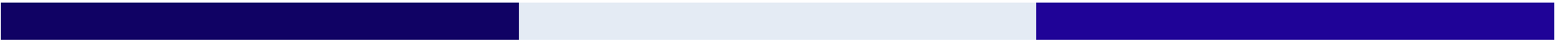


ΔΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων
Σημειώσεις στο πλαίσιο του μαθήματος: **Αστική Υδρολογία**



Αστικές αποχετεύσεις

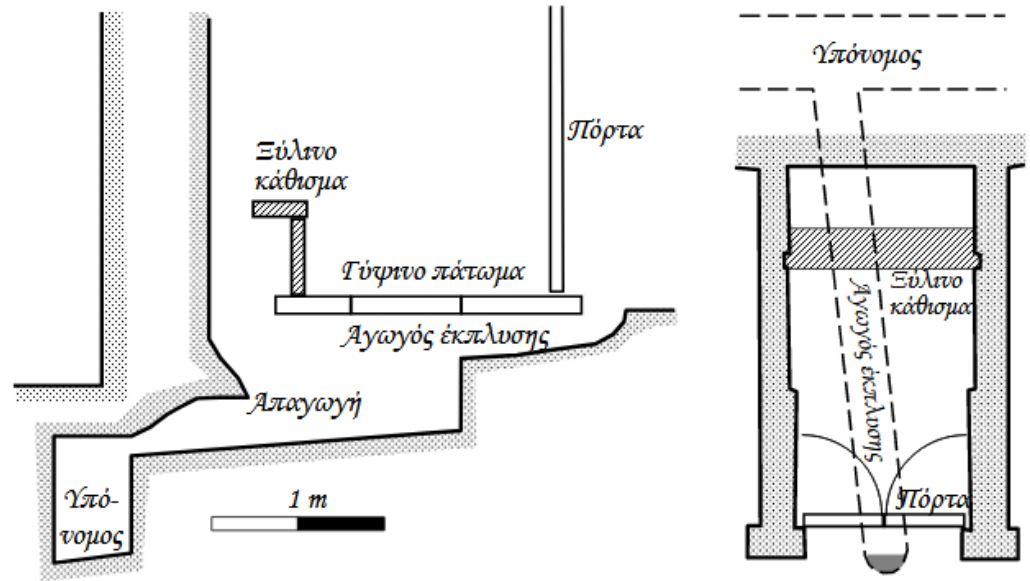
Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάιος 2019

Ιστορική αναδρομή

Πήλινα καναλέτα αποχέτευσης εντός του ανακτόρου της Κνωσού



Τομή και κάτοψη τουαλέτας στο ισόγειο του ανακτόρου της Κνωσού

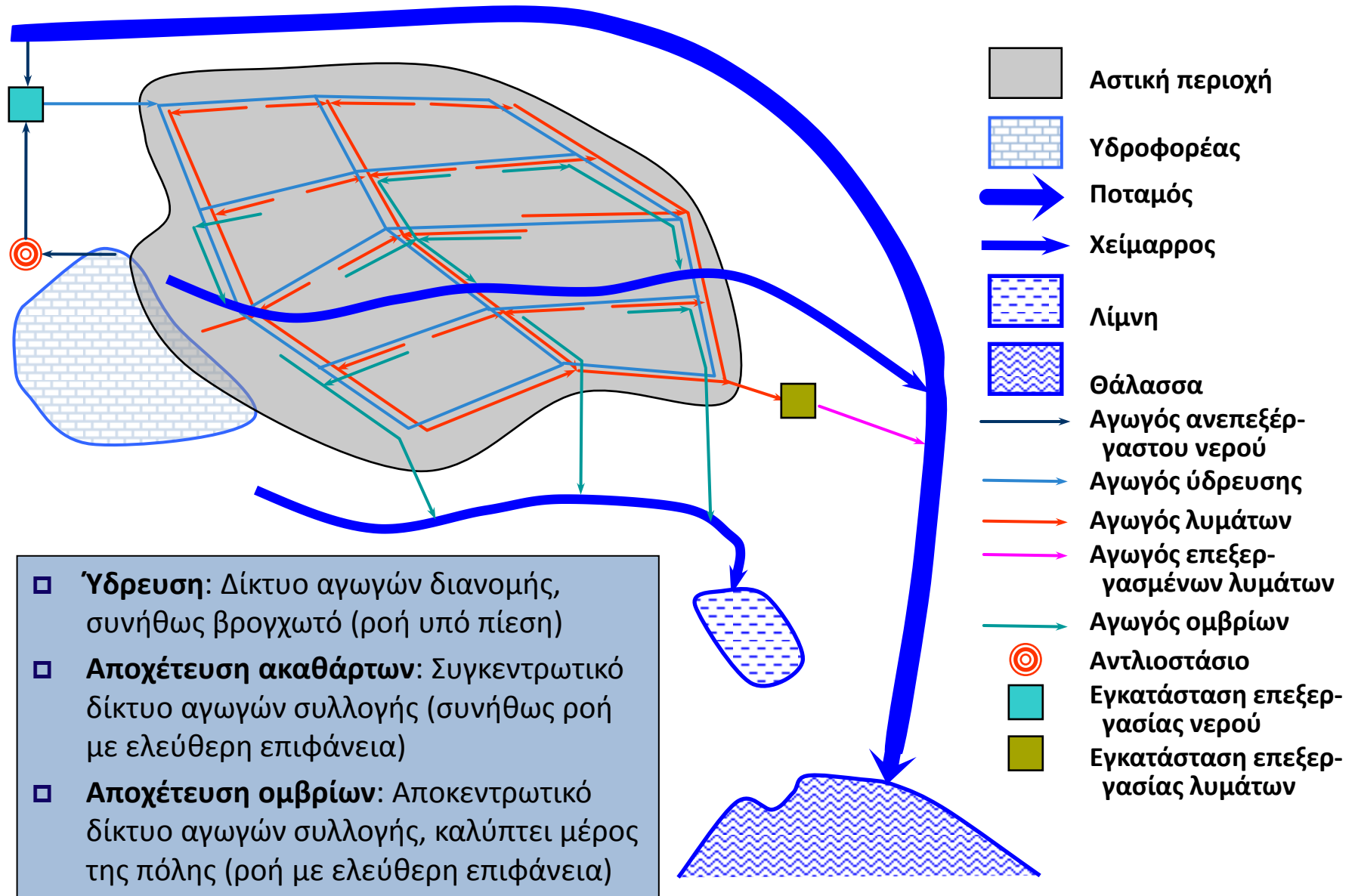


Ανάκτορο Κνωσού: έξοδος κεντρικού αποχετευτικού αγωγού

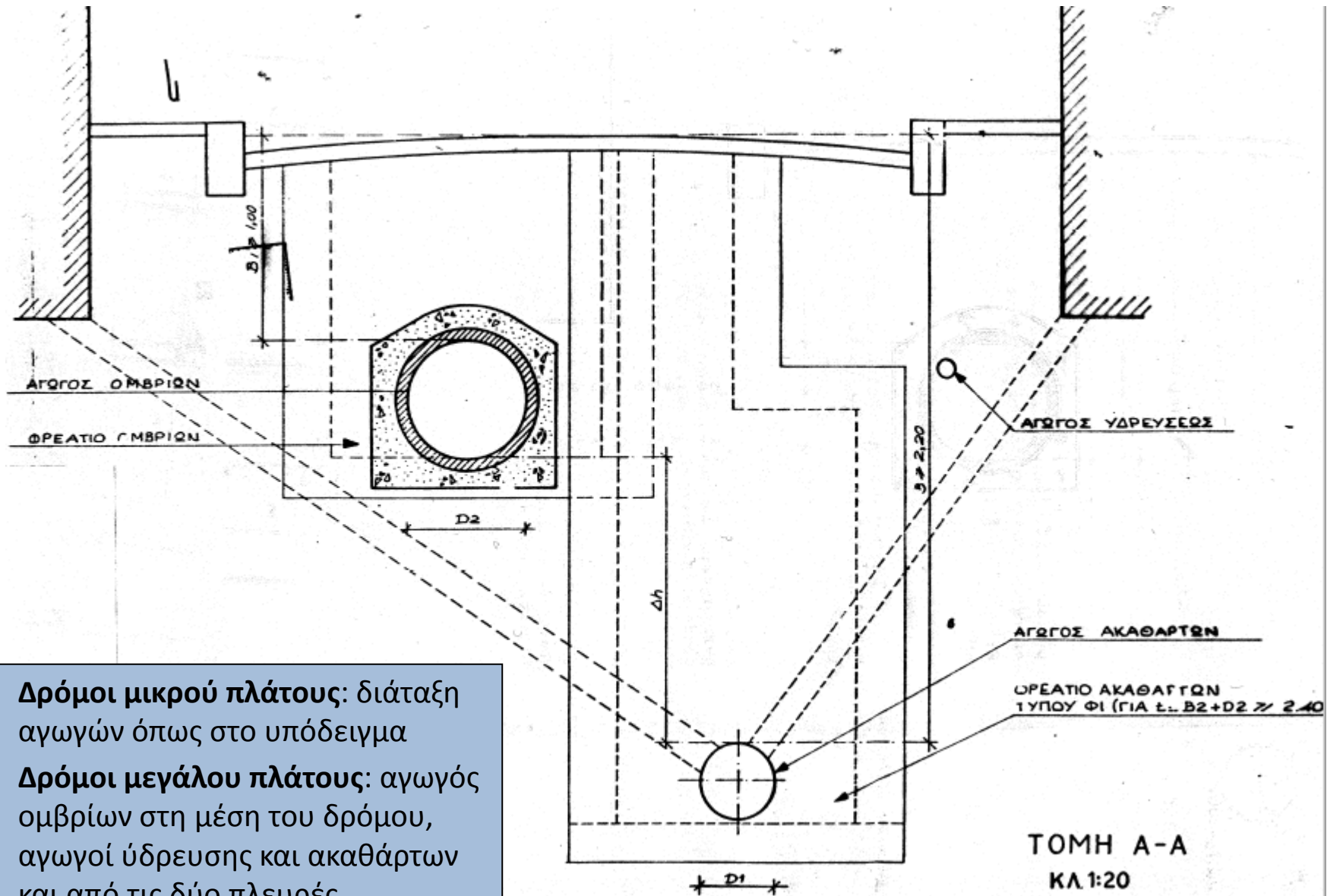


Αγία Τριάδα: αποχέτευση ομβρίων

Αστικά υδροσυστήματα & συναφή υδραυλικά έργα



Τυπική διάταξη αγωγών ύδρευσης & αποχέτευσης



- **Δρόμοι μικρού πλάτους:** διάταξη αγωγών όπως στο υπόδειγμα
- **Δρόμοι μεγάλου πλάτους:** αγωγός ομβρίων στη μέση του δρόμου, αγωγοί ύδρευσης και ακαθάρτων και από τις δύο πλευρές

Ορισμοί

- ❑ **Αστικές αποχετεύσεις:** Έργα συλλογής και μεταφοράς λυμάτων και ομβρίων νερών μιας αστικής περιοχής, μέχρι το σημείο διάθεσής τους.
- ❑ **Αστικά υγρά απόβλητα ή λύματα ή ακάθαρτα:** Νερά, αναμειγμένα με στερεές ουσίες που αποβάλλονται με τη συνήθη χρήση υγιεινής από οικιστικές, εμπορικές ή βιομηχανικές περιοχές. Σε αστικές περιοχές με βιομηχανικές δραστηριότητες, μαζί με αυτά μεταφέρονται συχνά και τα **βιομηχανικά υγρά απόβλητα**.
- ❑ **Όμβρια:** Βρόχινα νερά που απορρέουν μετά από βροχόπτωση.
- ❑ **Παρασιτικές εισροές:** Νερά που αναπόφευκτα εισέρχονται στο αποχετευτικό δίκτυο, πέραν του σκοπού για τον οποίο σχεδιάζονται. Περιλαμβάνουν:
 - **Παντοροϊκό σύστημα**, όταν υπάρχει ένα ενιαίο δίκτυο που συλλέγει και μεταφέρει αδιακρίτως και τα όμβρια και τα ακάθαρτα.
 - **Χωριστικό σύστημα**, που περιλαμβάνει διακριτά δίκτυα ακαθάρτων και ομβρίων.
 - **Μικτό σύστημα**, όταν έχουμε συνύπαρξη παντοροϊκού δικτύου σε ένα τμήμα της αστικής περιοχής (συνήθως το παλαιότερο) και χωριστικού στο υπόλοιπο.
- ❑ Με βάση την ισχύουσα Κοινοτική και Εθνική νομοθεσία για την επεξεργασία και διάθεση των αστικών λυμάτων (ΚΥΑ 5673/400/1997 Φ.Ε.Κ. 192Β/14-3-97), στους οικισμούς με **ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 2000 κατοίκων** πρέπει να υπάρχει δίκτυο για τη συλλογή των αστικών λυμάτων.

Χωριστικά δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων

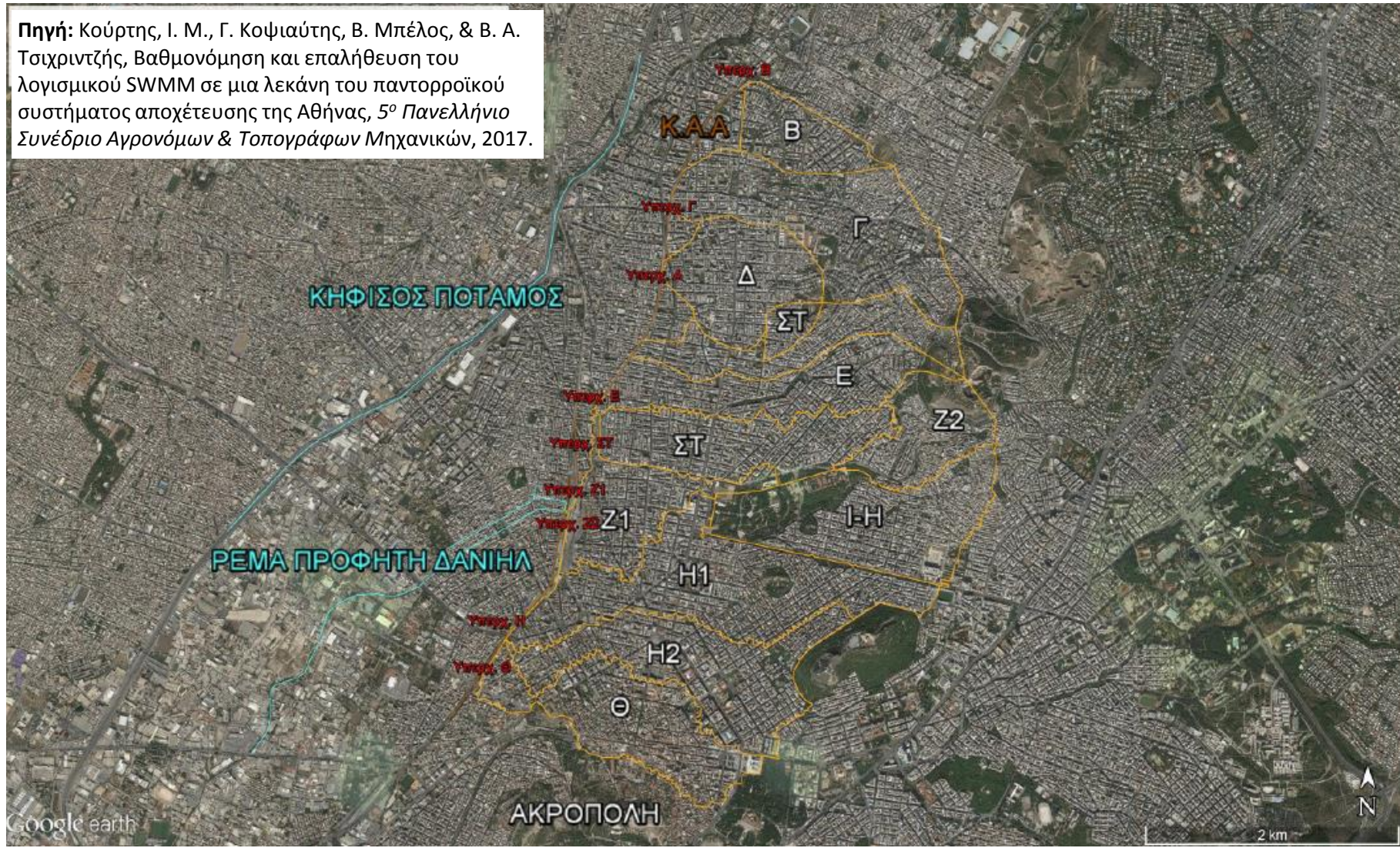
- Διαμορφώνεται ένα **συγκεντρωτικό δίκτυο συλλογής**, το οποίο συγκεντρώνει το σύνολο των λυμάτων σε έναν κεντρικό αγωγό, μέσω του οποίου οδηγούνται στην **εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)**.
- Ο **κεντρικός αγωγός ή κύριος συλλεκτήρας** συγκεντρώνει τις αποχετεύσεις των υπόλοιπων αγωγών, που ανάλογα με τη θέση και τη σημασία τους στο δίκτυο διακρίνονται σε πρωτεύοντες, δευτερεύοντες και τριτεύοντες, χωρίς η διάκριση αυτή να έχει απόλυτο χαρακτήρα.
- Οι αγωγοί **καλύπτουν το σύνολο του οδικού δικτύου**, ώστε να εξυπηρετούνται όλοι οι καταναλωτές (κατ' αντιστοιχία με το δίκτυο διανομής πόσιμου νερού).
- Οι αγωγοί αποχέτευσης γενικά σχεδιάζονται και λειτουργούν ως **αγωγοί με ελεύθερη επιφάνεια**. Αν η τοπογραφία δεν το επιτρέπει, η μεταφορά γίνεται με άντληση, επιδιώκοντας κατά το δυνατό χαμηλά μανομετρικά ύψη.
- **Αποδέκτης** των επεξεργασμένων λυμάτων είναι συνήθως ένα φυσικό υδάτινο σύστημα (υδατόρευμα, λίμνη, θάλασσα). Σε κάποιες περιπτώσεις, αποδέκτης μπορεί να είναι και το έδαφος. Η εκβολή των λυμάτων αποδίδεται με το όρο **διάθεση**, και ο αγωγός μέσω του οποίου γίνεται λέγεται **αγωγός διάθεσης**.
- Τα λύματα πριν τη διάθεσή τους οφείλουν να υφίστανται κατάλληλη **επεξεργασία**, με στόχο την αφαίρεση των ρύπων, δηλαδή των ουσιών που είναι σε κατάλληλη εγκατάσταση επεξεργασίας, όπου χρησιμοποιούνται φυσικές, βιολογικές και χημικές διεργασίες καθαρισμού τους.

Παντοροϊκά δίκτυα

- Κατά το μεγαλύτερο διάστημα μεταφέρουν **μόνο λύματα**, ωστόσο σχεδιάζονται με διατομές επαρκείς για τη διοχέτευση των ομβρίων (Q ομβρίων \gg Q ακαθάρτων).
- Πλεονεκτήματα:
 - απλότητα, που προσφέρει καλύτερη εποπτεία (ένας αγωγός σε κάθε δρόμο)
 - μικρότερη απασχόληση της διατομής των δρόμων
 - μικρότερο αρχικό κόστος κατασκευής.
- Μειονεκτήματα:
 - μεγάλες διακυμάνσεις φορτίων \rightarrow δυσλειτουργίες και κόστος επεξεργασίας
 - υπερχείλιση προς επιφανειακούς αποδέκτες χωρίς επεξεργασία, όταν η συνολική παροχή ξεπεράσει ένα όριο \rightarrow κίνδυνος ρύπανσης
 - κίνδυνοι πλημμυρίσματος υπογείων σε περιπτώσεις εξαιρετικών καταιγίδων
 - αναδύσεις οσμών από ανοιχτά φρεάτια υδροσυλλογής, κυρίως την ξηρή περίοδο
 - αυξημένο κόστος αντλήσεων, όταν υπάρχουν αντλιοστάσια στο δίκτυο.
- Ενδείκνυται μόνο: (α) σε μικρές επεκτάσεις παλιών παντοροϊκών δικτύων, (β) όταν τα όμβρια απαιτούν επεξεργασία πριν τη διάθεσή τους, εξαιτίας της παρουσίας οργανικών υλικών στους δρόμους της πόλης, και (γ) σε οικισμούς με πολύ στενούς δρόμους που δεν επιτρέπουν την κατασκευή δύο παράλληλων αγωγών αποχέτευσης.
- Παλιοί παντοροϊκοί αγωγοί \rightarrow χρήση ως αγωγοί ομβρίων, μετά από έλεγχο

Παράδειγμα: παντοροϊκό σύστημα Αθήνας

Πηγή: Κούρτης, Ι. Μ., Γ. Κοψιάυτης, Β. Μπέλος, & Β. Α. Τσιχριντζής, Βαθμονόμηση και επαλήθευση του λογισμικού SWMM σε μια λεκάνη του παντοροϊκού συστήματος αποχέτευσης της Αθήνας, 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, 2017.



Επτά αγωγοί υπερχειλίσης (Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ1, Ζ2), όπου γίνεται διαχωρισμός των ομβρίων από τα ακάθαρτα
Λεκάνη απορροής ομβρίων: 13.1 km², Λεκάνη απορροής ακαθάρτων: 12.5 km²

Κύριες συνιστώσες αποχετευτικού συστήματος Αθήνας

- ❑ **Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΚΑΑ):** Παντοροϊκός αγωγός, μήκους 17 km, από το τέρμα της οδού Πατησίων μέχρι τον Ακροκέραμο Κερατσινίου, όπου με δίδυμο υποθαλάσσιο αγωγό ωθούνται προς το ΚΕΛΨ για επεξεργασία. Ολοκληρώθηκε το 1959. Έχει μήκος 17 km και στην εκβολή του έχει παροχετευτική ικανότητα $15 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ❑ **Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΣΚΑΑ):** Κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1980. Αρχίζει από τον Αγ. Ιωάννη Ρέντη και απολήγει στον Ακροκέραμο. Κυκλικός από οπλισμένο σκυρόδεμα, μήκους 7 km, και παροχετευτικότητας $15 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ❑ **Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας Ακαθάρτων:** Ξεκινά από τον από την περιοχή του Αγ. Στεφάνου και καταλήγει στον ΚΑΑ, στο ύψος του Αγ. Ιωάννη Ρέντη. Το μήκος του φτάνει τα 34.5 km, ενώ η παροχετευτική του ικανότητα στην εκβολή είναι $20.2 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ❑ **Κεντρικός Παραλιακός Συλλεκτήρας:** Ξεκινά από τη Βάρκιζα και καταλήγει στο Αντλιοστάσιο 29 (περιοχή Αμφιθέας). Έχει μήκος 17 km και μέγιστη παροχή $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- ❑ Επεξεργασία λυμάτων:
 - **Μεταμόρφωση** (ΚΕΛΜ, 1986): $24\ 000 \text{ m}^3$ βοθρολύματα, $20\ 000 \text{ m}^3$ αστικά λύματα
 - **Ψυτάλλεια** (ΚΕΛΨ, 1994): $730\ 000 \text{ m}^3$, προεπεξεργασία, πρωτοβάθμια και προχωρημένη δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, με απομάκρυνση αζώτου, επεξεργασία ιλύος και συμπαραγωγή ηλεκτρικής & θερμικής ενέργειας
 - **Θριάσιο Πεδίο** (ΚΕΛΘ, 2012): επεξεργάζεται τα αστικά και βιομηχανικά λύματα των περιοχών Ασπροπύργου, Ελευσίνας, Μάνδρας και Μαγούλας ($21\ 000 \text{ m}^3$)

Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας



Πηγή: Στεφανάκου, Τ., Παραγωγή, διαχείριση και αξιοποίηση της ξηραμένης ιλύος του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας, Corporate Waste and Recycling Conference, 2013



Παροχές ακαθάρτων

- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την παροχή των αγωγών ακαθάρτων;
 - Πληθυσμός
 - Κατανάλωση νερού
 - Βιομηχανικές και άλλες ειδικές χρήσεις νερού
 - Παρασιτικές εισροές
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την περίοδο σχεδιασμού του δικτύου;
 - Ωφέλιμη διάρκεια ζωής έργων
 - Ευκολία ή δυσκολία επέκτασης
 - Μεγάλη ή μικρή αβεβαιότητα εξέλιξης του πληθυσμού και της ανάπτυξης
 - Οικονομικοί παράγοντες (ολικό κόστος, διαθέσιμα κεφάλαια, επιτόκια)
- Ποιες είναι οι πιο συνηθισμένες περίοδοι σχεδιασμού;
 - Γενικά: 40-50 χρόνια
 - Τριτεύοντες αγωγοί: έσχατη προβλεπόμενη ανάπτυξη
 - Η/Μ εγκαταστάσεις, εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων: 20-25 χρόνια

Διακύμανση παροχών ακαθάρτων

- Η παροχή ακαθάρτων λαμβάνεται ως ποσοστό ρ της υδατική κατανάλωσης
 - Τυπικό εύρος τιμών: $\rho = 0.60-0.85$
 - Ελληνικές προδιαγραφές: $\rho = 0.80$
- Χαρακτηριστικά μεγέθη παροχής ακαθάρτων:
 - Μέση ημερήσια παροχή ακαθάρτων (μέση παροχή στη διάρκεια ενός έτους = μέση ετήσια ποσότητα παραγόμενων ακαθάρτων / χρόνος)
$$Q_E = \rho Q_E'$$
όπου Q_E' η αντίστοιχη μέση ημερήσια παροχή ύδρευσης.
 - Μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων (μέση παροχή στη διάρκεια της η αιχμής, με τη μέγιστη ημερήσια παραγωγή ακαθάρτων)
$$Q_H = \lambda_H Q_E \text{ (τυπική τιμή } \lambda_H = 1.5)$$
όπου λ_H ο συντελεστής ημερήσια αιχμής, που κυμαίνεται από 1.1 έως 1.5.
 - Μέγιστη στιγμιαία παροχή ακαθάρτων (αιχμή της παροχής στη διάρκεια της μέρας με τη μέγιστη κατανάλωση)

$$Q_P = P Q_H$$

Παρατήρηση: Ο συντελεστής P δεν πρέπει να συγχέεται με τον συντελεστή αιχμής που εφαρμόζεται στις παροχές ύδρευσης. Ο πρώτος αναφέρεται στην στιγμιαία αιχμή, ενώ ο δεύτερος στην ωριαία.

Εκτίμηση συντελεστή στιγμιαίας αιχμής

- Ο συντελεστής στιγμιαίας αιχμής P είναι μέγεθος **στατιστικό**, το οποίο συναρτάται με:
 - την επιθυμητή **ποιότητα λειτουργίας του δικτύου**, η οποία εκφράζεται ως η πιθανότητα να μην υπερβαίνει η πραγματική παροχή την παροχή σχεδιασμού
 - τον **πληθυσμό** που εξυπηρετείται (έμμεσα από την ημερήσια παροχή ακαθάρτων)
 - διάφορες **λειτουργικές παραμέτρους**
- Στατιστική σχέση υπολογισμού με βάση τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό, Π :

$$P = 1.5 \left(1 + \frac{1.1}{\sqrt{\Pi/1000}} \right)$$

- Εμπειρική σχέση ελληνικών προδιαγραφών, με βάση την μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων, Q_H (L/s):

$$P = \min \left(3, 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_H}} \right)$$

- Ανεξάρτητα από το ποια σχέση χρησιμοποιείται, ο συντελεστής P μεταβάλλεται από θέση σε θέση και μάλιστα **μειώνεται όσο προχωρούμε προς τα κατάντη**, καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός που εξυπηρετείται από τον αγωγό.

Παρατήρηση: Η στατιστική σχέση εκτίμησης του συντελεστή P βασίζεται στην υπόθεση ότι η παροχή ακαθάρτων ακολουθεί κανονική κατανομή, και σε σειρά άλλων παραδοχών. Η σχέση των ελληνικών προδιαγραφών είναι ισοδύναμη, για ειδική κατανάλωση την ημέρα αιχμής ίση με 200 L/κ/d.

Παρασιτικές εισροές (1)

□ Εισροές **υπόγειων νερών**:

- Προέλευση: από ρωγματώσεις στο εσωτερικό των αγωγών, ατέλειες στην κατασκευή και τη στεγάνωση των φρεατίων και στη σύνδεση των αγωγών
- Εκτίμηση παροχής παρασιτικών εισροών **υπόγειων νερών** (q_i σε L/s/ha, A σε ha):

- Νέα δίκτυα με στεγανά φρεάτια & ελαστικούς δακτυλίους στεγανοποίησης:

$$q_i = \min (0.161, 0.5 / A^{0.30})$$

- Παλιά δίκτυα με υψηλό υπόγειο ορίζοντα:

$$q_i = 1 / A^{0.25}$$

□ Εισροές **ομβρίων υδάτων**:

- Κύρια προέλευση: **παράνομες συνδέσεις ιδιωτικών αποχετεύσεων ομβρίων** στο δίκτυο ακαθάρτων
- Άλλες πηγές: από καλύμματα φρεατίων, ατέλειες στην κατασκευή και σύνδεση των αγωγών, διηθήσεις από το δίκτυο ομβρίων
- Εκτίμηση μέσω προσαύξησης των παροχών ακαθάρτων κατά 30 έως 50% (για δίκτυα που δεν έχουν καλή επιτήρηση)

- Προβλήματα στο δίκτυο ακαθάρτων (κίνδυνος υπερχείλισης), τη μονάδα επεξεργασίας και τον τελικό αποδέκτη, καθώς αυξάνεται σημαντικά η **παροχή** αλλά και αλλοιώνεται η **σύσταση των λυμάτων** (αραίωση).

Παρασιτικές εισροές (2)

- ❑ Αντιμετώπιση κατά το σχεδιασμό (προσαύξηση παροχών σχεδιασμού, νέες τεχνολογίες και υλικά, επιμέλεια κατασκευής, διαμόρφωση δικτύου μαζί με ιδιωτικές συνδέσεις)
- ❑ Εντοπισμός στο στάδιο λειτουργίας (τεστ καπνού, κάμερες)
- ❑ Αντιμετώπιση στο στάδιο λειτουργίας



**Παράνομη
σύνδεση
υδρορροής στο
δίκτυο
ακαθάρτων**



**Φρεάτιο
χωρίς
στεγανότητα**



**Αρμοί και
ρωγμές σε
αποχετευτικό
αγωγό**



**Διαβρωμένος
αγωγός
αποχέτευσης**

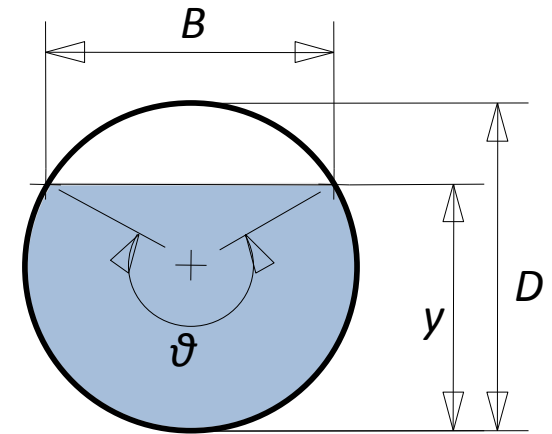
Πηγή: Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Ζαλαχώρη, & Α. Ανδρεαδάκης, Παρασιτικές εισροές σε δίκτυα ακαθάρτων, Συμπόσιο για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Θήβα, 2005.

Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων αποχέτευσης

- Υδραυλική λειτουργία αγωγών ομβρίων και ακαθάρτων:
 - Ελληνικές προδιαγραφές: **υποχρεωτικά με ελεύθερη επιφάνεια**
 - Σε άλλους κανονισμούς επιτρέπεται η ολική πλήρωση των αγωγών, ή ακόμη και η ροή με μικρή πίεση (π.χ. 0.3 m), κυρίως για αγωγούς ομβρίων και μόνο όταν για το μεγαλύτερο εύρος παροχών εξασφαλίζεται ικανοποιητικός αερισμός των αγωγών
 - Γενικά, η εμφάνιση **σημαντικής πίεσης** στη ροή των αγωγών αποχέτευσης είναι μη αποδεκτή, γιατί θα είχε ως συνέπεια την **αναστροφή της ροής**, από τους αγωγούς, προς τις ιδιωτικές συνδέσεις ή τα φρεάτια των οδών
 - **Εξαίρεση**: καταθλιπτικοί αγωγοί, σίφωνες, σήραγγες
- **Συνθήκες ροής** στους υπονόμους:
 - Κατά κανόνα: ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μη μόνιμη, ανομοιόμορφη
 - Απλούστευση: ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μόνιμη, ομοιόμορφη (**σχέση Manning**).
- Ποσοστό **στερεών ουσιών** στα λύματα που μεταφέρονται σε διάλυση ή αιώρηση:
 - Περίπου 0.1% στα αστικά λύματα, λίγο μεγαλύτερο σε βιομηχανικά απόβλητα και όμβρια (μεταφέρουν άμμο και χώματα)
 - Πρακτικά μηδενικές επιπτώσεις ως προς την υδραυλική λειτουργία των αγωγών
 - Σημαντικές επιπτώσεις ως προς τα φαινόμενα που δημιουργούν (βιοχημικές αντιδράσεις, διάβρωση, αποθέσεις) → ελαχιστοποίηση με κατάλληλο σχεδιασμό

Περιορισμοί διαμέτρων – όρια πλήρωσης

- ❑ Σκοπιμότητα καθορισμού **ελάχιστων διαμέτρων**:
 - ❑ Αποφυγή κινδύνου εμφράξεων.
- ❑ Ελάχιστες διάμετροι σε αγωγούς αποχέτευσης:
 - ❑ 20 cm για αγωγούς ακαθάρτων
 - ❑ 40 cm για αγωγούς ομβρίων
- ❑ Σε αγωγούς σε σειρά, δεν επιτρέπεται η εφαρμογή μικρότερης διαμέτρου κατάντη.
- ❑ Σκοπιμότητα καθορισμού **μέγιστων ποσοστών πλήρωσης**:
 - ❑ Εξασφάλιση επαρκούς αερισμού των λυμάτων
 - ❑ Αποφυγή κινδύνου λειτουργίας των αγωγών υπό πίεση
 - ❑ Αποφυγή ασταθειών ροής
- ❑ **Μέγιστα ποσοστά πλήρωσης** (λόγος βάθους ροής προς της διάμετρο, y/D):
 - ❑ Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου 20 έως 40 cm: 0.50
 - ❑ Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου 50 έως 60 cm: 0.60
 - ❑ Νέοι αγωγοί ακαθάρτων διαμέτρου >60 cm: 0.70
 - ❑ Νέοι αγωγοί ομβρίων, γενικά: 0.70
 - ❑ Παλιοί αγωγοί αποχέτευσης (έλεγχος, όχι ανασχεδιασμός): 0.80



Μέγιστες ταχύτητες

- Σκοπιμότητα καθορισμού **μέγιστων ορίων στην ταχύτητα**:
 - Αποφυγή **διάβρωσης** των τοιχωμάτων των αγωγών και φρεατίων (αυξημένη διαβρωτική ικανότητα λόγω των στερεών υλικών που μεταφέρονται στους υπονόμους, για τα συνήθη υλικά αγωγών αποχέτευσης)
 - Αποφυγή **μεγάλου ύψους κινητικής ενέργειας** (→ κίνδυνος ανύψωσης της γραμμής ενέργειας πάνω από το οδόστρωμα → πιθανή έξοδος λυμάτων στο δρόμο ή στα υπόγεια)
 - Αποφυγή **υπερκρίσιμων ροών** (→ κίνδυνος εμφάνισης υδραυλικών αλμάτων, ασταθειών ροής, στάσιμων κυμάτων → μη προβλέψιμες συνθήκες ροής)
- Μέγιστες επιτρεπόμενες ταχύτητες που επιβάλλουν οι προδιαγραφές (αναφέρονται στην **παροχή σχεδιασμού**):
 - Ελληνικές προδιαγραφές: $V_{max} = 6$ m/s (διεθνείς προδιαγραφές: $V_{max} = 3$ m/s)
 - Σύσταση για τον σχεδιασμό: $V_{max} = 6$ m/s για αγωγούς ομβρίων (διαλείπουσα ροή) και 3 m/s για αγωγούς ακαθάρτων (συνεχής ροή)
- Αντιμετώπιση **υπέρβασης ορίων μέγιστης ταχύτητας** στον σχεδιασμό:
 - Μείωση κλίσης αγωγού (προϋποθέτει και αύξηση της διαμέτρου, διαφορετικά θα υπάρξει υπέρβαση του επιτρεπόμενου ορίου πλήρωσης)
 - **Βαθμιδωτή χάραξη** και κατασκευή **φρεατίων πτώσης** για μείωση εκσκαφών

Ελάχιστες ταχύτητες (ταχύτητες αυτοκαθαρισμού)

- Σκοπιμότητα καθορισμού **ελάχιστων ορίων στην ταχύτητα**:
 - Αποφυγή **αποθέσεων φερτών** στους αγωγούς και τα φρεάτια (επιτυγχάνεται για κατάλληλη ταχύτητα αυτοκαθαρισμού → ελάχιστη απαιτούμενη συρτική τάση)
 - Εξασφάλιση **καλού αερισμού** των λυμάτων (κακός αερισμός → δημιουργία αναερόβιων συνθηκών → πιθανότητα παραγωγής υδροθείου → κίνδυνος διάβρωσης των τοιχωμάτων αγωγών και φρεατίων)
- Η ταχύτητα αυτοκαθαρισμού δεν πρέπει να επιτυγχάνεται μόνο όταν η παροχή είναι ίση με την παροχή σχεδιασμού, αλλά και σε μικρότερες τιμές της παροχής.
- Ελληνικές προδιαγραφές, αναφέρονται στο **10% της παροχτευτικότητας**:
 - Αγωγοί ομβρίων: $V_{min} = 0.6 \text{ m/s}$, αγωγοί ακαθάρτων: $V_{min} = 0.3 \text{ m/s}$
- Αντίστοιχες **ελάχιστες ταχύτητες πλήρους διατομής**:
 - Αγωγοί ομβρίων: $V_{0,min} = 1.11 \text{ m/s}$, αγωγοί ακαθάρτων: $V_{0,min} = 0.56 \text{ m/s}$
- Ισοδύναμος έλεγχος: **ελάχιστες κλίσεις** (συνάρτηση της διαμέτρου)
- Για κατασκευαστικούς λόγους, αποφεύγεται η εφαρμογή πολύ μικρών κλίσεων (πρακτική σύσταση: κλίση αγωγών αποχέτευσης **όχι μικρότερη των 1.0 m/km**)
- Η εφαρμογή των ορίων ελάχιστων κλίσεων δεν λύνει πάντα το πρόβλημα του αυτοκαθαρισμού των αγωγών → σε τριτεύοντες αγωγούς ακαθάρτων θα πρέπει να προβλέπεται η **περιοδική πλύση των αγωγών** με άλλα μέσα (φρεάτια πλύσης).

Παραγωγή υδροθείου σε αγωγούς ακαθάρτων (1)

- Παράγεται από την **αναερόβια αποσύνθεση** οργανικών ουσιών που περιέχονται στα λύματα, και από την **αναγωγή των θειικών** που περιέχονται στα λύματα σε υδρόθειο, η οποία συντελείται σε αναερόβιες συνθήκες από συγκεκριμένους μικροοργανισμούς.
- **Παράγοντες που ευνοούν την παραγωγή υδροθείου:**
 - αύξηση χρόνου παραμονής, οργανικού φορτίου, θερμοκρασίας
 - αύξηση βρεχόμενης περιμέτρου ή μείωση πλάτους ελεύθερης επιφάνειας
 - μείωση τύρβης στη ροή → μείωση ρυθμού μεταφοράς αέρα (και άρα οξυγόνου) στα λύματα (η τύρβη συναρτάται με την κλίση του αγωγού και την ταχύτητα).
- Προβλήματα που προκαλούνται από το υδρόθειο στους αγωγούς ακαθάρτων:
 - Πρόκληση απεχθών **οσμών**.
 - Δημιουργία **δηλητηριώδους ατμόσφαιρας**, επικίνδυνης για τη ζωή όσων εργάζονται στη συντήρηση των υπονόμων.
 - **Διάβρωση οροφών** αγωγών από σκυρόδεμα, αμιαντοτσιμέντο ή μέταλλο, λόγω της βιοχημικής μετατροπής του υδρόθειου σε θειικό οξύ (μόνο στην περιοχή που δεν καλύπτεται από τη ροή – τα τοιχώματα που βρέχονται δεν προσβάλλονται σοβαρά από το διαλυμένο υδρόθειο).
 - Προβλήματα στην εφαρμογή **αερόβιων διεργασιών** στην ΕΕΛ, και αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας χλωρίου, όταν εφαρμόζεται χλωρίωση των λυμάτων.

Παραγωγή υδροθείου σε αγωγούς ακαθάρτων (2)

■ Μέτρα αντιμετώπισης της παραγωγής υδροθείου

- Τήρηση περιορισμών περιθωρίων αερισμού και ελάχιστων ταχυτήτων.
- Σε δυσμενείς συνθήκες, αύξηση της διαμέτρου του αγωγού, με σκοπό τη μείωση του λόγου βρεχόμενης περιμέτρου προς το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας.
- Ελαχιστοποίηση περιοχών υψηλής τύρβης στο δίκτυο
- Εφοδιασμός αγωγών με κατασκευές αερισμού.
- Παρεμπόδιση αναερόβιων συνθηκών, με προσθήκη οξυγόνου ή νιτρικού
- Χημική κατακρήμνιση ή οξείδωση παραγόμενων θειούχων ενώσεων

■ Εμπειρικό μέτρο της πιθανότητας παραγωγής υδροθείου → δείκτης Pomeroy

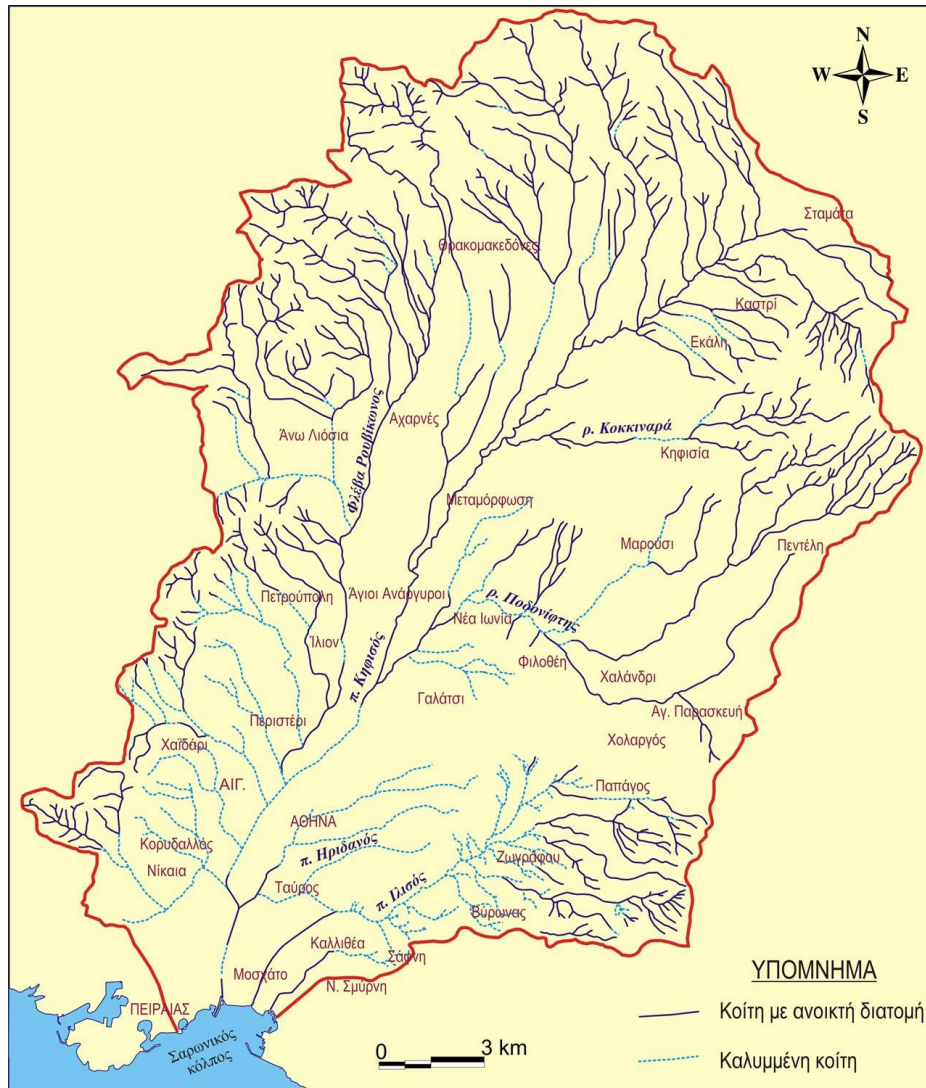
$$Z = \frac{0.3[\text{EBOD}] P}{J^{1/2} Q^{1/3} B}$$

όπου [EBOD] το ενεργό οργανικό φορτίο (mg/L), J η κλίση του αγωγού, Q η παροχή (m^3/s), P η βρεχόμενη περίμετρος και B το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας.

■ Χαρακτηριστικά όρια:

- $Z < 5000$: μικρή πιθανότητα παραγωγής υδροθείου
- $5\ 000 < Z < 10\ 000$: σχηματισμός μικρών ποσοτήτων υδροθείου (0.2-0.4 mg/L)
- $Z > 15\ 000$: αναμένονται σοβαρά προβλήματα

Αποστράγγιση λεκάνης απορροής σε φυσικές συνθήκες και μετά την αστικοποίηση

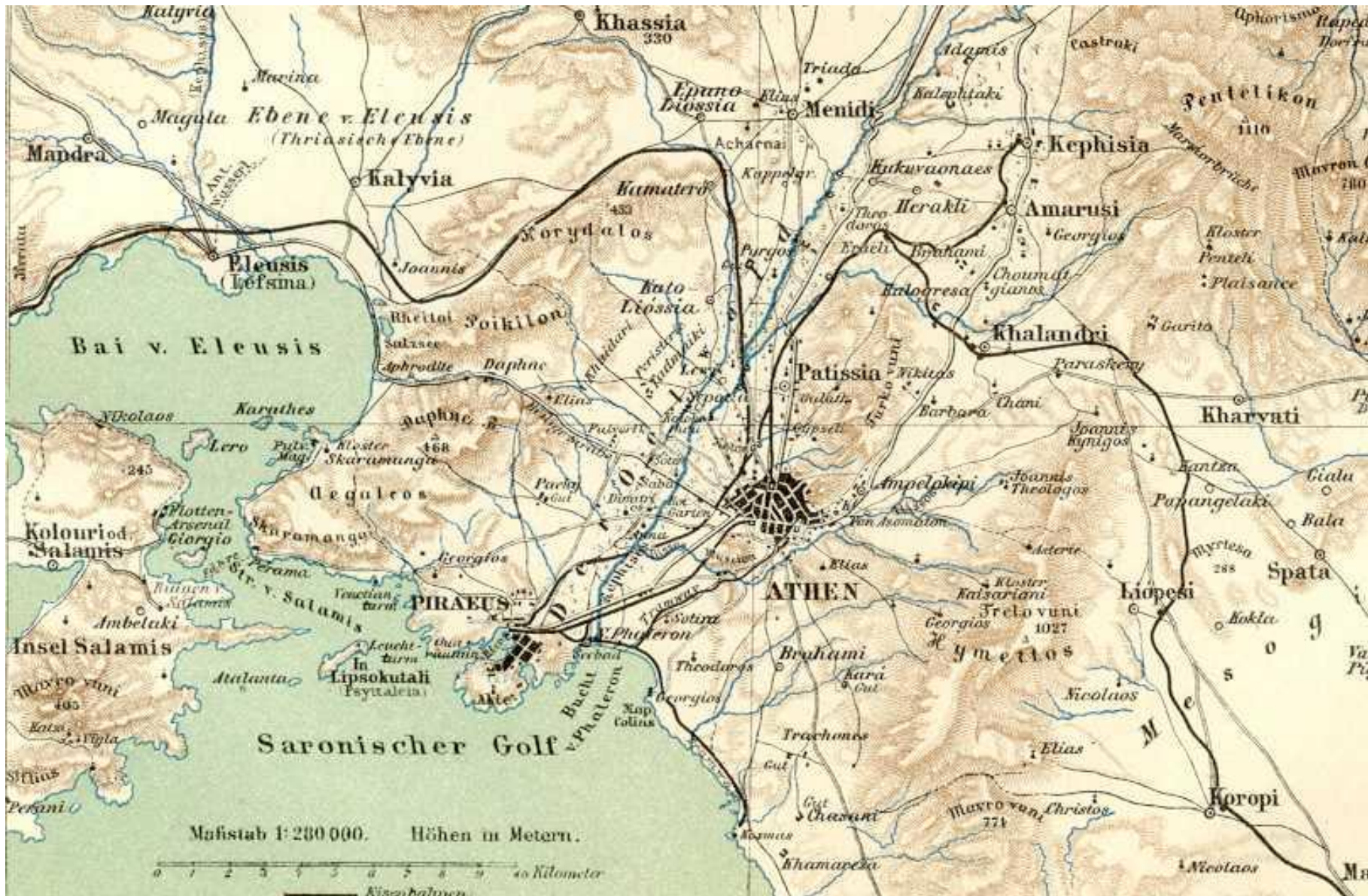


Υδρογραφικό δίκτυο λεκανών απορροής Κηφισού-Ιλισού

- **Αποστράγγιση λεκάνης απορροής σε φυσικές συνθήκες:** υδρογραφικό δίκτυο, που περιλαμβάνει το κύριο υδατόρευμα (με μόνιμη ή διαλείπουσα ροή) και πληθώρα από συμβάλλοντα ρέματα και μισγάγκειες, πλημμυρικής αποκλειστικά ροής
- **Αποχέτευση αστικής λεκάνης:** «αντικατάσταση» του υδρογραφικού δικτύου εντός του αστικού ιστού από αγωγούς ομβρίων, ενδεχομένως με διατήρηση του κύριου υδατορεύματος ως φυσικού αποδέκτη

Παρατήρηση: Η κατασκευή δικτύου ομβρίων σε μια αστική περιοχή οδηγεί στη μείωση του χρόνου απορροής των ομβρίων και κατά συνέπεια στην αύξηση της παροχής στον τελικό αποδέκτη.

Τα ρέματα της Αττικής (19^{ος} αιώνας)

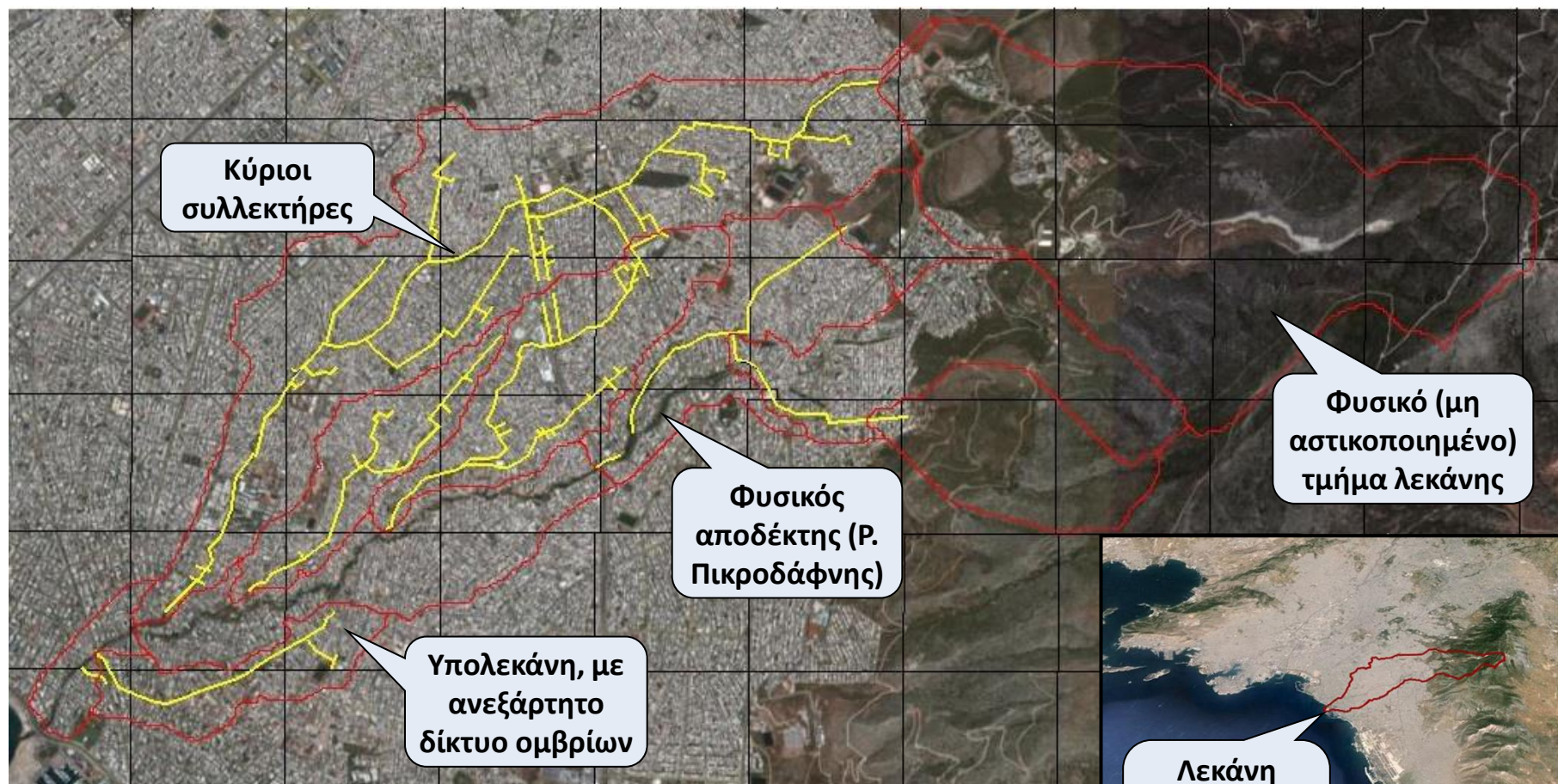


Πηγή: Map of Athens and Piraeus area, Baedeker's Handbook of Greece, Leipzig, 1894
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Athens_and_Piraeus_map_1894.jpg)

Γενική διάταξη συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων

- Η αστική υδρολογική λεκάνη, στο σύνολό της, και το ανάντη μη αστικοποιημένο τμήμα της μελετώνται ως ενιαίο σύστημα.
- Σε αντίθεση με το δίκτυο ακαθάρτων, που είναι συγκεντρωτικό (ώστε όλα τα ακάθαρτα να καταλήγουν στη μονάδα επεξεργασίας), η χάραξη του δικτύου ομβρίων είναι **αποκεντρωτική**.
- Κατά τη χάραξη διαμορφώνονται επιμέρους δίκτυα, καθένα από τα οποία εκβάλλει σε **φυσικό αποδέκτη** (π.χ., αστικό υδατόρευμα) ή στη θάλασσα.
- Το συνολικό δίκτυο ομβρίων καλύπτει **τμήμα του οδικού δικτύου** (ενδεικτικά, 30 ως 40%, ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής).
- Οι εισροές των ομβρίων γίνονται μέσω **φρεατίων υδροσυλλογής** καθώς και **ιδιωτικών συνδέσεων**, που υλοποιούνται (υποχρεωτικά) κατά μήκος των αγωγών.
- Αποφεύγεται η χρήση **αντλιοστασίων** σε αστικές περιοχές.
- Αποφεύγεται η κατασκευή αγωγών αποχέτευσης ομβρίων σε δρόμους **μεγάλης κλίσης**, ώστε να μην επιταχύνεται περαιτέρω η ροή.
- Όταν το δίκτυο κατασκευάζεται σταδιακά, η **κατασκευή του δικτύου ξεκινά από τα κατάντη**, ώστε να προστατεύονται κατά προτεραιότητα οι χαμηλές περιοχές, λαμβάνοντας ωστόσο υπόψη την απορροή που παράγεται στο σύνολο της λεκάνης.
- Ο βαθμός προστασίας που παρέχει το δίκτυο ομβρίων περιγράφεται από την **περίοδο επαναφοράς** του επεισοδίου βροχής που μπορεί να παροχετεύσει.

Παράδειγμα: Ρέμα Πικροδάφνης και κύριοι αγωγοί αποχέτευσης ομβρίων εντός της λεκάνης απορροής του



Πηγή: Μαμάσης, Ν., Κ. Πιπιλή, & Δ. Κουτσογιάννης, Υδρολογική μελέτη πλημμυρών, Αποτίμηση της οικολογικής κατάστασης του ρέματος Πικροδάφνης και προτάσεις αποκατάστασης, ανάδειξης και διαχείρισης του, Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας και Γενετικής & Εσωτερικών Υδάτων - ΕΛΚΕΘΕ, Αθήνα, 2013



Περίοδοι επαναφοράς έργων αστικών αποχετεύσεων

- Η περίοδος επαναφοράς αποτελεί βασικό μέγεθος του **υδρολογικού σχεδιασμού**, η επιλογή του οποίου εξαρτάται από τη **σημασία** του έργου. Τυπικές τιμές εφαρμογής:
 - για αγωγούς σε οικιστικές περιοχές $T = 2-15$ έτη (τυπικές τιμές $T = 5$ ή 10 έτη)
 - για αγωγούς σε εμπορικές περιοχές και κεντρικούς συλλεκτήρες $T = 10-50$ έτη
 - για διευθετήσεις υδατορευμάτων $T \geq 50$ έτη (πλέον συστήνεται $T \geq 100$ έτη)
- Παρατηρήσεις σχετικά με την επιλογή της περιόδου επαναφοράς:
 - Ο έλεγχος επάρκειας **υφιστάμενων αγωγών** γίνεται για μικρότερη περίοδο επαναφοράς σε σχέση με τον σχεδιασμό, σε αντίθεση με τους **αποδέκτες** που ελέγχονται για πολύ μεγαλύτερη T .
 - **Κεντρικοί συλλεκτήρες**, καθώς και αγωγοί που τοποθετούνται κάτω από **κύριες οδικές αρτηρίες και κόμβους** (ιδιαίτερα αν αυτά τοποθετούνται σε **όρυγμα**) σχεδιάζονται με μεγαλύτερη T σε σχέση με δευτερεύοντες αγωγούς.
 - Σε **παντοροϊκά δίκτυα** επιλέγονται μεγαλύτερες T σε σχέση με χωριστικά.
 - **Μεγάλα αντιπλημμυρικά έργα** σε αστικές περιοχές (π.χ. διευθετήσεις ποταμών), των οποίων η αστοχία μπορεί να προκαλέσει θύματα και εκτενείς υλικές ζημιές, σχεδιάζονται με $T \geq 1000$ έτη.

Παρατήρηση: Υδρολογική αστοχία του δικτύου ομβρίων έχει ως συνέπεια την ανεπαρκή παροχέτευση της πλημμυρικής απορροής, όχι την καταστροφή του έργου.

Χάραξη λεκανών απορροής σε αστικό περιβάλλον

- Είσοδος υδάτων στο δίκτυο:
 - Απαγωγή επιφανειακής απορροής σε φρεάτια υδροσυλλογής.
 - Υποχρεωτική σύνδεση οικιακών συστημάτων αποχέτευσης στο δίκτυο, εφόσον υπάρχει αγωγός ομβρίων στον δρόμο έμπροσθεν της οικοδομής.
- Για τον καθορισμό των λεκανών απορροής στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων (Ο.Τ.) ακολουθείται ο κανόνας των **διχοτόμων**, εφόσον τα όμβρια που προέρχονται από κάθε εσωτερικό σημείο ενός Ο.Τ. αποχετεύονται από κάθε εσωτερικό του σημείο προς το πλησιέστερο ρείθρο ή αγωγό ομβρίων της οδού.
- Στην τελική χάραξη των αστικών λεκανών λαμβάνονται επίσης υπόψη οι **κλίσεις των οδών** και οι **θέσεις των φρεατίων υδροσυλλογής**.
- Σε μη αστικοποιημένα τμήματα, η χάραξη των λεκανών απορροής γίνεται αποκλειστικά με βάση το **ανάγλυφο** (ισοϋψείς).



Παροχή σχεδιασμού ομβρίων: ορθολογική μέθοδος

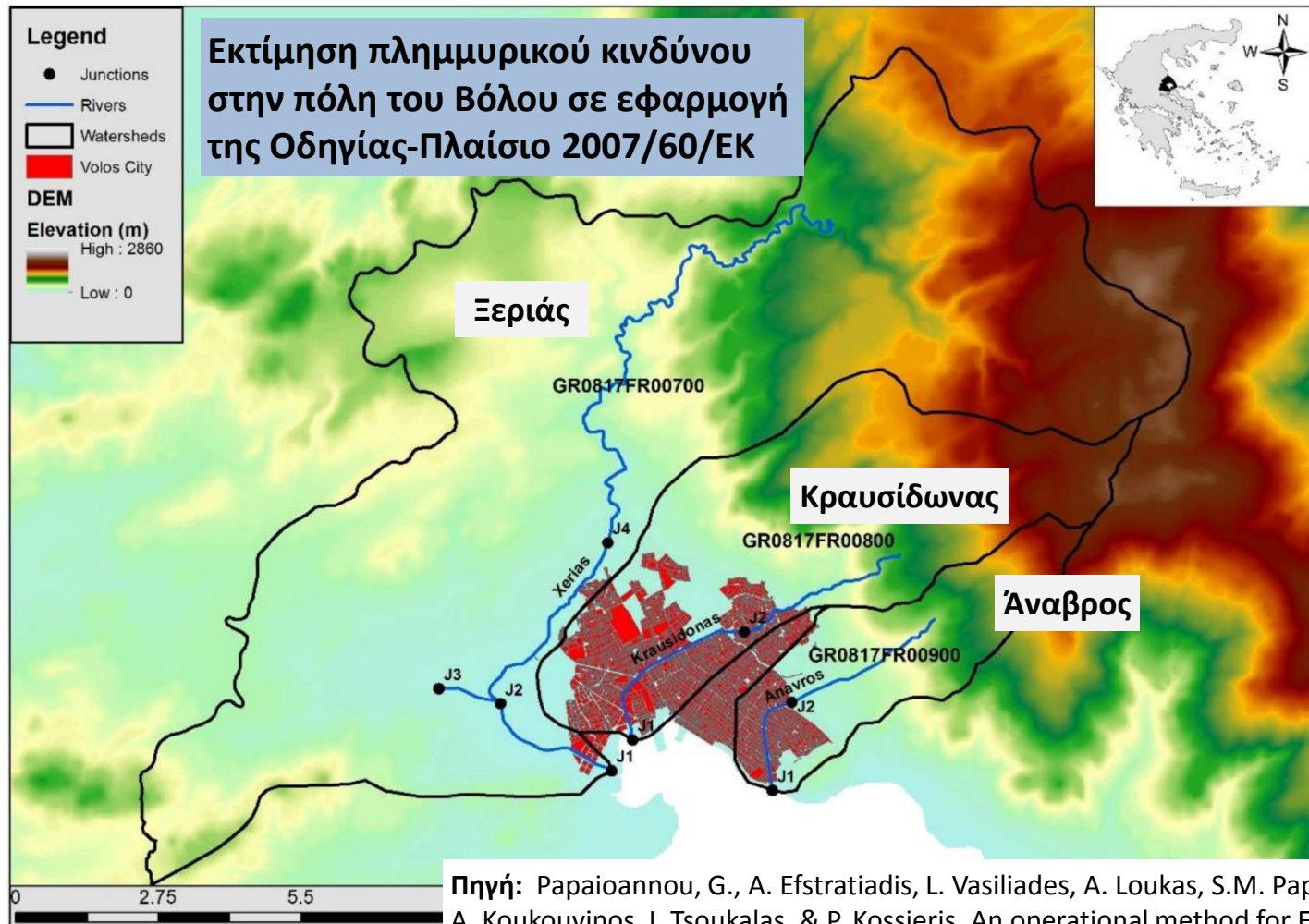
- Στις αστικές περιοχές και για μικρές περιόδους επαναφοράς, εφαρμόζεται, γενικά, η **ορθολογική μέθοδος**, που εκτιμά την **παροχή αιχμής** μέσω της σχέσης:

$$Q_p = c i A$$

- Δεδομένα εισόδου της μεθόδου είναι:
 - η **περίοδος επαναφοράς** T , που επιλέγεται με κριτήριο τη σημασία του έργου
 - η αποχετευόμενη **επιφάνεια** A .
 - ο **συντελεστής απορροής** c , που εξαρτάται από τα τοπογραφικά, φυσιογραφικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά της αποχετευόμενης έκτασης
 - ο **χρόνος συγκέντρωσης** t_c , που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αποχετευόμενης έκτασης και του ανάντη δικτύου ομβρίων
 - η **κρίσιμη ένταση** της βροχόπτωσης i , που είναι στατιστικό μέγεθος εξαρτώμενο από την περίοδο επαναφοράς T , τη διάρκεια της βροχής d , και την αποχετευόμενη έκταση A (εκτίμηση μέσω της **όμβριας καμπύλης**)
- Βασικές παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου:
 - Η **διάρκεια** της βροχής είναι ίση με τον **χρόνο συγκέντρωσης** της λεκάνης.
 - Η **ένταση** της βροχής είναι **χρονικά και χωρικά σταθερή**.
 - Η **μέγιστη παροχή** εμφανίζεται όταν στην έξοδό της καταφθάσει η επιφανειακή απορροή από όλα τα σημεία της.

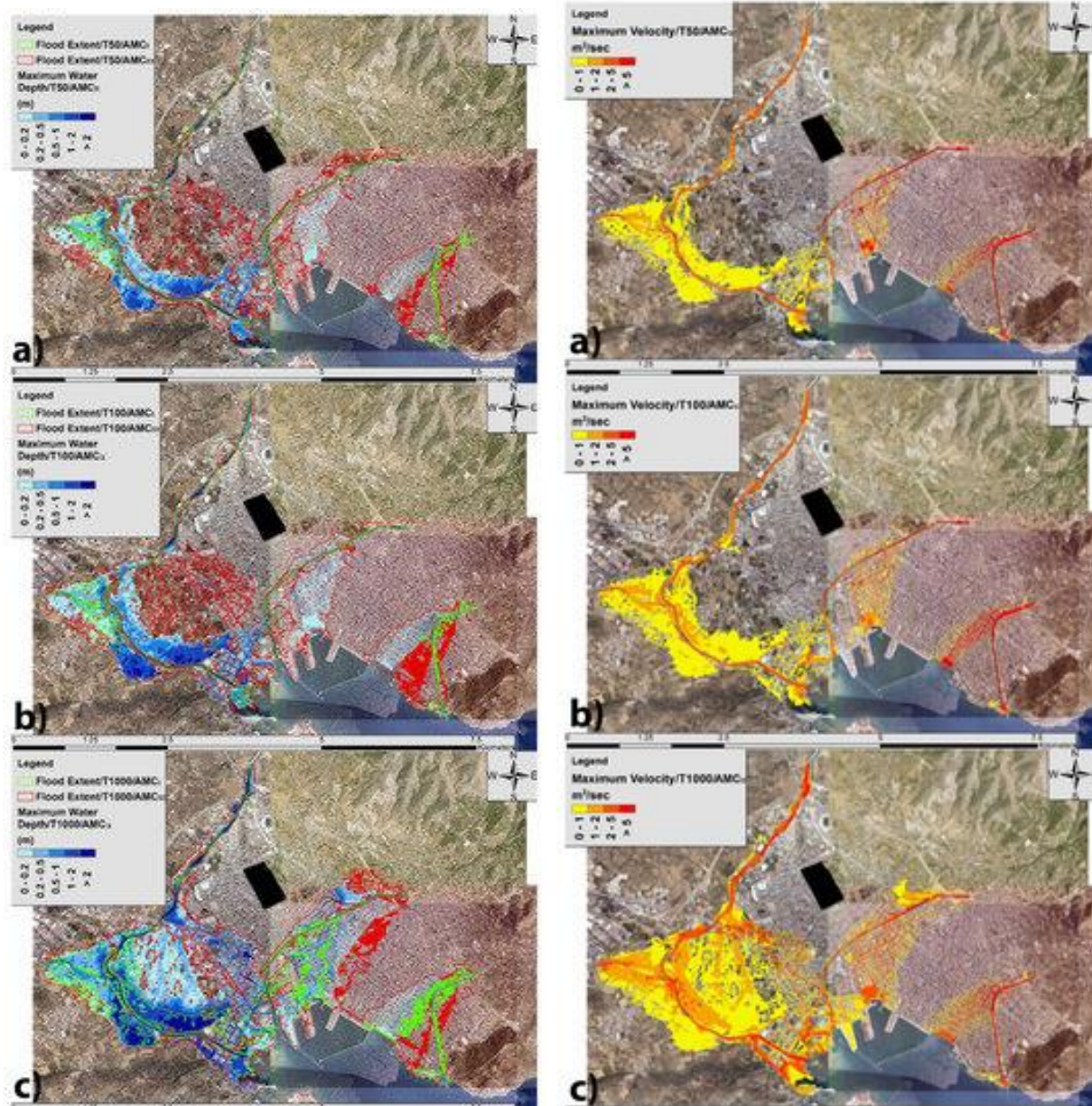
Προσομοίωση πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον

- Υδρολογική προσομοίωση σε κλίμακα λεκάνης απορροής (πλημμυρογράφηματα)
- Υδραυλική προσομοίωση σε κλίμακα αστικής λεκάνης (εκτίμηση βάθους ροής, ταχύτητας, κατακλυζόμενων εκτάσεων, χρόνου παραμονής υδάτων)



Διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (Οδηγία 2007/60/ΕΚ)

- Προκαταρκτική εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας και προσδιορισμός **Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας**
- Χάρτες **επικινδυνότητας** (flood hazard) και χάρτες **κινδύνων πλημμύρας** (flood risk) στις ΖΔΥΚΠ, για $T = 50, 100$ και 1000 έτη
- Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, με άξονες δράσεις την **πρόληψη** (μετριασμός έκθεσης σε πλημμύρα), **προστασία** (μείωση έκθεσης σε πλημμύρα), **ετοιμότητα** και **αποκατάσταση**



Βάθη ροής (αριστερά) και ταχύτητες (δεξιά) για $T = 50, 100$ και 1000 έτη

Τελικές παρατηρήσεις

- Σχεδιασμός αντιπλημμυρικών έργων σε αστικές λεκάνες:
 - Ορθολογική μέθοδος (παροχή αιχμής), μόνιμη ομοιόμορφη ροή (υδραυλικοί υπολογισμοί ανά αγωγό ομβρίων)
 - Υδρολογικά μοντέλα επεισοδίου (πλημμυρογραφήματα) και υδραυλικά μοντέλα ανομοιόμορφης ροής (προσομοίωση δικτύου ομβρίων ή κύριων τμημάτων του)
- Οι **παρασιτικές εισροές** στα δίκτυα ομβρίων δεν λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό, καθώς η επίδρασή τους στην παροχή αιχμής είναι αμελητέα.
- Αντίθετα, η ύπαρξη τυχόν παράνομων συνδέσεων είναι εξαιρετικά επιβαρυντική για την **ποιότητα των όμβριων υδάτων** και δημιουργούν έντονη περιβαλλοντική όχληση.
- Οι σύγχρονες προσεγγίσεις, καθώς και η Οδηγία-Πλαίσιο 2007/60/ΕΚ, δίνουν έμφαση στις πρακτικές **ελέγχου της απορροής στην πηγή**, που περιλαμβάνουν:
 - **ήπια έργα ορεινής υδρονομίας** για ανάσχεση των πλημμυρών στο ανάντη, μη αστικοποιημένο, τμήμα της λεκάνης
 - μόνιμες ή περιστασιακές **λεκάνες ανάσχεσης** στον αστικό ιστό
 - έργα **ενίσχυσης της κατείσδυσης** (π.χ. ημιπερατά πεζοδρόμια)
 - εφαρμογή μεθόδων τοπικής αποθήκευσης και ανάσχεσης των ομβρίων σε **κλίμακα οικοδομής** (με επιπρόσθετο πλεονέκτημα την **αξιοποίηση των ομβρίων υδάτων** για οικιακή χρήση, πότισμα κήπων, κτλ.)