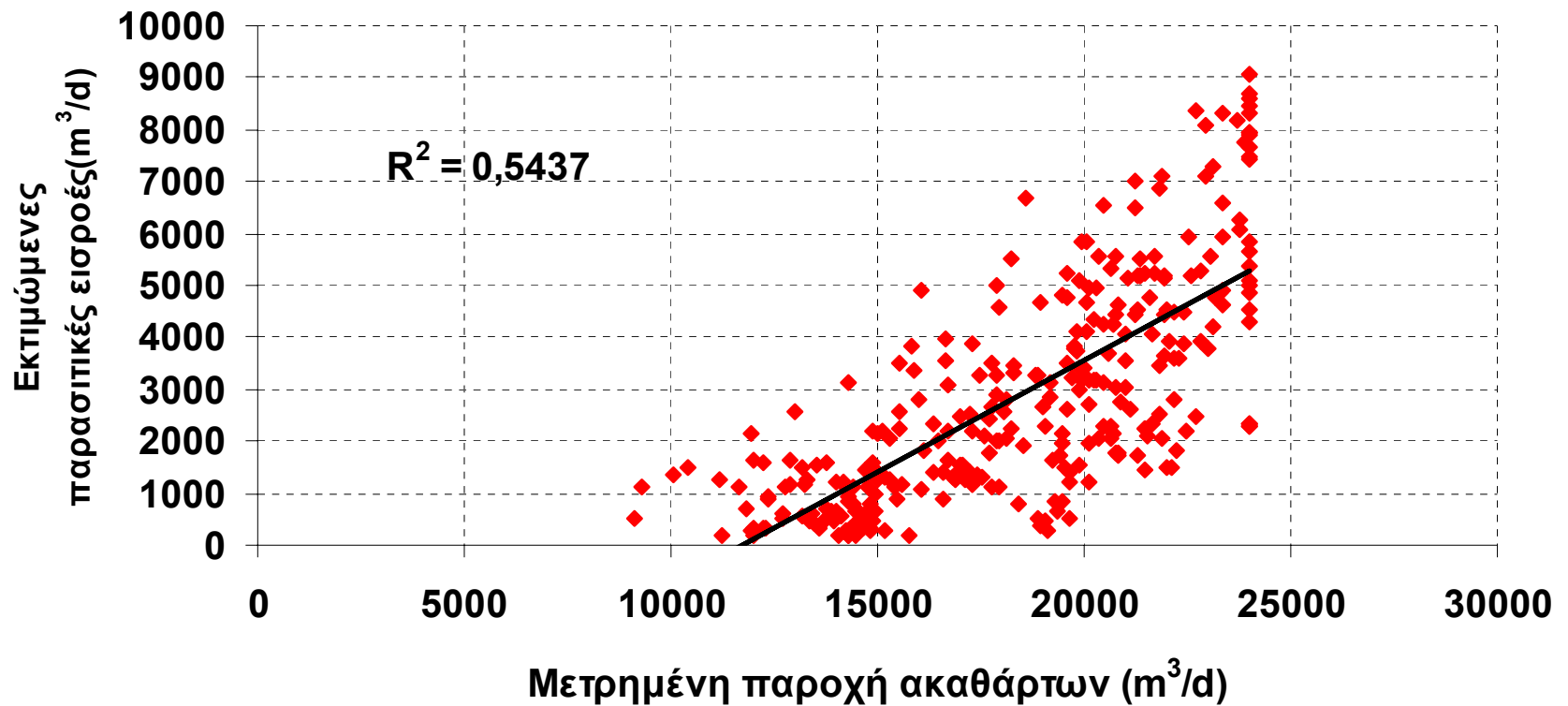
Υψηλός Υ.Ο.

Χαμηλός Υ.Ο.

Έλεγχος επίδοσης μοντέλου:



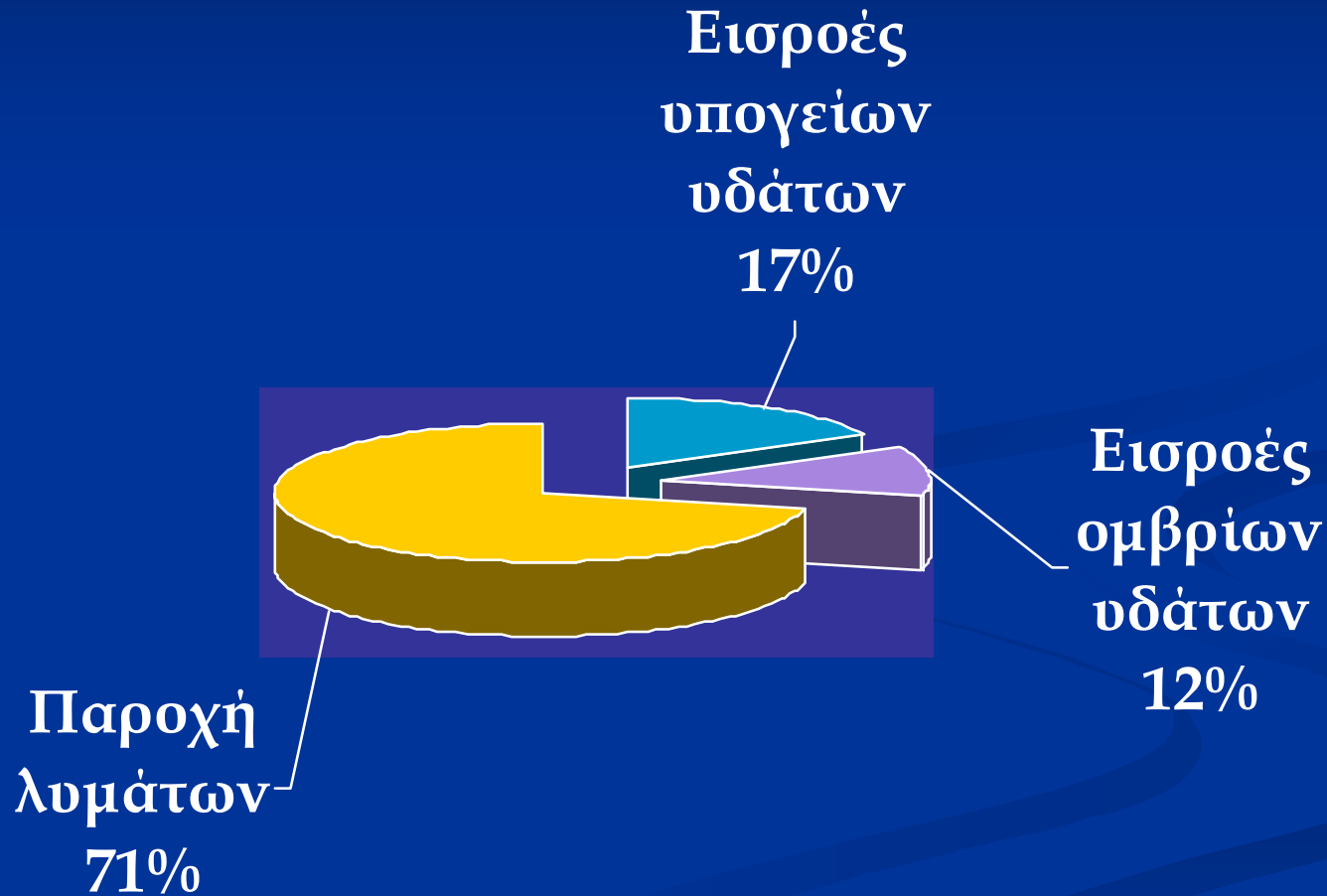
Έλεγχος επίδοσης μοντέλου (2):



Συνιστώσες της παροχής ακαθάρτων σε μέση ετήσια κλίμακα:



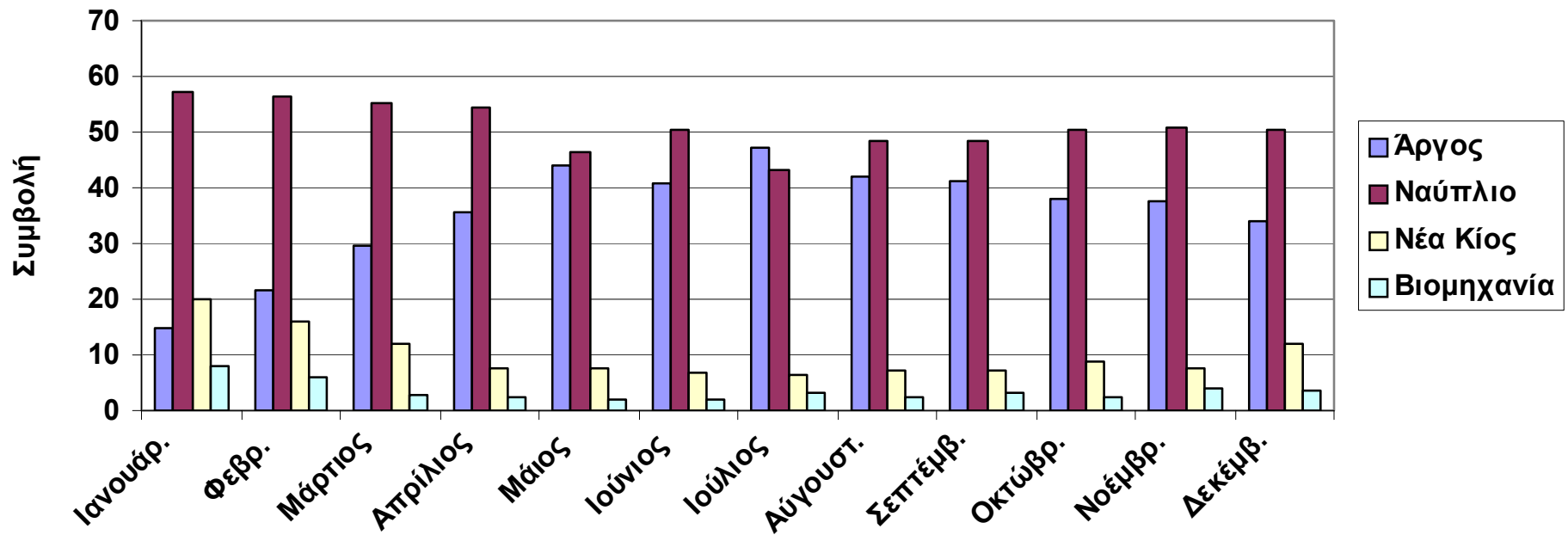
Συνιστώσες παροχής ακαθάρτων για την περίοδο εμφάνισης του μέγιστου 5%:



Άργος – Ναύπλιο:

- Ισοδύναμος εξυπηρετούμενος πληθυσμός 120.000
- Κοινή εγκατάσταση επεξεργασίας Άργους – Ναυπλίου – Νέας Κίου – Βιομηχανικών μονάδων
- Υδροφόρος ορίζοντας στη στάθμη 2 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας
- Δίκτυο Ναυπλίου και κεντρικός αγωγός μεταφοράς λυμάτων κάτω από Υ.Ο.
- Τμήμα κεντρικού αγωγού Άργους κάτω από Υ.Ο.
- Έλεγχος με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης από ΕΥΔΑΠ (Δεκέμβριος 1999)

Ποσοστιαία κατανομή της παροχής ακαθάρτων ανά πόλη για το 2003:



Συμπεράσματα:

Ιωάννινα – Καρδίτσα

- Μεγάλο το πρόβλημα των παρασιτικών εισροών στο δίκτυο.
- Σημαντική εισροή υπόγειων νερών.
- Οι αιχμές της παροχής ακαθάρτων οφείλονται κυρίως στα όμβρια.
- Ελλιπή τα αρχεία του δικτύου
- Επιτακτική η ανάγκη για έλεγχο στο δίκτυο.
- Άμεση αντιμετώπιση προβλήματος.

Βιβλιογραφικές αναφορές:

- 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, Pennsylvanian 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 Connetction, 1991
- Commonwealth of Massachussetts, Guidelines for Performing I/I Analyses and Sewer Evaluation Survey, 1993
- Commonwealth of Massachussetts, 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 Wastewate Technology
- Heany et al., Collection Systems, 1999

Βιβλιογραφικές αναφορές:

- Austin Texas: Infiltration / Inflow, Issue Paper ([www. Cigmat.edu](http://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. Γιούρδας, Αθήνα 1970
- Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering, Mc Graw Hill, 1981
- Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering : Collecting and Pumping of 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 induced infiltration in separate sewerage, Volume 32, Issue 1, 1993

Βιβλιογραφικές αναφορές:

- Ανδρεαδάκης Α., Καταγραφή αξιολόγηση και ιεράρχιση αναγκαιών επεμβάσεων στην υφιστάμενη μονάδα των Ιωαννίνων, 2002
- Ανδρεαδάκης Α., Εγκατάστασης 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 Ενοποιησης 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

Ευχαριστίες:

Καθηγητή κ. Δ.Κουτσογιάννη,
Καθηγητή κ. Α.Ανδρεαδάκη,
Καθηγητή κ. Ι. Στεφανάκο,
ΔΕΥΑ Ιωαννίνων, Καρδίτσας, Άργους & Ναυπλίου,
Διευθυντή ΔΕΥΑ Ιωαννίνων, κ. Κ.Γιωτάκη,
Χημικό Μηχανικό ΔΕΥΑ Καρδίτσας, κ. Κ. Παπαθανασίου
Πολιτικό Μηχανικό ΔΕΥΑ Άργους, κ. Σταθοπούλου